

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STROJNÍ**



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2023

**ŠTĚPÁN
BLAŽEK**

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Blažek** Jméno: **Štěpán** Osobní číslo: **501336**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Návrh robotického gripperu

Název bakalářské práce anglicky:

Design of a robotic gripper

Pokyny pro vypracování:

1. Teorie montáže.
2. Robotizace a automatizace.
3. Analýza předmětu a procesu robotické montáže.
4. Návrh a posouzení variant gripperu.

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Tomáš Kellner ústav technologie obrábění, projektování a metrologie FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **31.03.2023**

Termín odevzdání bakalářské práce: **31.07.2023**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

Ing. Tomáš Kellner
podpis vedoucí(ho) práce

Ing. Libor Beránek, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

Tímto prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Tomáše Kellnera, a to pouze pomocí podkladů uvedených v seznamu použité literatury v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací, vydaným ČVUT v Praze 1. 7. 2009.

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

V Praze dne:

.....

Podpis autora

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval zejména Ing. Tomáši Kellnerovi za jeho trpělivé vedení práce, konstruktivní připomínky a rady. Dále bych chtěl poděkovat firmě Jihostroj, a.s. za možnost podílení se na jejich projektu a za možnost vyzkoušení návrhů v praxi. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat rodině a všem blízkým, kteří mi pomáhali při studiu a podporovali mě.

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem robotického gripperu a posouzením navrhovaných variant vzhledem k jejich využitelnosti v praxi. Teoretická část práce se věnuje teorii montáže, robotizaci a automatizaci, jejich smysluplnému využití v průmyslu a jejich výhodám a nevýhodám. Praktická část práce se zabývá analýzou předmětu robotické montáže, následným návrhem a posouzením variant robotického gripperu a jeho využití při montáži hydraulického čerpadla.

Klíčová slova

Gripper; návrh robotického gripperu; montáž; robotizace; automatizace

Annotation

This bachelor's thesis deals with the design of a robotic gripper and the assessment of the proposed variants with regard to their usability in practice. The theoretical part of the work is devoted to assembly theory, robotization and automation, their meaningful use in industry and their advantages and disadvantages. The practical part of the work deals with the analysis of the subject of robotic assembly, the subsequent design and assessment of variants of the robotic gripper and its use in the assembly of the hydraulic pump.

Keywords

Gripper; design of a robotic gripper; assembly; robotization; automation



Obsah

1. ÚVOD.....	6
2. TEORIE MONTÁŽE.....	7
2.1 Rozdělení montážních systémů	7
2.2 Montáž dle sériovosti	8
2.2.1 Montáž v kusové výrobě.....	8
2.2.2 Montáž v sériové výrobě	9
2.2.3 Montáž v hromadné výrobě	9
2.3 Montáž dle organizace práce.....	9
2.3.1 Stacionární montáž.....	10
2.3.2 Pohyblivá montáž	11
2.4 Montáž dle stupně automatizace	12
2.4.1 Ruční montáž	13
2.4.2 Mechanizovaná montáž	13
2.4.3 Automatizovaná montáž	13
3. ROBOTIZACE A AUTOMATIZACE	14
3.1 Vymezení pojmu automatizace	14
3.2 Důvody automatizace	15
3.2.1 Vynucená automatizace	15
3.2.2 Ekonomicky zdůvodněná automatizace	15
3.2.3 Jiné důvody pro zavedení automatizace	16
3.3 Rozdělení automatizace.....	16
3.3.1 Rozdělení automatizace dle komplexnosti.....	16
3.3.2 Rozdělení automatizace dle flexibility.....	17
3.3.3 Rozdělení dle stupně automatizace	17



4.	PRVKY AUTOMATIZACE	19
4.1	Automatizace přepravy materiálu	19
4.2	Prvky automatizace strojních zařízení	19
4.3	Roboty a manipulátory	19
4.3.1	4-osé roboty	20
4.3.2	6-osé roboty	21
4.3.3	Kolaborativní roboty	21
4.3.4	Delta roboty	22
5.	ANALÝZA ZPŮSOBŮ UCHOPOVÁNÍ.....	23
5.1	Rozdělení gripperů.....	23
5.1.1	Pokročilejší rozdělení gripperů	23
5.2	Kinematika mechanických gripperů.....	26
5.2.1	Kloubový mechanismus	27
5.2.2	Ozubený mechanismus.....	28
5.2.3	Vačkový mechanismus	28
5.2.4	Šroubový mechanismus.....	29
5.2.5	Pákový mechanismus	30
5.2.6	Mechanismus bez translace pohybu	30
5.3	Senzorické smart gripperly	31
5.3.1	Silové senzory	31
5.3.2	Kontrola deformace.....	33
5.3.3	Kontrola uvolňování objektu	33
5.4	Flexibilní gripperly.....	35
6.	ANALÝZA PROCESU MONTÁŽE	36
6.1	Popis čerpadla.....	36
6.1.1	Rozdělení montážních celků	37



6.2	Předmontáž.....	38
6.2.1	Předmontáž litinových částí	38
6.2.2	Předmontáž přitlačných desek	40
6.2.3	Předmontáž rotačních částí.....	41
6.3	Robotizace.....	42
6.3.1	Popis procesu robotizované části montáže.....	42
6.3.2	Technické prvky robotizace	42
6.3.3	Výhody a nevýhody robotizace	46
7.	KONSTRUKČNÍ PROVEDENÍ GRIPPERU.....	47
7.1	Návrh prstů	47
7.1.1	Předpoklady pro návrh prstů gripperu	48
7.1.2	Uchopování litinových částí.....	50
7.1.3	Uchopování rotačních částí	52
7.1.4	Uchopování přitlačných desek	53
7.1.5	Kombinace způsobů uchopení do jednoho prstu.....	54
7.2	Materiál pro výrobu prstu.....	55
7.2.1	Prsty z hliníkové slitiny	56
7.2.2	3D tištěné prsty	61
7.3	Propojení celého gripperu	66
7.3.1	Způsob přichycení prstů k chapadlu HPPF-20-80-A-S	66
7.3.2	Způsob přichycení chapadla k Force Sensoru	68
7.3.3	Přichycení Force Sensoru k robotickému ramenu.....	69
7.3.4	Vedení kabelů a hadic na stlačený vzduch	70
8	ZÁVĚR	71
	BIBLIOGRAFIE.....	72
	SEZNAM POUŽITÉHO SOFTWARE	78



SEZNAM OBRÁZKŮ	78
SEZNAM TABULEK.....	81

1. ÚVOD

V dnešní době se automatizace a robotika stávají hlavními prvky průmyslových aplikací. Vývoj a implementace robotických systémů přináší mimořádné výhody v oblasti efektivity, přesnosti a snižování nákladů v průmyslových procesech. Jednou z klíčových oblastí, kterou je neustále nutné zdokonalovat, je montážní proces. Tato práce se zaměřuje na vývoj gripperu pro robotickou montáž hydraulického čerpadla.

V teoretické části jsou nejprve popsány jednotlivé druhy montáže. Následně se teoretická část věnuje robotizaci a automatizaci, jejímu rozdělení, odůvodnění a prvkům automatizace využívaným při montáži. Následující kapitoly pojednávají o gripperech, jejich rozdělení, kinematice a senzorech využívaných při jejich fungování. Z těchto poznatků se dále vychází při návrhu gripperu.

Hlavním cílem praktické části je návrh robotického gripperu, který bude schopen s dostatečnou přesností a opakovatelností provádět robotizovanou montáž. Praktická část se tedy bude nejprve zabývat analýzou celého procesu montáže hydraulického čerpadla, jeho rozdělením na jednotlivé montážní celky a způsobem jejich uchycení pomocí robotického gripperu. Následně se věnuje popisu robotizace procesu montáže a popisuje využití technické prvky. Zejména se zaměřuje na senzory využití pro vkládání dílů s velkou přesností, senzory pro kontrolu polohy prstů a konstrukční provedení celého gripperu. Dále se zabývá návrhem, provedením a materiálem prstů gripperu, u nichž bude provedena pevnostní kontrola založená na hodnotách zatížení při praktickém použití gripperu. Závěrem je řešeno propojení celého gripperu včetně jeho připojení k robotickému rameni.

Tato bakalářská práce byla vypracována ve spolupráci s firmou Jihostroj, a.s. Použité modely čerpadla jsou jejím majetkem a mají upravené rozměry o neznámý koeficient z důvodu utajení citlivých informací, které firma nechce veřejně sdílet.

2. TEORIE MONTÁŽE

Tato kapitola je věnována teorii montáže, jejímu rozdělení podle jednotlivých kritérií a využití jednotlivých druhů montáže.

V dnešní době, kdy je kladen důraz na rychlost, přesnost a ekonomičnost výroby, je montáž jednou z nejdůležitějších součástí výrobního průmyslu, protože je závěrečná a často nejsložitější část výrobního procesu. Většina věcí, které jsou známé a denně používané, se skládá z dílů, které se vyrobí v továrnách a následně jsou převezeny do montovny. Tam se smontují s díly z jiných továren a vznikne finální výrobek. Z toho důvodu montáž významně ovlivňuje jak jakost, tak spolehlivost výsledného produktu.

Vzhledem k finanční náročnosti a obtížnosti kvalifikace lidské síly je v poslední době tlak na zjednodušování jednotlivých montážních operací. Požaduje se, aby je mohli provádět co nejméně kvalifikovaní dělníci, nebo aby se dala montáž co nejvíce automatizovat. Vhodný výběr způsobu montáže může firmě ušetřit mnoho finančních prostředků. Naopak chyba v tomto procesu může vést k ekonomickým ztrátám. [1]

2.1 Rozdělení montážních systémů

Samotnou montáž je možné dělit podle několika kritérií. Základní rozdělení je na interní a externí. Toto dělení je podle místa, ve kterém montáž provádím. Protože se tato práce zabývá montáží čerpadla, která bude prováděna v interním prostředí, externí montáži se budu věnovat pouze okrajově.

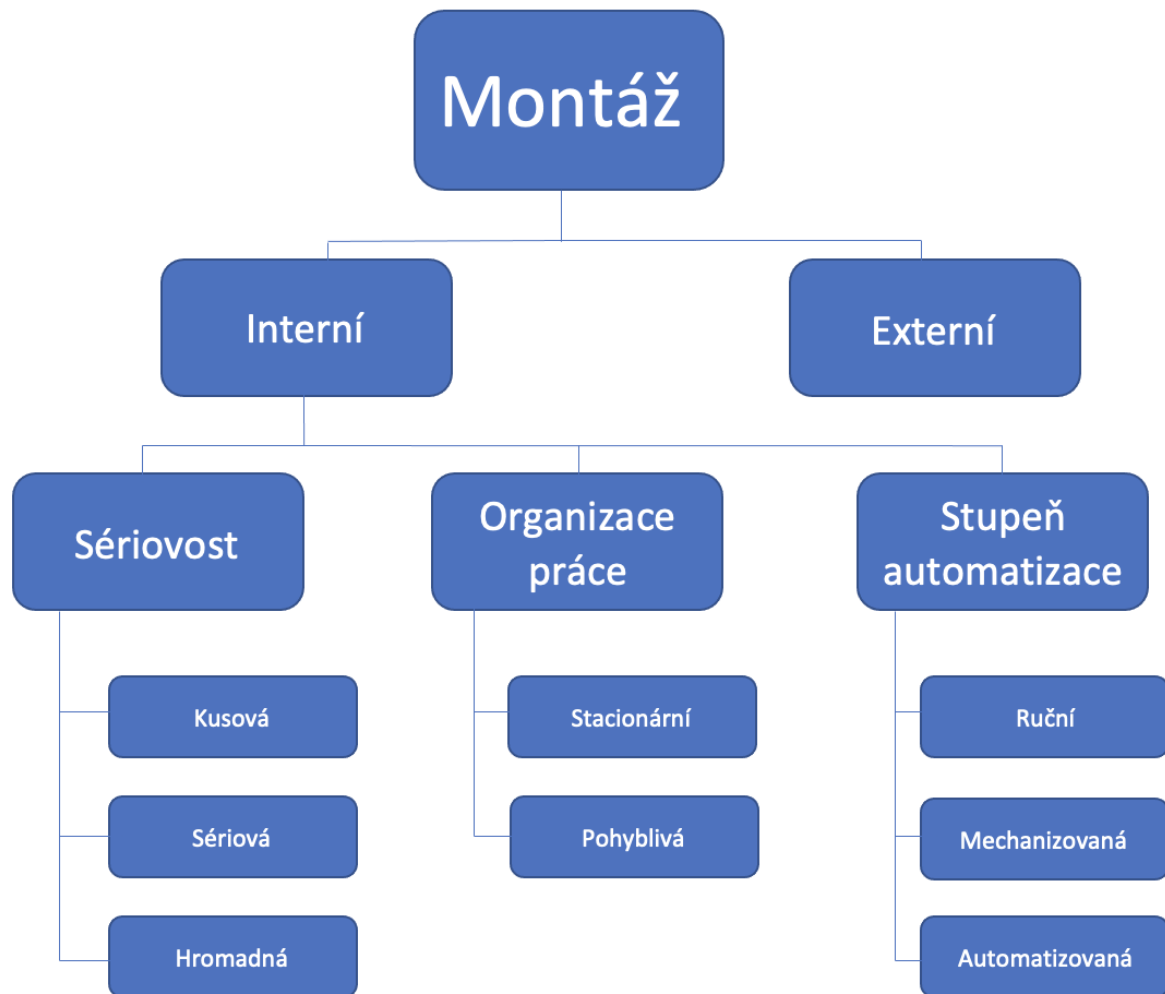
Externí montáž

Montáž je prováděna mimo místo výroby jednotlivých komponentů. Tento druh montáže se využívá hlavně u výrobků, jejichž velikost neumožňuje snadnou manipulaci a převoz, tudíž musí být smontovány přímo na místě. Typickým příkladem je most. [1]

Interní montáž

Na rozdíl od externí montáže je tento typ vhodný pro menší výrobky, se kterými je snadná manipulace. Provádí se přímo v místě výroby produktu, a to zajišťuje menší časovou náročnost. Po zkompletování jde výrobek přímo zákazníkovi, nebo do skladu. Tuto montáž je možné si představit na příkladu automobilu.

Rozdělení montáže (Obr. 1):



Obr. 1 – Rozdělení organizace práce [2]

2.2 Montáž dle sériovosti

Jedním z faktorů, které ovlivňují způsob montáže je množství kusů, které chci montovat v rámci jedné série. Závisí na tom vybavení dílen, míra automatizace a nutnost odbornosti pracovníků, kteří tuto práci provádí. Při výrobních dávkách v jednotkách kusů nemá pro firmu smysl řešit ve velké míře automatizaci. Pokud je množství kusů řádově v tisících kusech, je nanejvýš vhodné výrobu co nejvíce automatizovat. Z těchto důvodů je výroba rozdělována do následujících skupin. [2]

2.2.1 Montáž v kusové výrobě

Tento druh montáže se využívá, jak už je zřejmé z názvu, hlavně ve výrobě, kde se kompletují jednotky kusů. Hlavní výhodou tohoto druhu montáže je její velká flexibilita.

Montovaný výrobek je možné měnit prakticky z kusu na kus. Na druhou stranu je tato výroba při větších sériích neefektivní. Navíc je vždy kladen důraz na kvalifikovanost pracovní síly, se kterou stojí a zároveň padá kvalita a rychlost montáže.

2.2.2 Montáž v sériové výrobě

Základním znakem této metody je rozdělení montovaných dílů do větších sérií, které jsou kompletovány současně. Výhodou sériové montáže je zaměnitelnost jednotlivých montovaných dílů a možnost zapojení automatizace do celého procesu. Mimo jiné zde není nutná vysoká kvalifikovanost pracovní síly, tak jako u kusové výroby. Nevýhodou celého procesu jsou vysoké pořizovací náklady na automatizační prvky, vyšší energetická spotřeba, náročnost plánování a logistiky celého procesu. Z těchto důvodů se sériová výroba vyplatí pouze při větších zakázkách, u kterých je zaručena návratnost počáteční investice. [2]

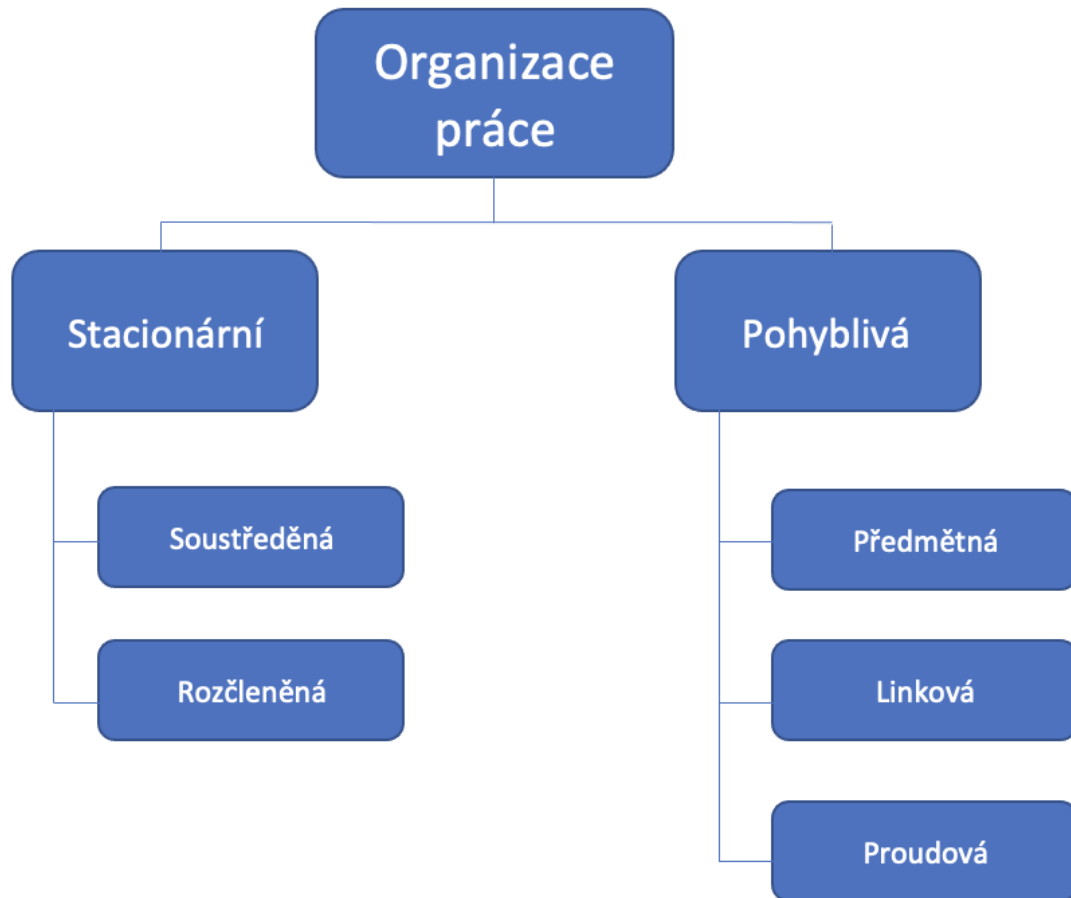
2.2.3 Montáž v hromadné výrobě

Tento druh montáže se využívá hlavně v případech, kdy jsou kompletovány velké série výrobků, a to řádově v tisících až desetitisících kusech. Při tomto způsobu kompletace se využívá velké množství automatizačních a robotizačních prvků. Nevýhodou jsou opět vysoké pořizovací náklady automatizačních prvků a jejich energetická náročnost.

Propojení prvků automatizace a lidské práce umožnilo nástup nových směrů, které se snaží šetřit lidské síly od monotónní a jednostranné práce vedoucí k chronickým zdravotním problémům. Při správném návrhu montážní linky navíc tyto směry vedou ke zefektivnění výroby.

2.3 Montáž dle organizace práce

Organizace práce při montáži je jednou z nejdůležitějších věcí, a to hlavně proto, že zvyšuje produktivitu. Každý druh organizace má své konkrétní využití. Například stacionární montáž se hodí primárně do výroby kusové a malosériové, montáž nestacionární se pak využívá hlavně při větších objemech dílů. Z toho také vychází základní rozdělení organizace montáže viz Obr. 2. Jednotlivé skupiny se poté odlišují nejen pohybem materiálu a dělníků, ale také vybavením pracovišť a mírou automatizace.



Obr. 2 – Rozdělení dle organizace práce [2]

Volba formy montáže

Forma organizace práce je přímo závislá na sériovosti výroby, složitosti montážního celku, jeho rozměrech a hmotnosti. Snahou je volit co nejvyšší druh montáže, ale rozhodujícím činitelem je ve většině případů ekonomická rozvaha. Z ní je možné říci, zda se nám daná forma vyplatí, nebo zda je lepší zvolit jednodušší formu montáže a ušetřit na pořizovacích nákladech.

2.3.1 Stacionární montáž

Tento druh montáže je prováděn na jednom stanovišti. Což znamená, že montovaný celek stojí na místě a pracovníci se pohybují kolem něj. Stacionární montáž se dělí zpravidla na soustředěnou a rozčleněnou.

Soustředěná montáž

Montáž je prováděna na jednom stanovišti skupinou pracovníků, která se pohybuje okolo součásti. Tohoto způsobu kompletace se často využívá u montáže velmi rozměrných součástí (karusely, mosty) a není u ní kladen důraz na dodržení časových úseků montáže jednotlivých dílů. [2]

Rozčleněná montáž

Celý proces je rozdělen do více úseků. Nejdříve se výrobek rozdělí na několik celků, a to podle jejich velikosti a objemu práce jejich kompletace. Protože je tento druh montáže časově náročný, často se využívá rozdělení práce mezi dvě skupiny dělníků. První skupina provádí předmontáž, tedy kompletuje jednotlivé montážní celky a druhá skupina tyto celky montuje přímo na místě. Je nutné zpracovat podrobný časový plán, aby bylo možné rovnoměrně rozdělit časové vytížení pracovišť a vybavení.

Tento druh montáže se využívá hlavně v kusové a malosériové výrobě.

2.3.2 Pohyblivá montáž

Montáž je prováděna na pracovišti jedním nebo více dělníky. Montážní celky se pohybují mezi jednotlivými stacionárními stanovišti, vždy ve směru technologického sledu operací. Stanoviště jsou zpravidla neměnná, a to jak z hlediska vybavení, tak z hlediska prováděné práce. Pohyblivá montáž se dělí na předmětnou, linkovou a proudovou.

Předmětná montáž

Tato montáž se také nazývá řadovou montáží a je nejjednodušším druhem pohyblivé montáže. Montážní celek putuje mezi jednotlivými stanovišti, přičemž na každém pracovišti je vykonána specifická činnost. Jednotlivá pracoviště nejsou časově vyvážená, což znamená, že montážní celek se pohybuje s volným taktem. [2] [3]

Linková montáž

Výsledný výrobek je rozdělen na několik montážních operací, které jsou prováděny na různých pracovištích. Pohyb výrobku mezi jednotlivými pracovišti je nucený a je nutné volit pořadí jednotlivých stanovišť ve směru technologického sledu operací. Pracovní čas je na všech stanovištích rozdílný. Z toho důvodu je linková montáž označována jako asynchronní. Tento druh montáže se využívá hlavně u montážních celků, při jejichž kompletaci je větší podíl ruční práce nebo se vyrábí širší sortiment výrobků. [2] [3]

Proudová montáž

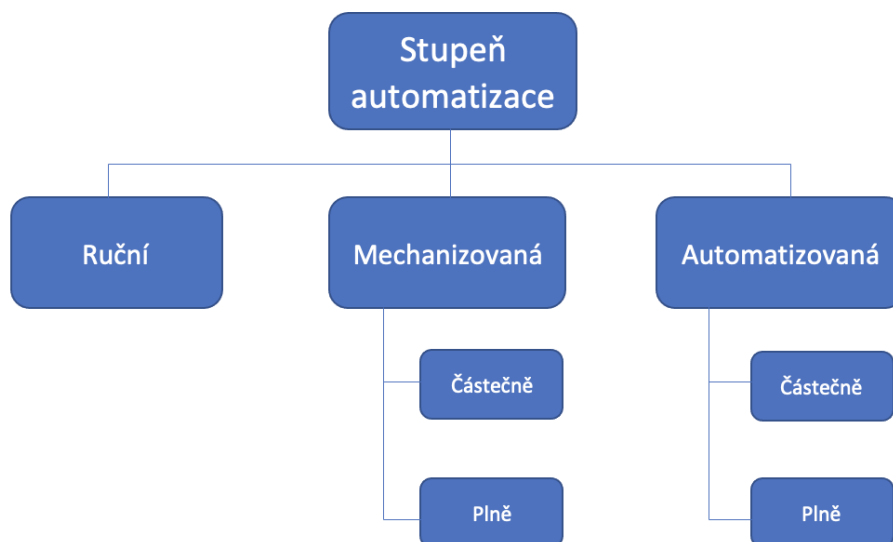
Jedná se o nejvyšší formu montáže. Vyžaduje synchronizaci pracovních taktů na jednotlivých stanovištích tak, aby se díly nikde nehromadily. Také je důležitá logistika odebírání hotových kusů a přivážení nových částí, které se budou montovat. Vyznačuje se vysokým stupněm automatizace a v některých provozech i robotizace.

Samotný montážní celek musí být technologicky navržen tak, aby byla jeho kompletace co nejjednodušší a nebyla k ní potřeba kvalifikovaná pracovní síla.

Pořizovací náklady na tuto formu montáže jsou velmi vysoké, z toho důvodu je používána zejména v hromadné výrobě, u které je jistota velkých sérií. Nebude tedy nutnost provádět časté změny v konfiguraci. [2] [3]

2.4 Montáž dle stupně automatizace

Jak už bylo zmíněno v předchozích odstavcích, míra automatizace je závislá na formě organizace práce, sériovosti výroby a spoustě dalších faktorů. Zjednodušeně je možné konstatovat, že v praxi s rostoucí objemem výroby roste míra automatizace. A právě podle míry automatizace se dělí montáž na tři skupiny viz Obr. 3. [5]



Obr. 3 – Rozdělení dle stupně automatizace [4]

2.4.1 Ruční montáž

Kompletační činnost je prováděna montážními pracovníky bez pomoci mechanizace. Dělníci využívají ruční, elektrické a pneumatické nástroje, jako například šroubováky, vrtačky a pneumatické utahováky. Největší výhodou této formy montáže je flexibilita a pořizovací cena vybavení pracoviště. Z toho důvodu se tato forma výroby využívá při externí montáži a v kusové výrobě. [4]

2.4.2 Mechanizovaná montáž

Tento druh montáže je typický využíváním prvků mechanizace, a to zejména z důvodu zvýšení produktivity práce a snížení zátěže dělníků. Nevýhodou této formy montáže je úzké spektrum výrobků, které mohou být vyráběny jedním typem strojů. Z tohoto důvodu se mechanizovaná montáž využívá hlavně v sériové výrobě. V praxi se používají plně nebo částečně mechanizované montážní dílny. Částečnou mechanizací bývají nejčastěji vybavena pracoviště, kde se manipuluje s těžkými břemeny. [4]

2.4.3 Automatizovaná montáž

Automatizovaná montáž se využívá zejména v případech, kdy je třeba kompletovat velké množství kusů v jedné sérii, tedy v hromadné výrobě. Podle podílu účasti lidské práce se tato montáž rozděluje na částečně a plně automatizovanou. Více se budu tomuto tématu věnovat v následující kapitole.

Částečně automatizovaná montáž

Během tohoto způsobu montáže automaticky pracuje pouze část strojů a zbytek práce obstarávají dělníci. Tento způsob se využívá hlavně u montážních celků s velkou složitostí, u kterých by byl problém zautomatizovat některé procesy.

Plně automatizovaná montáž

Při plně automatizované montáži dochází ke kontaktu člověka s výrobkem jen zřídka. Celý montážní proces je zrealizován automaty a dělníci zajišťují pouze přísun materiálu, manipulaci s vadnými výrobky a odstranění závad na strojích. [5]

3. ROBOTIZACE A AUTOMATIZACE

Automatizace je významný nástroj, který zvyšuje produktivitu práce a tím i konkurenceschopnost výroby. Již od dávných dob se lidé snažili zjednodušit si práci zautomatizováním jednotlivých úkonů. Postupem času lidstvo automatizaci začalo využívat stále více a tento proces pokračuje až dodnes, tedy až k průmyslu 4.0. Navíc je možné s jistotou říct, že toto odvětví je jedno z nejrychleji se rozvíjejících.

V této práci se věnuji hlavně montáži, ve které je automatizace velmi důležitou součástí. Dalo by se říci, že právě při kompletaci je v dnešní době automatizace hojně využívána. Například ve firmách, kde se kompletují velké série kusů, jsou automaty a také roboty využívány ve velké míře. [5]

3.1 Vymezení pojmu automatizace

Z důvodu lepší orientace v textu a správného pochopení samotného pojmu automatizace popíši některé pojmy detailněji.

Automatizace

Automatizace je souhrn činností spočívající v návrhu a realizaci opatření, která mají nahradit lidskou práci. Tu nahrazuje stroj (mechanické zařízení) vyrobený člověkem. Nejdůležitějším cílem automatizace je odstranění namáhavé, monotónní práce, zrychlení a zpřesnění procesů výroby. Pokud jsou stroje obsluhovány přímo lidmi a slouží k ulehčení jejich práce, nejedná se o automatizaci, ale mechanizaci. [5]

Automat

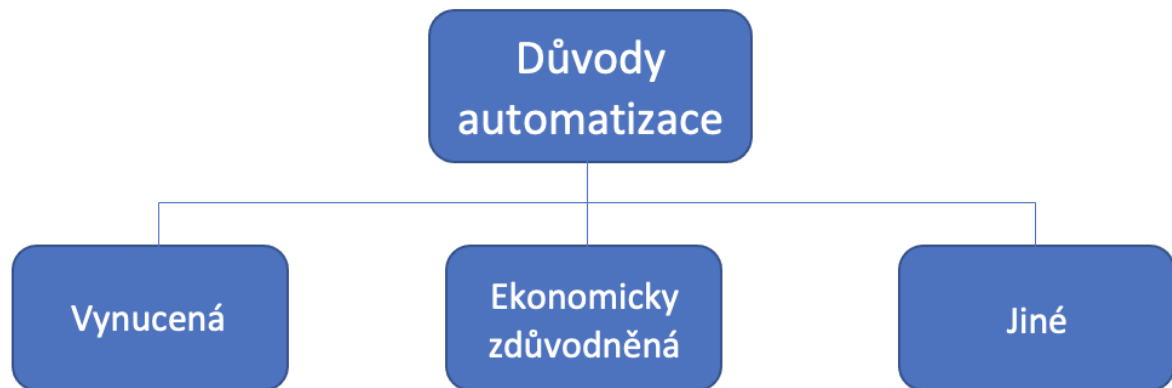
Automat je zařízení k zajištění automatizace neboli stroje schopné samostatné práce. Automatizační zařízení jsou poháněna hlavně elektřinou, mohou být ale také hydraulická či pneumatická. Samočinnost těchto strojů závisí na programech, které jsou vytvořeny lidmi. [5]

Robotizace

Robotizace je poměrně zavádějící pojem v oboru automatizace. Slovo robot jako takové pochází se slavného románu Karla Čapka R.U.R., ve kterém je definováno jako stroj podobný člověku. Z toho důvodu je označení automatů využívaných ve výrobě jako robotů nepřesné. Jedná se o robotická ramena s několika stupni volnosti, které plní převážně funkci manipulátorů. To znamená, že plní předem naprogramované pohyby. [5] [6]

3.2 Důvody automatizace

Pro aplikaci automatizace je důležité mít racionální důvody. Jedná se totiž o nahrazení lidské práce automaty, a to ve většině případů znamená nahrazení nejnižších pracovních pozic. Důvody, které vedou k zavedení automatizace, jsou děleny zpravidla do tří skupin viz Obr. 4.



Obr. 4 – Důvody automatizace [5]

3.2.1 Vynucená automatizace

Náhrada lidské práce je vynucena okolnostmi, které nejsou ekonomické povahy. Typicky se jedná o aplikace, kdy je bezprostřední přítomnost pro člověka nebezpečná, nebo dokonce smrtelná. Jedná se o prostředí s vysokou teplotou, nebo o radioaktivní či jinak zamořená místa. Dalším z důvodů je omezení pracovníka jako lidské bytosti. Lidé, i přes svou odbornost a kvalifikaci, nedokáží některé úkony provádět se stejnou rychlostí a konzistentností, jako naprogramovaný robot. To stejné platí i o velikosti a hmotnosti břemen, které je robot schopen na rozdíl od člověka přesouvat. [5]

3.2.2 Ekonomicky zdůvodněná automatizace

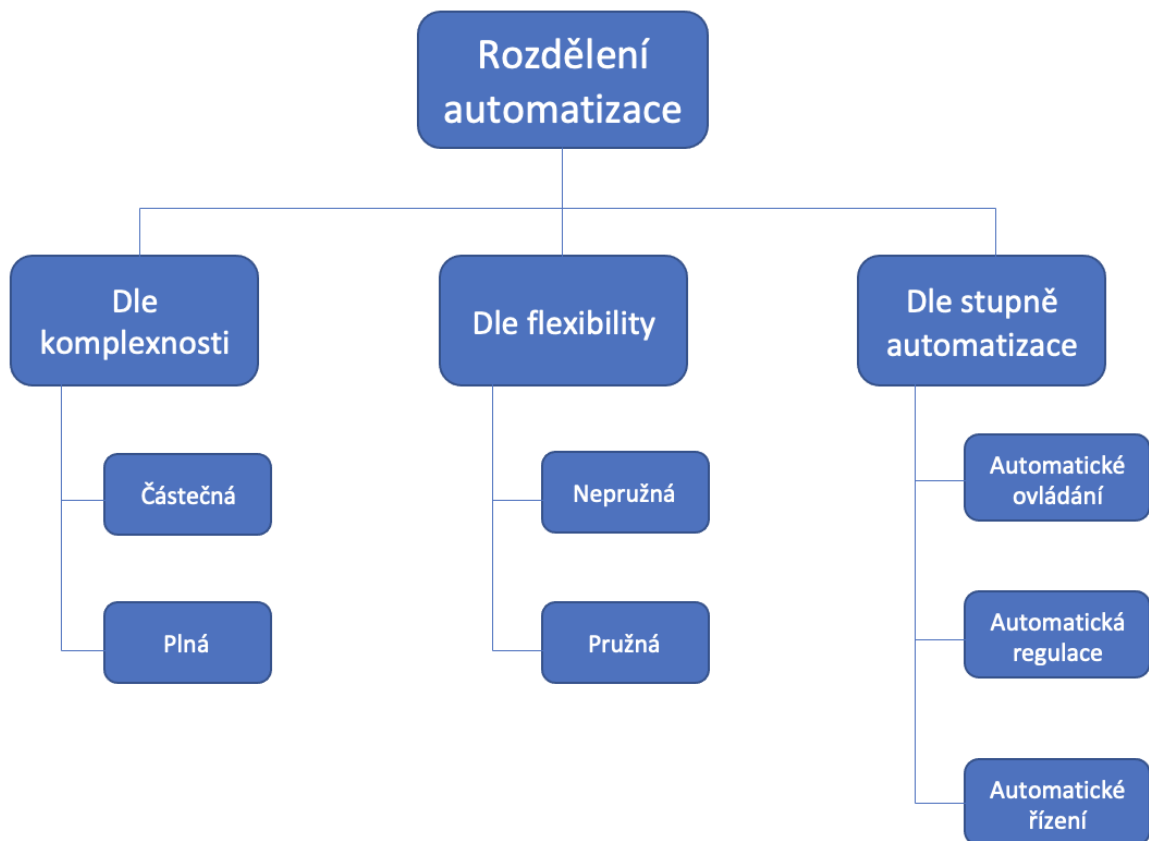
Využití automatizační techniky je zcela jasně motivováno ziskovostí celého procesu. Toto rozhodnutí je podníceno výhodami, které v určitých aplikacích automatizace přináší. Například vhodným využitím automatizovaného procesu firma sníží mzdové a režijní náklady. Firma může také pomocí automatizace zvýšit produktivitu práce zrychlením taktu výroby, snížit náklady na skladovací prostory, zmenšit výrobní plochu a snížit spotřebu některých energií. V neposlední řadě automatizace také umožňuje realizovat nadstandardní jakost, čímž poskytuje znatelnou konkurenční výhodu. [5]

3.2.3 Jiné důvody pro zavedení automatizace

Pokud se jedná pouze o průmysl, je možné říci, že hlavním důvodem je snaha ukázat prestiž firmy. Ta se tím snaží dokumentovat technologické, konstrukční a finanční schopnosti. V každodenním životě se však jedná hlavně o aplikace, které přináší lidem pohodlí. Jedná se například o automatické otevírání vrat a dveří, automatické převodovky, myčky na nádobí a mnoho dalších využití, které nám usnadňují život. [5]

3.3 Rozdělení automatizace

Automatizaci montážních procesů je možné rozdělit podle různých kritérií. Mezi základní patří dělení dle komplexnosti, flexibility, nebo stupně automatizace viz Obr. 5.



Obr. 5 – Rozdělení automatizace [5]

3.3.1 Rozdělení automatizace dle komplexnosti

Dle sériovosti montáže, množství kusů, jejich složitosti a rozměrů se v praxi volí různá míra automatizace. Pro některé případy se vyplatí mít montážní linku plně automatizovanou.

V jiných případech je naopak výhodnější využít menší podíl automatů. Komplexnost automatizace je tedy poměr automatizovaných a neautomatizovaných montážních operací.

Částečná automatizace

Automatizovány jsou jen dílčí úkony montáže a zbytek práce je prováděn dělníky. Montážní linka tím pádem není schopná samostatného provozu.

Plná automatizace

Na rozdíl od automatizace částečné je celý proces montáže kompletně mechanizován a zcela řízen automaticky. Lidé v tomto procesu vykonávají pouze strategické rozhodování, programují automaty a udržují stroje.

3.3.2 Rozdělení automatizace dle flexibility

Flexibilita montážní dílny je dána zejména jejím vybavením. Čím specializovanější jsou stroje, tím nižší je flexibilita celého procesu. Podle přizpůsobivosti se automatizace dělí na pružnou a nepružnou.

Nepružná (tvrdá) automatizace

Stroje, které provádí práci, jsou zkonstruovány na jeden druh výrobku. Změna programu automatu je tedy velice náročná nebo dokonce nemožná. Pokud je přece jen nutné program změnit, znamená to významné mechanické zásahy do celého procesu.

Pružná automatizace

Změnu výrobního procesu je možné provést pouhou změnou softwaru či výměnou nástrojů. Na rozdíl od nepružné automatizace je tato změna poměrně levná a rychlá. Na druhou stranu je pružná automatizace méně produktivní než tvrdá. [5] [8]

3.3.3 Rozdělení dle stupně automatizace

Toto rozdělení říká, jaké činnosti je stroj schopen provést, zda je schopen pracovat s ohledem na aktuální stav výrobku, nebo zda stroj dokáže sám korigovat své činnosti. Dalším kritériem je schopnost stroje dlouhodobě pracovat samostatně. Stupeň průmyslové automatizace se rozděluje podle míry samostatnosti a schopnosti využít zpětnou vazbu na automatické ovládání, automatickou regulaci a automatické řízení.

Automatické ovládání

Jeden z nejmasověji se uplatňujících oblastí automatického řízení. Využívá se jak v průmyslu, tak i u věcí spotřebního charakteru (například parkovací asistence, automatické dveře). K realizaci je často využíváno logické řízení, to umožňuje zahrnovat pouze jednodušší zpětnou vazbu jako jsou bezpečnostní pojistky, koncové spínače. Výsledný produkt ale musí



být kontrolován, případně opravován člověkem. Hlavním důvodem této kontroly je neschopnost systému zaznamenat změny v parametrech vlastní soustavy, či změny vnějších vlivů. [5] [7]

Automatická regulace

Automatická regulace využívá obvody se zpětnou vazbou. To znamená, že ze získaných informací se bezprostředně upravuje chování automatizované soustavy. Změna se děje automaticky a není tedy nezbytná přímá účast člověka v tomto procesu. [6] [7]

Automatické řízení

Tento způsob řízení je komplikovanější než předchozí dva, ale přináší výhody, které regulace a ovládání nepřináší. Automatické řízení využívá informace o vnitřních stavech v soustavě s pomocnou akční, či regulační veličinou, což znamená rychlejší a přesnější regulaci řízení. To přináší více proměnných, a tudíž větší matematickou náročnost. [5] [6]

4. PRVKY AUTOMATIZACE

V této kapitole se budu věnovat prvkům, které jsou využívány při automatizaci v praxi. Především se zaměřím na robotická ramena a grippery, protože právě ty budu využívat v následující praktické části.

V praxi je automatizovaná montážní linka složena z několika mechanizovaných technologií, které jsou mezi sebou provázány. Často bývá vybavena systémem usnadňujícím přepravu mezi jednotlivými stanovišti. Stanoviště jsou pak vybavena automaty vyšších úrovní. V následujících podkapitolách rozdělím a popíši automatizační prvky.

4.1 Automatizace přepravy materiálu

U velkých průmyslových linek se materiál přemísťuje mezi jednotlivými montážními stanovišti. Jedná se zejména o přepravu polotovaru, montážních jednotek mezi operacemi, nebo přepravu hotových výrobků. Automatizace tohoto procesu je samostatným úkolem a vyžaduje složité plánování.

Nejčastěji se k automatizaci této činnosti využívají dopravníkové systémy. Jednotlivá montážní pracoviště jsou propojena dopravníky. Tento způsob přepravy je velice efektivní a výhodný pro krátké vzdálenosti. Pro delší vzdálenosti je ovšem příliš pomalý, a tím pádem neefektivní. Z toho důvodu se na delší vzdálenosti využívají takové systémy přepravy, které vezou více kusů naráz a jedou pouze jednou za čas. K tomu se využívají vysokozdvizné a paletové vozíky. V dnešní době je ovšem snaha automatizovat i toto, takže lidmi obsluhované manipulační stroje jsou nahrazeny robotickými podvozky a autonomními vozíky. [9] [10] [11]

4.2 Prvky automatizace strojních zařízení

Stroje využívané při montáži jsou složeny z jednotlivých komponentů. Ty jsou mezi sebou propojeny a musí být poháněny, aby mohly fungovat automaticky. Nejčastěji jsou využívány tři druhy pohonů – pneumatické, hydraulické a elektrické. Samotná automatizace musí být řízena softwarem, který je možné naprogramovat a variabilně tak měnit chod strojů.

4.3 Roboty a manipulátory

V průmyslu se častou využívají zařízení, která provádí činnosti podobným způsobem jako člověk. Tato zařízení jsou nazývána „Průmyslové roboty a manipulátory“ neboli PRaM. Pojem robot je ovšem zavádějící. Robot jako takový je stroj podobný člověku. V praxi se ovšem využívají víceosé manipulátory, které připomínají lidskou paži. Kvůli zjednodušení názvosloví, budu tyto víceosé manipulátory nazývat robotická ramena.

V posledních letech dochází k velkému rozvoji tohoto odvětví, a to zejména v oblastech průmyslové montáže a těžkého průmyslu. Stále větší procento lidské práce je nahrazováno roboty, které tuto práci provádí rychleji a hlavně konstantně. Výhodou použití robotických ramen je jejich schopnost pracovat v optimalizované montážní lince nepřetržitým konstantním tempem. [12]

V následujících odstavcích rozdělím robotická ramena podle jejich specifikací do jednotlivých skupin. Tyto skupiny předurčují možnosti jejich aplikací.

4.3.1 4-osé roboty

Tento druh robotických ramen je také nazýván SCARA. To je zkratka z „Selective Compliance Assembly Robot Arm“ („selektivní kompatibilní kloubové robotické rameno“). Tento druh robotického ramena (viz Obr. 6) má několik výhod, především výbornou opakovatelnost pohybů a jejich vysokou rychlost. Nevýhodou je ovšem neschopnost ramene pracovat v rovinách, které nejsou rovnoběžné s rovinou podstavy. [13]



Obr. 6 – 4-Osý robot [14]

4.3.2 6-osé roboty

Tato robotická ramena (viz Obr. 7) se vyznačují šesti stupni volnosti. Při jejich používání je největší výhodou možnost práce v téměř jakémkoli úhlu a místě, které je v dosahu robota. Z toho důvodu se využívají při složitějších operacích, kdy je potřeba pohybovat s výrobkem po specifických drahách tak, aby nebyla nabourána některá z ostatních součástí montážního celku. Nevýhodou těchto ramen je nižší rychlost a horší opakovatelnost pohybů. Ta je zapříčiněna větším množstvím lineárních motorů pracujících nezávisle na sobě (jejich chyba se sčítá). [15] [17]



Obr. 7 – 6-osé roboty [16]

4.3.3 Kolaborativní roboty

Hlavním rozdílem mezi běžným a kolaborativním robotem je způsob zajištění bezpečnosti pracovníků v jeho okolí. U klasických robotů je bezpečnost zajištěna ve většině případů dostatečnou vzdáleností lidí od robota (klec, různé zábrany). Na rozdíl od toho mohou kolaborativní roboty přímo spolupracovat s lidmi na velmi krátkou vzdálenost (viz Obr. 8). Tento způsobu spolupráce je umožněn řadou bezpečnostních opatření. Těmi jsou například pryžové vrstvy na rameni robota, množství dotykových čidel, které při zaznamenání kontaktu robota okamžitě zastaví a v poslední době je nejmodernější technologií, takzvané prostorové

vidění, kdy robot „vidí“ člověka. Pomocí soustavy kamer je schopen vyhodnocovat vzdálenost člověka a včas zastavit svůj pohyb. [19] [20]



Obr. 8 – Spolupráce člověka s kolaborativním robotem ABB Yumi [18]

4.3.4 Delta roboty

Roboti typu DELTA (viz Obr. 9) pracují v rovinách rovnoběžných s rovinou základny. Ta je nejmohutnější částí celého robota. Z její spodní strany vychází aktuátory, které jsou pomocí kloubů připojeny k efektoru. Jednoznačnou výhodou těchto robotů je jejich vysoká rychlost. Naopak nevýhodou je nízká přesnost ($\pm 0,1\text{mm}$), nižší rozsah oproti 6-osým robotům a schopnost pracovat pouze v rovinách rovnoběžných s rovinou základny. [21]



Obr. 9 – DELTA robot [22]

5. ANALÝZA ZPŮSOBŮ UCHOPOVÁNÍ

Robotické grippery jsou koncové části robotických ramen, které umožňují robotu vykonávat práci, pro kterou je navržen. Velice zjednodušeně je možné je přirovnat k prstům lidské ruky.

V následujících podkapitolách si rozdělím tyto grippery podle pohonu a kinematiky, kterou využívají. Na závěr se zaměřím také na takzvané smart grippery a technologie, které se v nich využívají.

5.1 Rozdělení gripperů

Na začátek rozdělím grippery na aktivní a pasivní. Základní rozdíl mezi těmito dvěma skupinami je hlavně ve způsobu uvolnění uchopeného předmětu.

Pasivní grippery

Uchopený předmět musí být uvolněn vnější silou. Jedná se většinou o grippery mechanické, kdy je uchopení realizováno pomocí speciální konstrukce čelistí. Dále o grippery pneumatické, kdy je podtlak vytvořen deformací přísavky a o grippery magnetické, které obsahují trvalý magnet. Tyto druhy hlavic mohou být využity pouze v omezeném množství případů. [23]

Aktivní grippery

Tyto grippery mohou předmět uvolnit bez jakéhokoli vnějšího zásahu. Jejich geometrie je ovšem složitější a musí být ovládány nějakým druhem pohonu. Protože se v praktické části budu zabírat těmito grippery, popíši je podstatně podrobněji než pasivní. [23]

5.1.1 Pokročilejší rozdělení gripperů

Pokročilejší rozdělení gripperů je podle fyzikálního principu, na kterém fungují.

Tímto způsobem se dělí na grippery mechanické, pneumatické, magnetické a elektrostatické. Vzhledem k zadání praktické části a využitelnosti jednotlivých způsobů uchopení zde rozvedu pouze první dva výše uvedené způsoby. [24]

Mechanické grippery

Tento druh gripperů funguje na principu třecí síly, která je vytvořena přitlačnou silou. Tato síla je vytvořena čelistmi, které sevrou manipulovaný předmět (viz Obr. 10). Sevření čelistí může být buď pasivní, vytvořeno například pružinou, nebo aktivní. Aktivní sevření znamená schopnost čelistí se rozevírat a zavírat bez vlivu vnější síly. Toho je možné dosáhnout použitím

několika druhů pohonů. Podle pohonů dělíme mechanické grippery na elektrické (využívají servomotory), hydraulické a pneumatické. [25] [26]

Další možné rozdělení mechanických hlavic je pomocí transformace pohybu. Toto rozdělení je zásadní pro využití jednotlivých hlavic a podrobněji se mu budu věnovat v následující podkapitole.



Obr. 10 – Mechanický gripper [27]

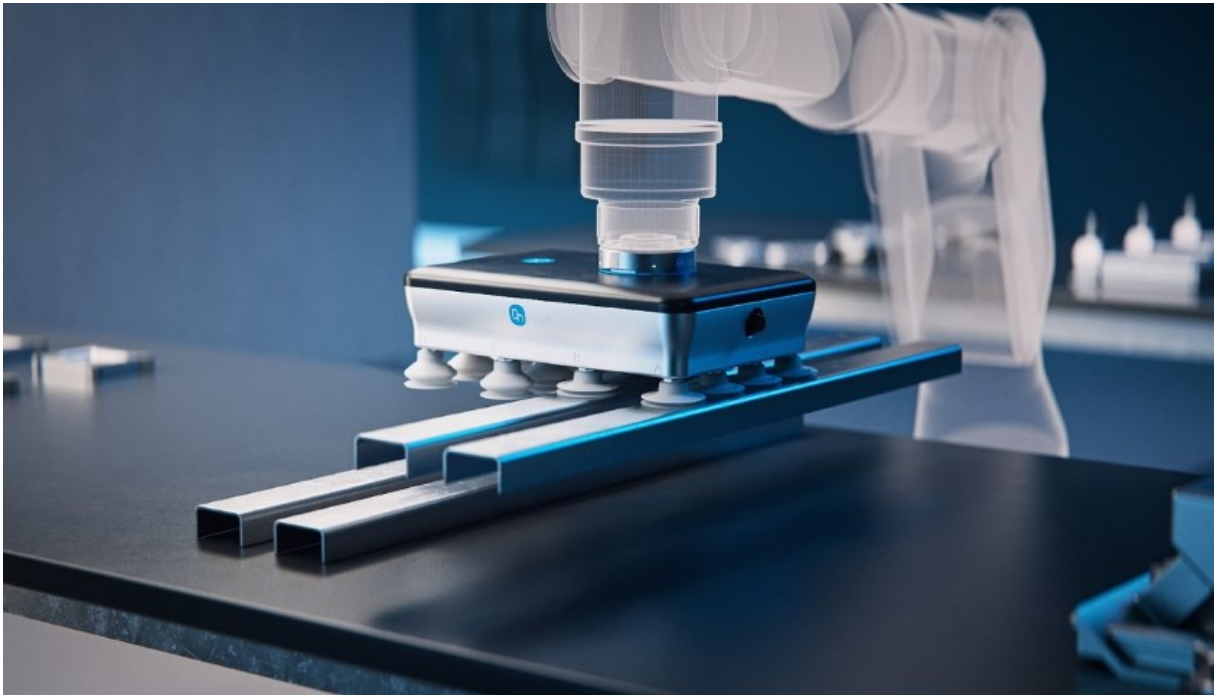
Pneumatické grippery

Při praktickém použití jsou pneumatické grippery rozděleny na přetlakové a podtlakové.

Přetlakové grippery jsou z flexibilního materiálu, který po zvýšení vnitřního tlaku změní svůj objem, a tím působí silou na uchopovaný objekt. Druhý způsob využití přetlaku v gripperech je použití hadice s měnícím se průměrem, či různou flexibilitou. Při zvýšení vnitřního tlaku dojde k deformaci (ohnutí) hadice, a tím k obejmutí objektu, se kterým chceme manipulovat. Díky svým vlastnostem se hodí k manipulaci s nepravidelnými objekty větších rozměrů.

Podtlakové grippery naopak využívají právě podtlaku a dalo by se říci, že se „přisají“ na povrch uchopovaného předmětu. Tento druh gripperů může být pasivní, kde je podtlak

vytvořen pomocí deformace přísavky a aktivní, kde je podtlak vytvořen pomocí difuzoru, či vývěvy (viz Obr. 11). [25]



Obr. 11 – Podtlakový gripper [28]

Magnetické grippery

Tyto grippery využívají k uchopení předmětu magnetickou sílu (viz Obr. 12). Podle druhu magnetu je lze zařadit buď mezi pasivní grippery využívající trvalé magnety, nebo mezi aktivní grippery využívající elektromagnety. Nevýhodou těchto hlavic je schopnost uchopovat pouze feromagnetické předměty, a to ze zřejmých důvodů. [29]



Obr. 12 – Magnetický gripper [31]

5.2 Kinematika mechanických gripperů

Přítlačná síla potřebná k vytvoření dostatečné třecí síly je vytvořena elektromotorem, nebo pneumatikou. Síla vytvořená těmito způsoby musí být „převedená“ na místo, ve kterém je potřeba, tedy na čelisti. Tento převod síly je umožněn pomocí vhodně zvolené kinematiky (viz Tab. 1).

Tab. 1 – Druhy kinematiky mechanických gripperů [33]

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

5.2.1 Kloubový mechanismus

Kloubové mechanismy převádí pohyb rotační a posuvný na pohyb obecně rovinný. Skládají se z několika členů spojených rotačními a posuvnými vazbami (viz Obr. 13). V praxi existují tři druhy tohoto mechanismu – kulisový, klikový a čtyřkloubový, který má velký význam

na poli robotiky. Jedná se o mechanismus využívající k translaci pohybu pouze rotační vazby a lze ho využívat i u smart úchopových hlavic. [30]



Obr. 13 – Gripper s kloubovým mechanismem [34]

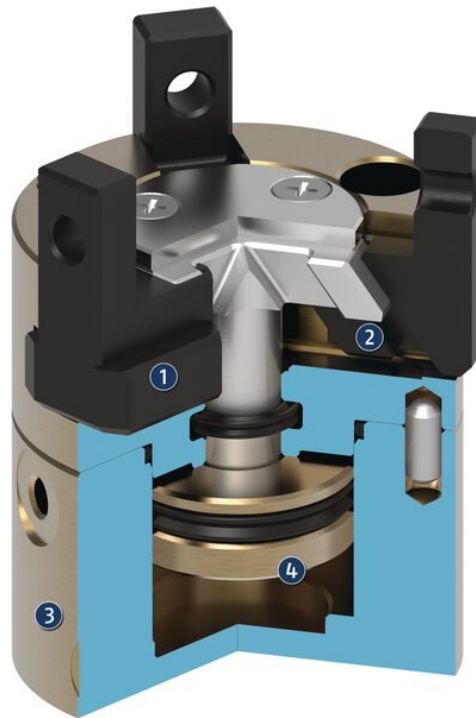
5.2.2 Ozubený mechanismus

Tento druh mechanismu je dobře polohovatelný a snadno u něj lze regulovat úchopová síla. Z těchto důvodů se využívá při manipulaci s objekty malé a střední velikosti a s objekty, které jsou citlivé na deformaci.

U elektricky poháněných hlavic je poháněn pastorek, který přenáší rotační pohyb pomocí ozubených hřebců na pohyb posuvný. U pneumatických hlavic jsou naopak poháněny ozubené hřebeny.

5.2.3 Vačkový mechanismus

Váčkové mechanismy (viz Obr. 14) využívají pohybu po předem daných trajektoriích. Ty jsou vytvořeny pomocí posuvného pohybu po zakřiveném povrchu (vačce), nebo v šabloně. Hlavní výhodou těchto mechanismů je automatická synchronizace pohybu a jeho plynulost. Nevýhodou jsou velké třecí ztráty a rychlé opotřebení způsobené posuvným pohybem. [32]



Obr. 14 – Vačkový mechanismus [35]

5.2.4 Šroubový mechanismus

Šroubové mechanismy se využívají primárně k převodu rotačního pohybu u hlavic řízených elektromotorem (viz Obr. 15). Mechanismus převádí rotační pohyb vytvořený elektromotorem, či ozubeným soukolím na pohyb posuvný. Tento převod je umožněn pohybovým šroubem, jehož využití je doprovázeno značnými ztrátami. Pro zvýšení účinnosti se využívají kuličkové šrouby a vícechodé závity. [30]

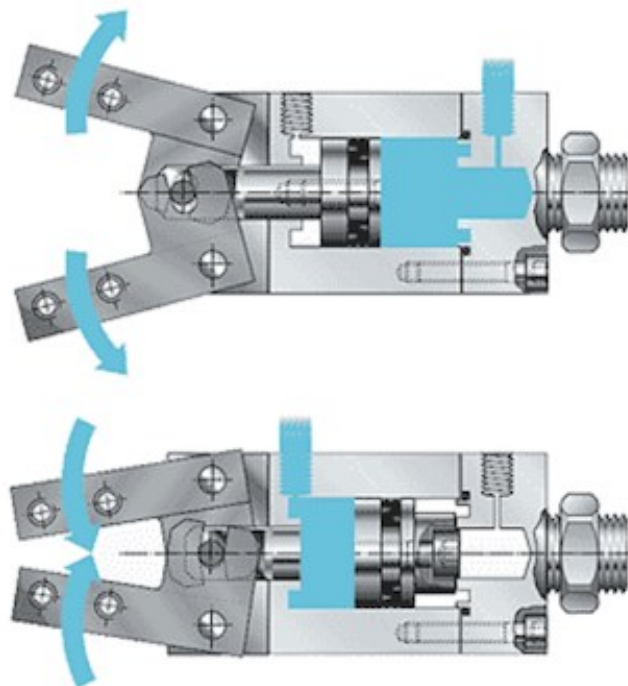


Obr. 15 – Šroubový mechanismus [36]

5.2.5 Pákový mechanismus

Jak už napovídá název, tento mechanismus funguje na principu páky. To znamená, že na rameno, které je upevněno rotační vazbou, působí síla, nebo točivý moment a na druhé straně se pomocí jednoduchého principu páky vytvoří síla, pomocí které je svírán uchopovaný předmět.

Rozlišují se v zásadě dva druhy těchto systémů. Prvním z nich je pneumatický, takzvaný SGW, kde je uchopovací síla vytvořena tlakem (viz Obr. 16). Tento druh gripperu je velice lehký, a to zejména z důvodu využití plastových komponentů. Druhým je systém s elektromotory, takzvaný SDH, který funguje jako několik pákových mechanismů za sebou, přičemž každý je ovládán zvlášť pomocí servomotoru. [32]



Obr. 16 – Pákový mechanismus SGW [37]

5.2.6 Mechanismus bez translace pohybu

Tyto druhy mechanismů využívají k uchopování pouze zpřevodovaný pohyb přímo z jeho zdroje. Jejich ztráty jsou tedy velice malé. Nelze s nimi ale uchopovat složitější tvary a menší předměty, protože nejsou tak přesné. V určitých aplikacích se ale tyto vlastnosti hodí. [36]

5.3 Senzorické smart grippery

Rozdíl mezi mechanickými a senzorickými smart grippery spočívá hlavně ve zpětné vazbě, kterou poskytují. Zpětná vazba je zprostředkována senzory, které říkají, jestli je objekt deformován, jakou silou je uchopen, zda při manipulaci nějakým způsobem prokluzuje a spousta dalších vlastností.

V této podkapitole se budu věnovat právě sensorům, které jim zpětnou vazbu poskytují.

5.3.1 Silové senzory

Tenzometry

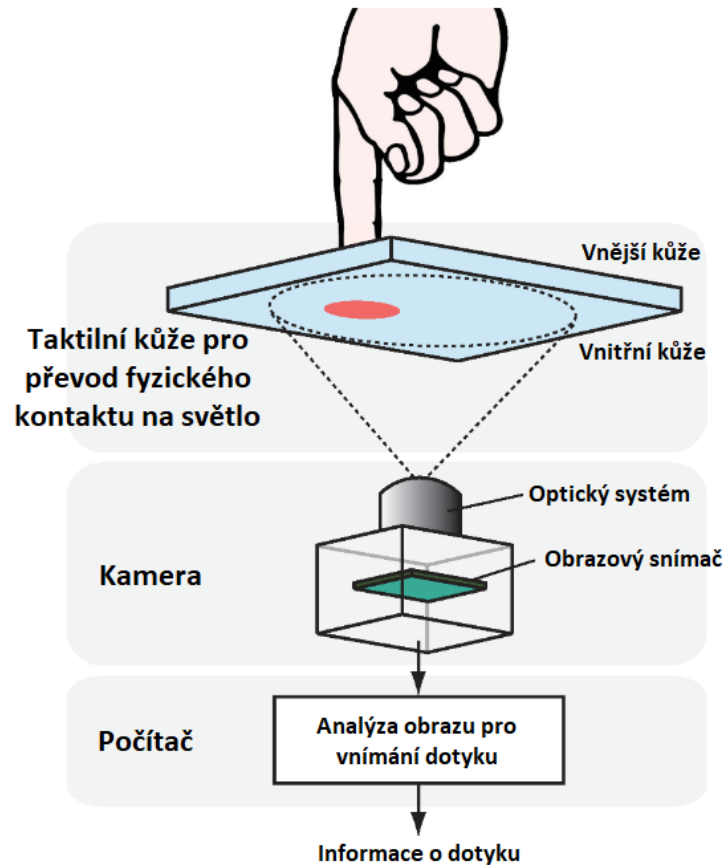
Síla působící mezi objektem a uchopovacími prvky způsobuje deformaci tenzometru. Tato deformace vyvolává změnu odporu tenzometru a na základě této změny je možné vyvodit působící sílu. Kvůli přesnosti měření je nutné využít můstků, z důvodu anulování vlivu vnější teploty. [38]

Tenzometry je nutné v pravidelných intervalech kalibrovat, aby naměřená data odpovídala realitě.

Optické metody

Zásadním krokem těchto metod je převod fyzických podnětů na podněty světelné. V případě světelných podnětů vyhodnocovací software pomocí kamerového systému změří sílu jednotlivých podnětů. (viz Obr. 17).

Převod fyzických podnětů na podněty světelné je prováděn pomocí světlovodivé desky, nebo pomocí deformační desky poseté reflexními body. Následná deformace je vyhodnocena na základě změny polohy jednotlivých teček. Jedná se pouze o dva příklady technologií využívaných v tomto odvětví pro nastínění způsobu fungování. V praxi existuje technologií více a záleží na firmě, která je vybrána za dodavatele, jakou technologii preferuje. [42]



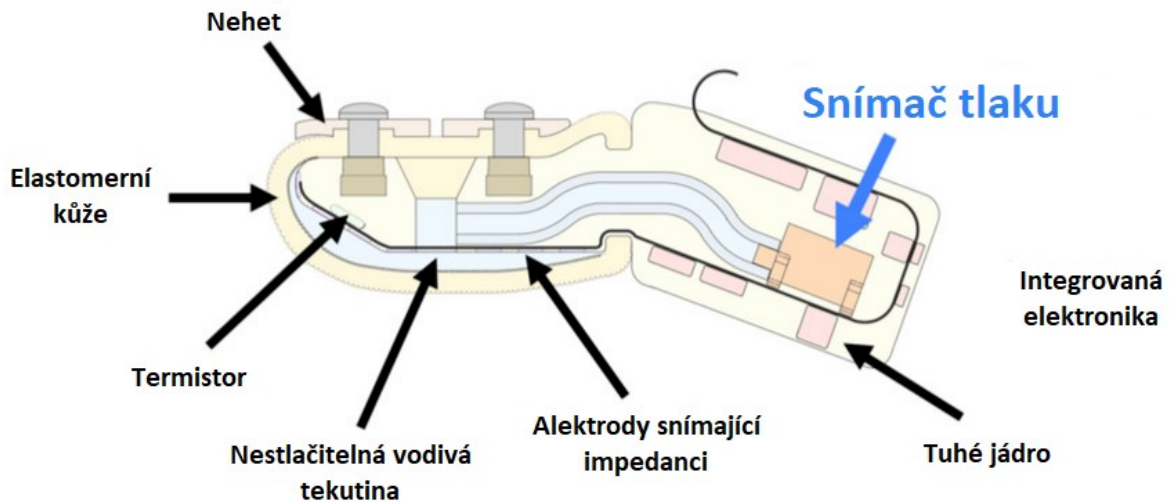
Obr. 17 – Optické metody měření síly [42]

Taktilní senzory

Tento druh senzorů převádí informace o dotyku na elektrický signál (příklad Obr. 18). Výhodou těchto senzorů je jejich schopnost určit nejen sílu úchopu, ale i tvar uchopovaného předmětu nebo jeho natočení. Existuje několik druhů těchto senzorů, pro příklad zde uvedu dva typy.

Senzory s vodivým elastomerem získávají informace o dotyku pomocí změny jeho odporu. Elastomer je grafitem sycená pryž. Navíc lze u těchto senzorů získávat i informace o teplotě tělesa, které uchopují.

Senzory využívající piezoelektrického jevu jsou využívány pro své malé rozměry a pro schopnost měření dynamických sil vznikajících při vibracích. Toho je využíváno při rozpoznávání prokluzu. [41]



Obr. 18 – taktilní senzor [40]

5.3.2 Kontrola deformace

Nejčastěji je deformace kontrolována odměřováním na motoru, a to konkrétně na elektrickém servomotoru. Pomocí natočení je možné dopočítat koncovou polohu uchopovacích prstů. Toto natočení lze měřit pomocí inkrementálních, či absolutních snímačů polohy. U pneumatických motorů se měří poloha pístu pomocí bezkontaktních snímačů a následně se dopočítává poloha uchopovacích prstů.

Dalším způsobem je odměřování polohy přímo na prvcích mechanismu. Je možné měřit natočení i posuv koncových prvků. Čím blíže jsou senzory k uchopovanému objektu, tím přesnější data jsou získávána.

5.3.3 Kontrola uvolňování objektu

Při uchopování těles je důležité brát v potaz, že některá tělesa jsou křehká a snadno deformovatelná. Z toho důvodu není možné vždy využít maximum uchopovací síly. Je tedy nezbytné volit takovou sílu, která nezpůsobí deformaci tělesa, ale zároveň nedovolí tělesu prokluzovat. Právě tento prokluz indikuje uvolňování tělesa, což je nutné kontrolovat.

Snímače vzdálenosti

Tyto senzory bezkontaktně vyhodnocují vzdálenost objektu od snímače. Pokud se vzdálenost tělesa mění, dochází k uvolňování.

Snímače se rozdělují na odrazové a přímo reagující na posuv objektu. Odrazové vysílají světelný signál a následně měří dobu letu paprsku společně s jeho úhlem. Pokud se tento čas začne měnit, je jasné, že se těleso uvolňuje. Snímače přímo reagující na posuv jsou kapacitní a indukční, reagují právě na změnu indukčnosti či kapacity v jejich okolí. [38]

Šestiosé snímače

Šestiosé snímače jsou umísťovány přímo na koncový prvek. Jedná se o víceúčelové snímače, jejichž pomocí je možné kontrolovat nejen uvolňování objektu, ale také uchopovací sílu a využít je k měření hmotnosti uchopovaného tělesa.

Optická kontrola skluzu

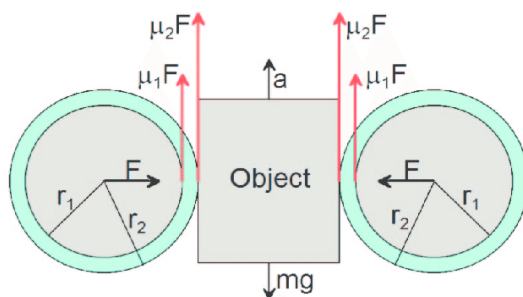
Tento způsob kontroly je vhodný pro deformovatelné objekty. Díky analýze dotykového obrazu tělesa lze rozlišit plochy stabilní a plochy, na nichž dochází ke smýkání. Tímto způsobem je možné odhalit prokluz předem a včas na něj reagovat. [43]

Dotyková kontrola skluzu

Tato metoda využívá stejného principu jako optická. Rozdíl je pouze ve využití dotykového taktilního senzoru k odhalení uvolnění předmětu. Pomocí tohoto snímače jsou snímány vibrace indikující prokluz a následně je možné zpětnovazebně řídit sílu úchopu tak, aby se zabránilo uvolnění. [45]

Kontrola pomocí tření

Pokud jsou správně zvoleny koeficienty tření tělesa a válečku, bude docházet místo prokluzu tělesa, k protáčení válečků (viz Obr. 19). Na základě toho lze reagovat na uvolňování uchopované součásti včas a zareagovat zvýšením přitlačné síly. Třecí senzory jsou navíc přesnější, protože na rozdíl od jiných zaznamenávajících například vibrace, zaznamenávají pohyb napřímo. Příklad vzhledu gripperu s třecím senzorem je vidět na Obr. 20. [44]



Obr. 19 - Popis funkce třecího senzoru [44]



Obr. 20 - Třecí senzor prokluzu [44]

5.4 Flexibilní grippery

Grippers tohoto typu jsou využívány zejména k uchopování křehkých a snadno deformovatelných předmětů. V praxi se rozdělují podle toho, zda využívají aktivní či pasivní flexibilní prvky.

Pasivní flexibilní prvky jsou tvarovány podle uchopované součásti. To způsobí, že součást „zapadne“ mezi koncové členy a tím se sníží potřebná uchopovací síla. Zároveň jejich flexibilita představuje určitou ochranu proti deformaci při překročení dovolené stykové síly.

Aktivní flexibilní prvky umožňují vytvarování kolem součásti přímo v pracovním cyklu. To umožňuje uchopovat různé tvary předmětů bez nutnosti upravovat koncový efektor. V praxi se využívá celá řada těchto prvků, já ale popíši pouze některé z nich.

Například FlexShape gripper od firmy Festo (Obr. 21) využívá jednoho pevného a jednoho flexibilního prvku. Ten je plněn kapalinou, tím se nafoukne a obejmě uchopovaný předmět. Navíc je uchopovaný předmět přitlačen k pevnému prvku, čímž vznikne pevný úchop. Podobným prvkem je MGrip (Obr. 22), který funguje na stejném principu, pouze se jedná o pneumatický prvek. [46]



Obr. 21 – FlexShape gripper [47]



Obr. 22 – MGrip [48]

6. ANALÝZA PROCESU MONTÁŽE

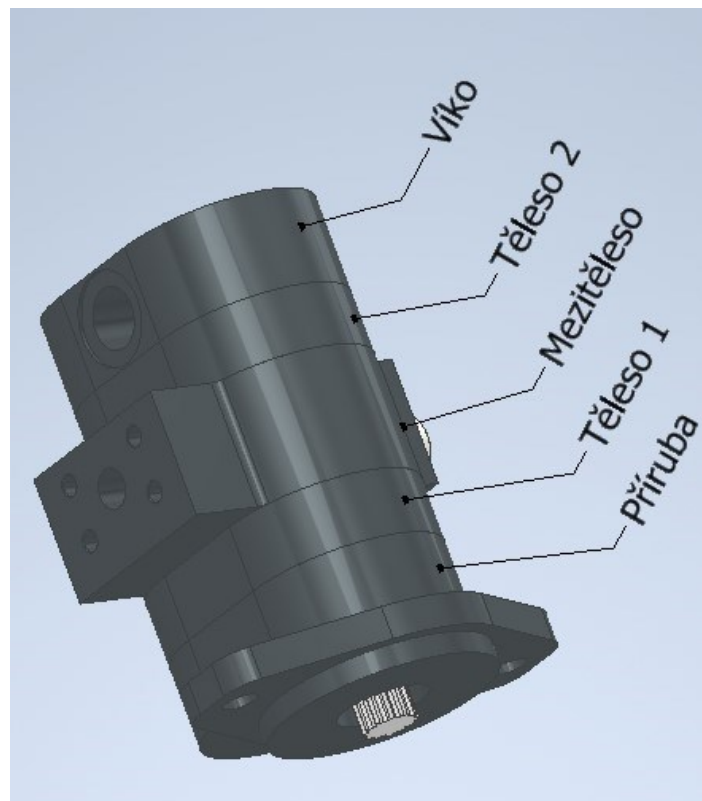
V této kapitole budu popisovat samotné čerpadlo a montážní úkony, které se budou provádět před robotizovanou montáží a průběh robotizované montáže. Také se zmíním o jejich výhodách a nevýhodách a popíši součásti a stroje nutné ke spuštění tohoto projektu v praxi.

Při práci na tomto projektu jsem měl k dispozici modely čerpadla s pozměněnými rozměry, z důvodu ochrany vlastnictví firmy Jihostroj, a.s.. Rozměry jednotlivých částí uchopující díly jsou tedy navrženy pro rozměry modelu, který jsem měl k dispozici.

6.1 Popis čerpadla

Čerpadlo, které se bude skládat pomocí gripperu, je zubové. Existují různé varianty. Ty mají stejné rozměry a liší se pouze násobností provedení (počtem spolu zabírajících ozubených kol). Toto čerpadlo má masivní litinovou konstrukci (viz Obr. 23), a tudíž je těžké, ale zároveň velice odolné.

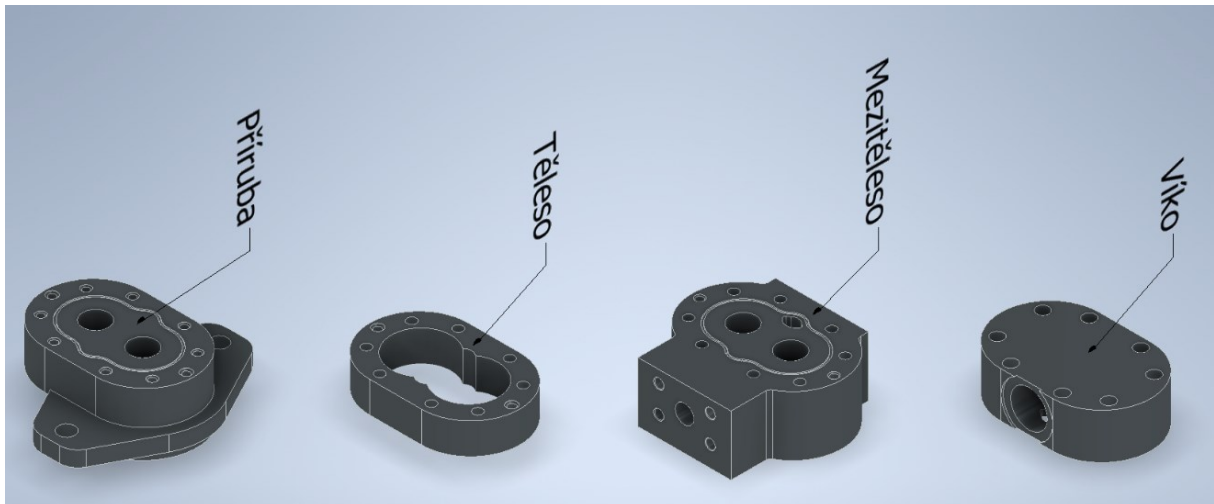
Vzhledem k různorodosti tvarů a velikostí jednotlivých dílů čerpadla, jsou díly rozděleny do třech skupin, podle jejich tvarové podobnosti. V každé z těchto skupin je nutné provést předmontáž, protože robotizace tohoto úkonu by byla natolik složitá, že se nevyplatí, nebo v některých případech dokonce nelze provést.



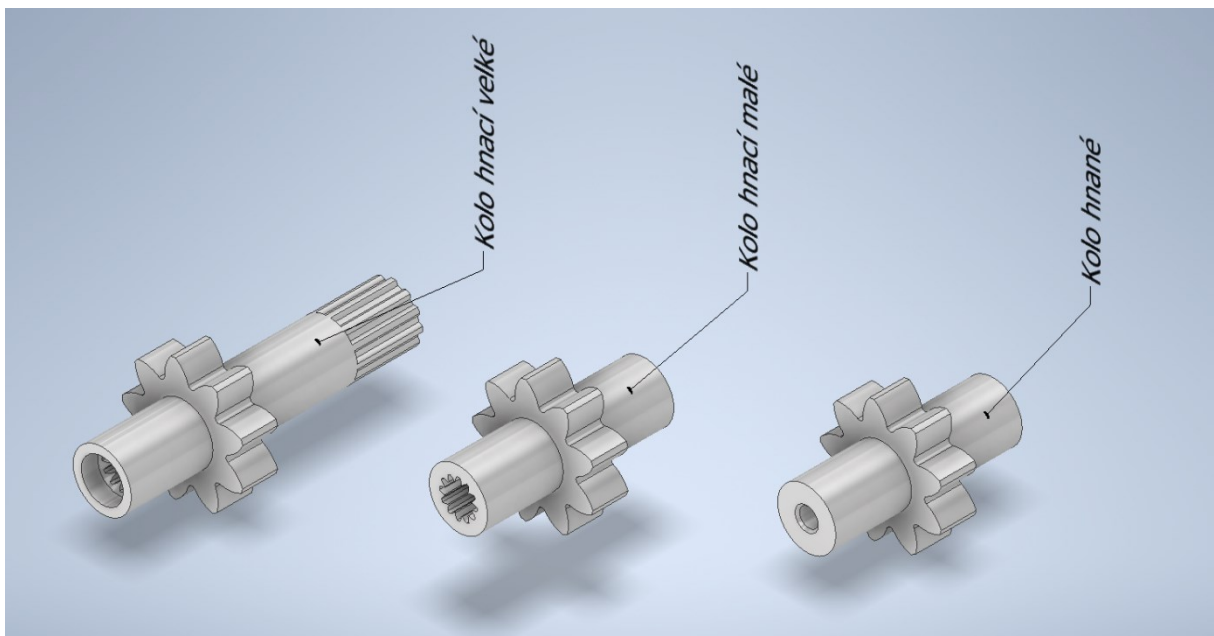
Obr. 23 – Celé čerpadlo

6.1.1 Rozdělení montážních celků

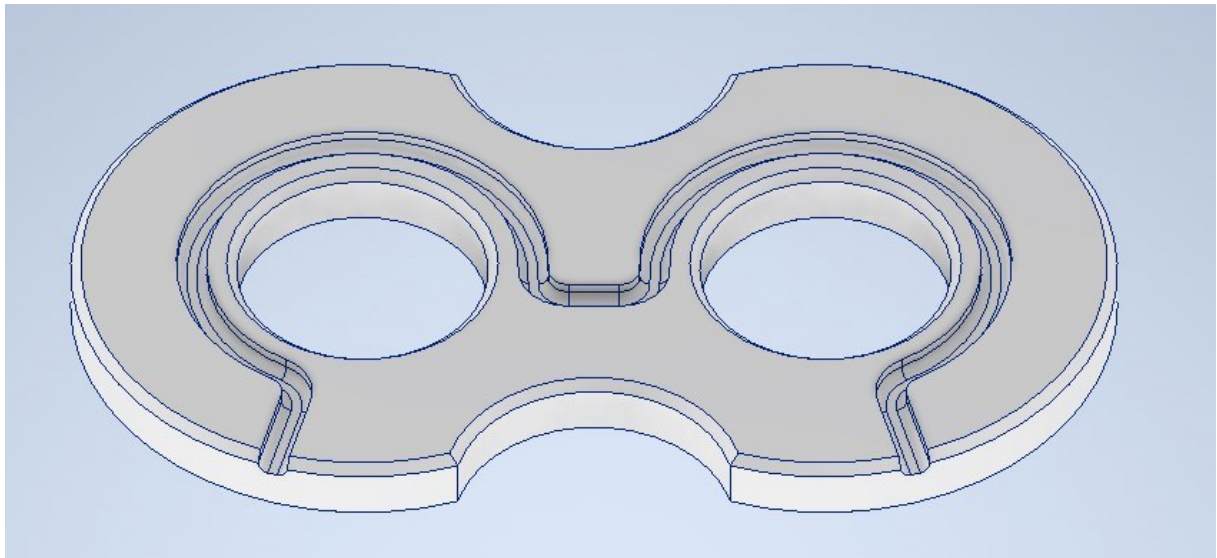
Rozdělení skupin je provedeno zejména podle tvaru. A to na části litinové (viz Obr. 24), části rotační (hřídele s ozubenými koly) (viz Obr. 25) a přítlačné desky (viz Obr. 26). Tyto části musí být kvůli svému specifickému tvaru uchopovány speciálním způsobem. Na základě této úvahy je vytvořen návrh gripperu.



Obr. 24 – Litinové díly



Obr. 25 – Rotační části



Obr. 26 – Přítlačná deska

6.2 Předmontáž

Jak jsem již zmínil v předchozím odstavci, před samotnou robotickou montáží je nutné provést předmontáž. Z důvodu složitosti některých operací je jednodušší, rychlejší a tím pádem levnější provést některé operace ručně.

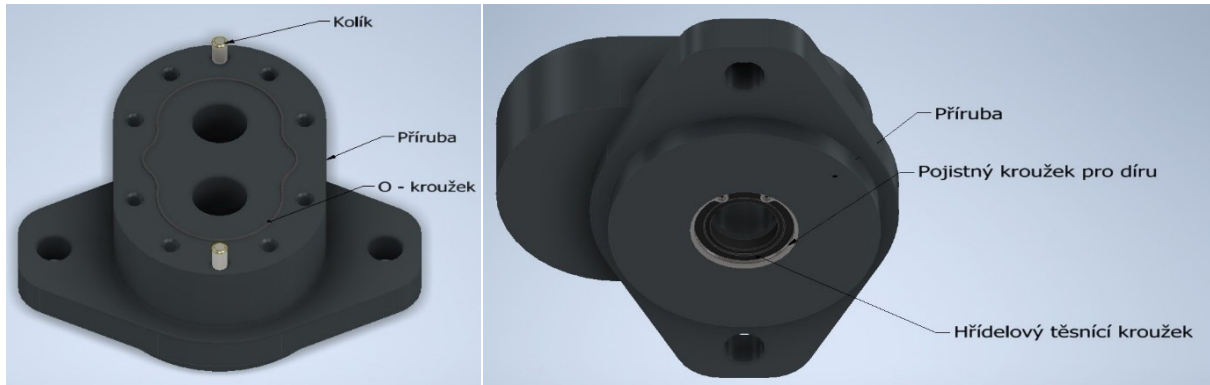
Navíc je nutné některé díly kontrolovat. Zejména rotační díly (hnací a hnaná kola), protože při výrobě může vzniknout nedokonalost v ozubení. Tato nedokonalost by následně znamenala v lepším případě velké ztráty při provozu, v horším zadření čerpadla.

6.2.1 Předmontáž litinových částí

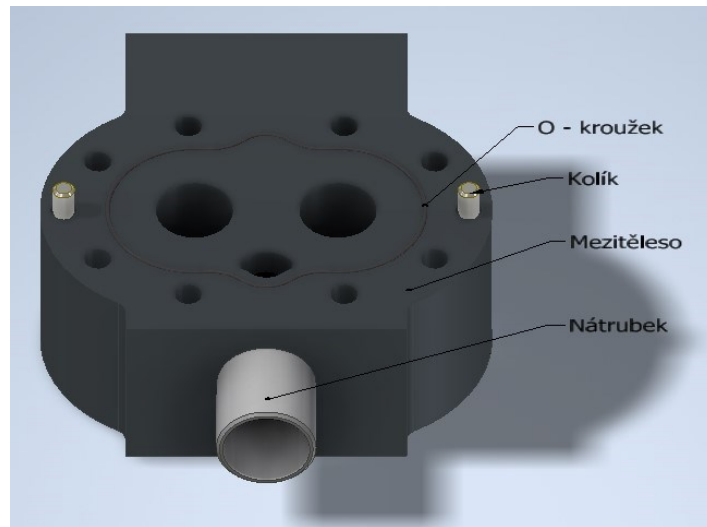
Litinových částí je více druhů. Pro uchopování gripperem je ale všechny беру jako jednu skupinu, protože jejich vnější rozměry jsou velmi podobné a uchopují se stejným způsobem.

Předmontáž litinových částí spočívá v nalisování gufera a nasazení pojistného kroužku pro díry do příruby a nalisování nátrubku do mezitělesa. Následně je nutné vložit O-kroužky do příruby, mezitělesa a víka. Tato operace musí být provedena v předmontáži, protože se jedná o měkké části, kterými není robot schopen manipulovat. Navíc je nutné důkladné očištění dílu před vložením O-kroužku.

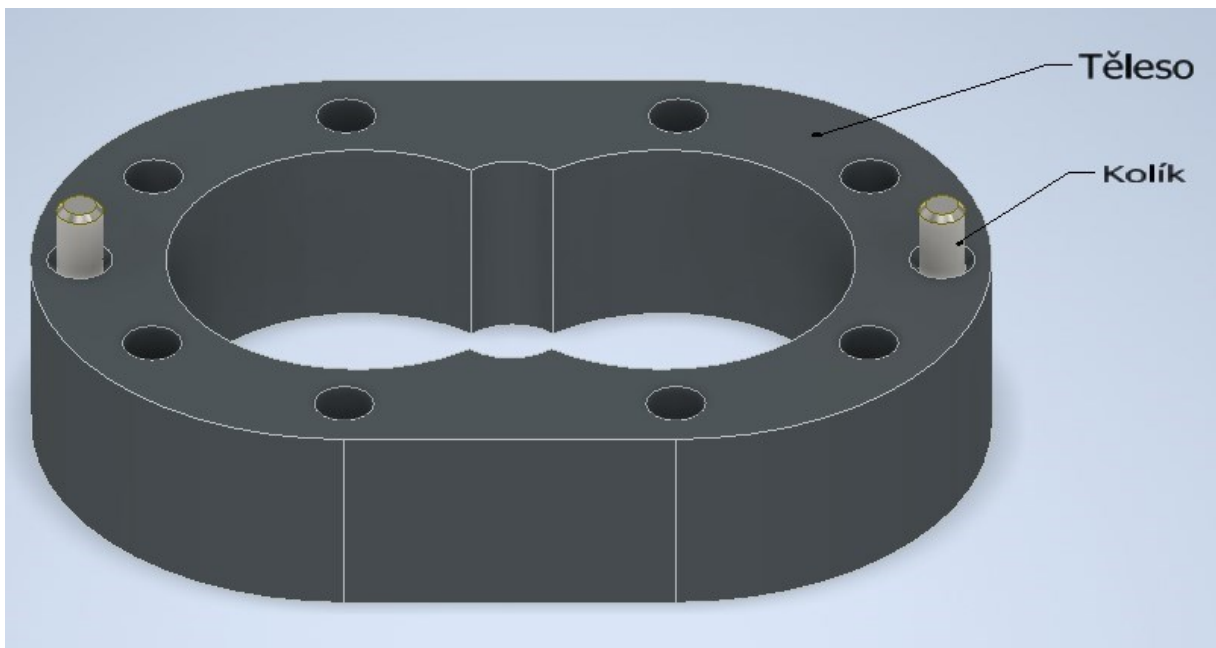
Další částí předmontáže je vložení kolíků do děr pro ně. Tento úkon by bylo možné robotizovat, ale vzhledem ke snadnosti úkonu a k tomu, že pracovníci stejně musí litinové části připravit na místo, odkud jsou uchopovány robotem, je jednodušší a rychlejší, když kolíky do děr vloží člověk. Montážní celky, které prošly předmontáží, jsou vidět na obrázcích Obr. 29, Obr. 28, Obr. 27, Obr. 30.



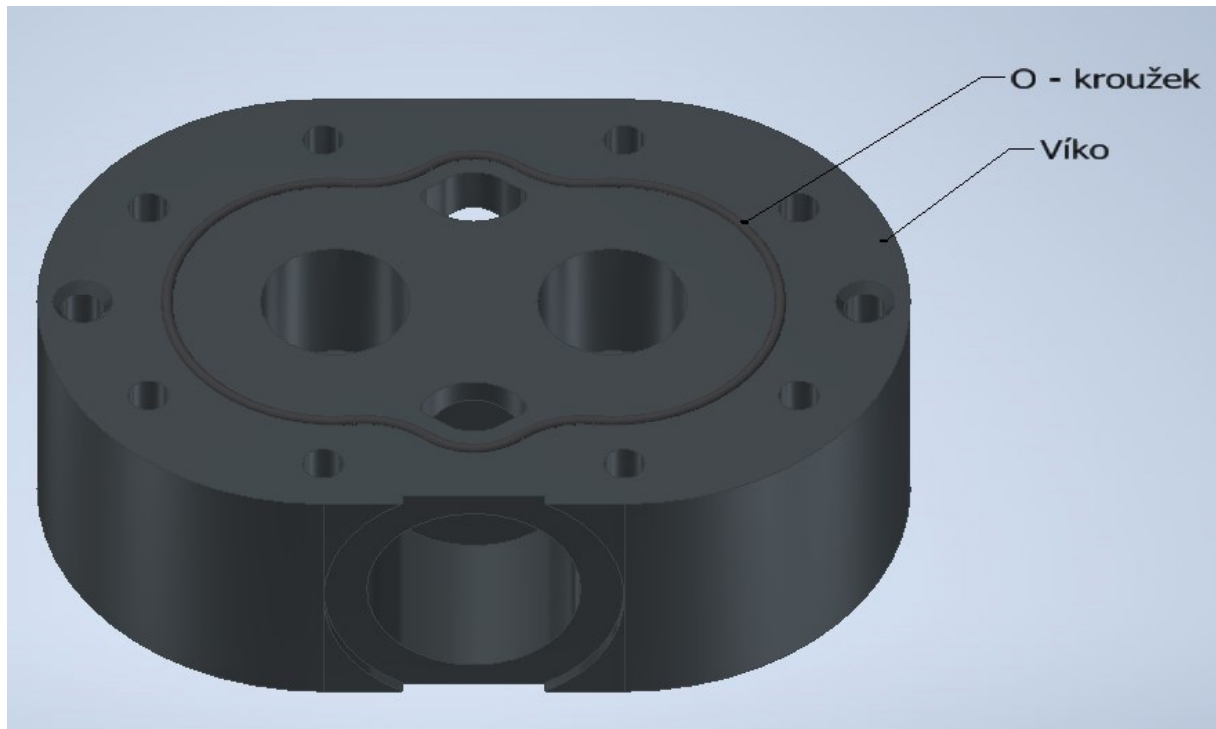
Obr. 29 – Předmontáž příruby



Obr. 27 – Předmontáž mezitělesa



Obr. 28 – Předmontáž tělesa



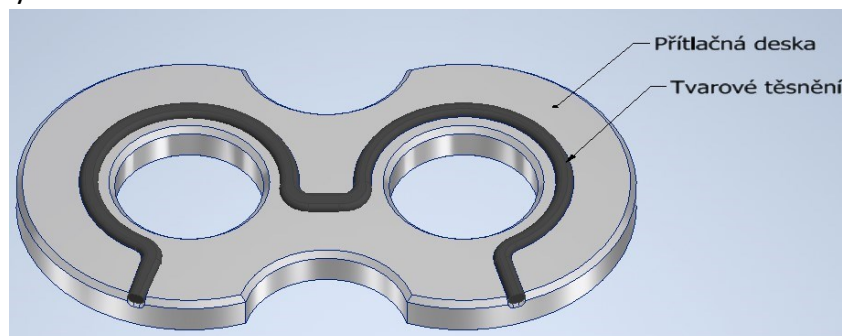
Obr. 30 – Předmontáž víka

6.2.2 Předmontáž přítlačných desek

U přítlačných desek předmontáž spočívá ve vložení tvarových těsnění (viz Obr. 31). Před provedením této operace je nutné desku důkladně očistit a části, do kterých se následně bude vkládat těsnění, naolejovat.

Tyto úkony musí být prováděny člověkem, protože robotizace tohoto procesu by byla extrémně náročná a nevyplatila by se časově, ani finančně. Pokud by měly být tyto operace robotizovány, bylo by nutné vymyslet způsob kontroly dílu a jeho následné naolejování.

Tvarové těsnění by se vkládalo pouze pomocí uchopení a vložení. Ze zkušenosti pracovníků, kteří čerpadla skládají ručně, je zřejmé, že je lepší si těsnění lehce ohnout, aby lépe drželo v drážce. Tento úkon by byl pro robota nemožný. Z těchto důvodů je předmontáž naprosto nezbytná.



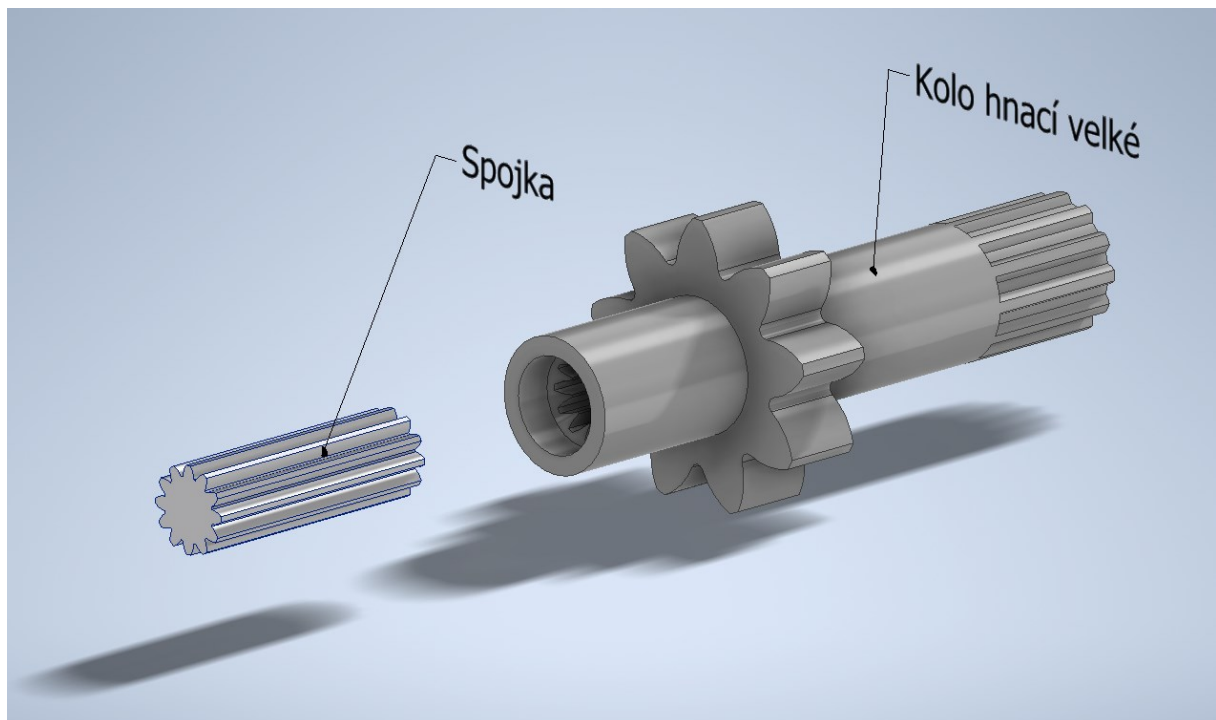
Obr. 31 – Předmontáž přítlačné desky

6.2.3 Předmontáž rotačních částí

Při montáži se čerpadla skládají ve vertikální poloze. Z toho důvodu je v předmontáži spojka vložena pouze do vrchní části hnacího kola a z druhé strany se bude kolo nasazovat roboticky.

Tato část předmontáže by mohla být zrobotizována poměrně jednoduše. Největším problémem by bylo vložení ozubené spojky (viz Obr. 32) do zubové díry hnacího kola. Zde by nastal problém, protože vůle mezi zuby spojky a kola je velice malá. Vzhledem ke zvolenému způsobu řízení robota by tento úkon zabral poměrně velké množství času, a proto je výhodnější vkládat spojku při předmontáži.

Rotační části se také musí kontrolovat. Každé ozubené kolo musí projít kontrolou a pokud je odhalen defekt, musí se kolo opravit, nebo vyhodit mezi zmetky.



Obr. 32 – Ozubená spojka

6.3 Robotizace

Robotizace montážní činnosti je obecně opodstatněna zejména finančními benefity, které z ní plynou. Hlavně šetření kvalifikovanými lidskými zdroji, zrychlení výrobního procesu a plynulost výroby. Zejména tyto atributy vedou k robotizaci pracoviště.

6.3.1 Popis procesu robotizované části montáže

Robotická montáž spočívá ve složení montážních celků, které jsou předpřipraveny z předmontáže, dohromady v celé čerpadlo.

Montáž začíná uchopením příruby (Obr. 29) a jejím vložením do přípravku na stole. Následuje uchopení, přenos a vložení tělesa (Obr. 28), do něhož je poté vsunuta přítlačná deska (Obr. 31) těsněním dolů, hnací kolo se spojku (Obr. 32), která je vložena v předmontáži, hnané kolo a přítlačná deska těsněním nahoru v tomto pořadí. Každý z těchto dílů je na samostatném stanovišti a je uchopován pomocí gripperu. Dále je vloženo mezitěleso (Obr. 27), na něj je opět položeno těleso, do kterého se vkládá přítlačná deska těsněním dolů, hnací kolo, hnané kolo a přítlačná deska těsněním nahoru v tomto pořadí. Nakonec je uchopeno, přeneseno a přiloženo víko (Obr. 30).

Celé čerpadlo je nakonec smontováno pomocí osmi šroubů. Tyto šrouby bude vkládat a utahovat člověk. Proces by bylo možné robotizovat, ale vkládání šroubů a jejich utahování, navíc o takové velikosti je technicky náročné. Realizace tohoto úkonu by vyžadovala další investice do nástrojů a ze strany zadavatele nebyla podporována.

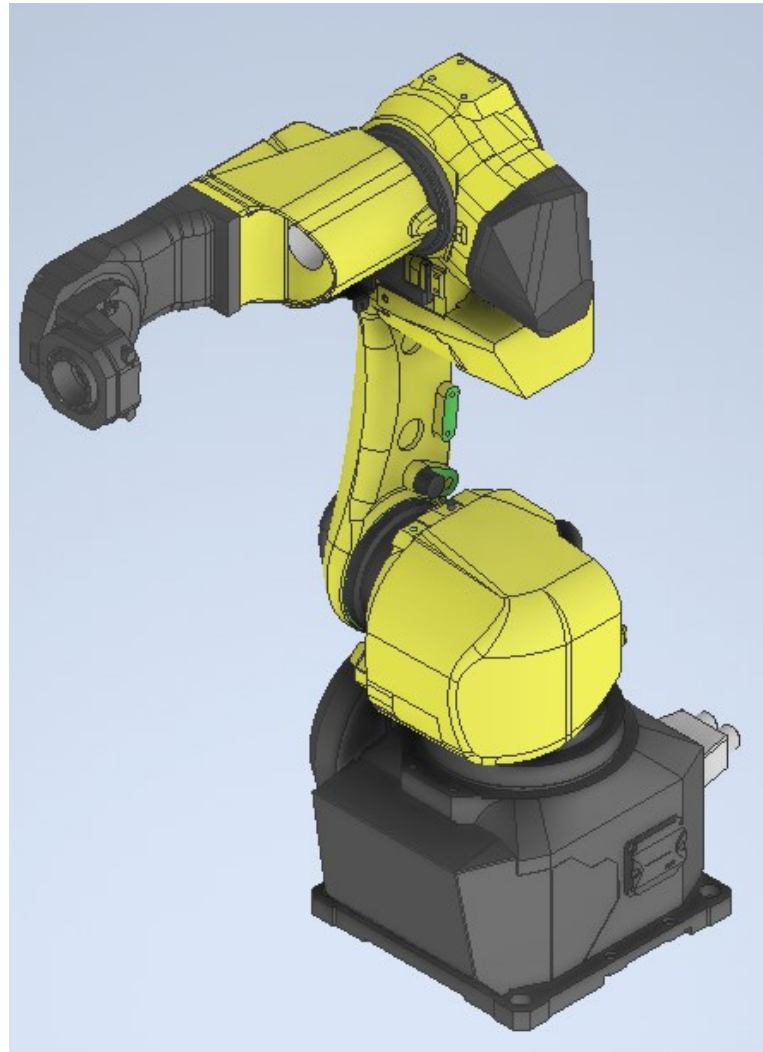
6.3.2 Technické prvky robotizace

Tato podkapitola je věnována strojům a nástrojům využitým při realizaci projektu. Stručně je popíše a odůvodním jejich výběr.

Robotické rameno M-10iD/16S

Toto robotické rameno od společnosti FANUC (viz Obr. 33) má maximálním dosah 1103 mm a maximální zatížením 16 kg. [49]

Rameno bylo v rámci projektu vybráno, protože jeho parametry splňují požadavky nutné k provedení robotické montáže. Já jsem se ve své práci věnoval vývoji gripperu, z toho důvodu beru rameno jako předem dané.



Obr. 33 - Robotické rameno M-10iD/16S

Paralelní chapadlo HPPF-20-80-A-S

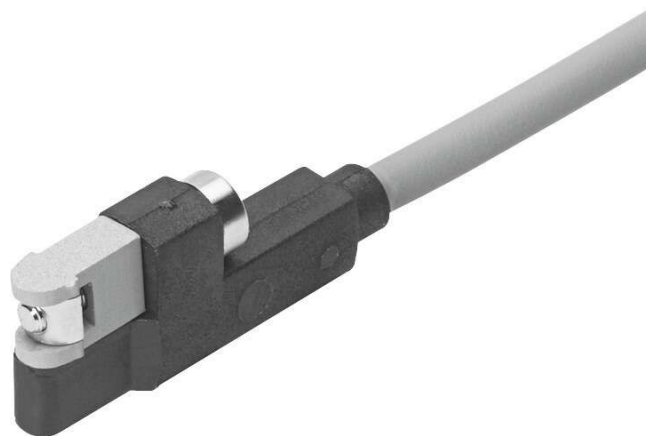
Paralelní chapadlo od společnosti Festo (viz Obr. 35 a Obr. 36) o hmotnosti 993 gramů a maximální síle úchopu 377 N při 6 barech je poháněno pneumaticky. Jeho plochá konstrukce šetří místem a má výhodný poměr uchopovací síly k hmotnosti. Každá z pohyblivých částí chapadla disponuje čtyřmi závitovými dírami, které jsou následně využity pro uchycení prstů.

Výběr tohoto chapadla byl podmíněn zejména velkým rozsahem sil, jimiž je schopno uchopovat. Při manipulaci s díly, je potřeba využívat malých sil, aby nedošlo ke zlomení slabých částí plastových prstů. Zároveň je nutné uchopovat velké litinové díly dostatečnou silou, aby nevyklouzly z prstů.

Chapadlo je také nutné doplnit o polohový detektor, který zaznamenává informace o poloze pístu ve válci, a tudíž i o poloze prstů. Podle doporučení výrobce jsem pro tuto aplikaci zvolil bezdotykový detektor Proximity switch SMT-10 (viz Obr. 34), který funguje na principu

magnetoodporového měření. Je uchycen do drážky na boku chapadla, což zajišťuje odolnost vůči vibracím a mechanickému vytržení při zatažení za kabel. [51]

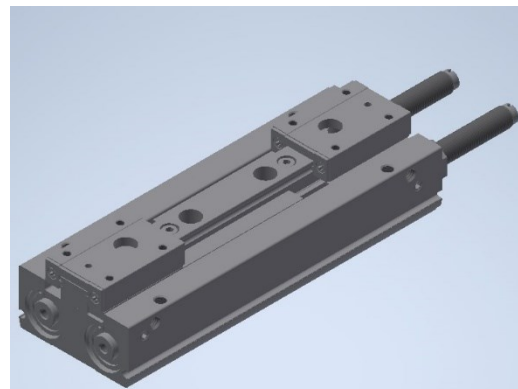
Vedení stlačeného vzduchu z centrálního rozvodu vzduchu do gripperu je uskutečněno pomocí polyuretanových vzduchových hadic Festo o vnějším průměru 8 mm (PEN-8X1,25-BL) (viz Obr. 37). Hadice budou na chapadlo připevněny pomocí ventilů, které volím též podle doporučení výrobce chapadla. Jedná se o jednosměrný škrťací ventil VFOE (viz Obr. 38) pro regulaci rychlosti a násuvnou armaturu tvaru L se šroubením a nástrčnou koncovkou (viz Obr. 39). [50] [52] [53] [54]



Obr. 34 – Polohový detektor Proximity switch SMT-10 [51]



Obr. 35 – Chapadlo HPPF 20-80-A-S reálné [50]



Obr. 36 - Chapadlo HPPF 20-80-A-S CAD model



Obr. 37 - Polyuretanová
vzduchová hadice Festo [52]



Obr. 38 - Jednosměrný
škrťící ventil VFOE [53]

Obr. 39 - Násuvná armatura tvaru L
[54]

Force Sensor FS-40iA

Díky tomuto snímači (viz Obr. 40) dostává robot „hmat“. To znamená, že tento sensor umožňuje snímání sil a momentů působící na prsty gripperu. Díky vyřešení matice tuhosti tento sensor najde střed díry a může vložit díl.

Hlavní výhodou tohoto senzoru je schopnost vložení dílu s velkou přesností, mnohem přesněji, než to dokáže robot sám. Informace o silách získaných pomocí senzoru jsou předány robotickému řízení, které na základě těchto informací reaguje na vnější podněty a upravuje trajektorii gripperu a sílu na něj aplikovanou. U tohoto senzoru také není nutné využívat kamerového systému, což je výhodou. [55]

Další možností bylo využití optických metod, ale ty nebyly pro využití v prostředí dílny vhodné.



Obr. 40 – Force Sensor FS-41iA [56]

Stůl s přípravky

Stůl, na kterém bude skládáno čerpadlo a následně z něj bude odebráno pro dokončovací montážní práce a pro kontrolu funkčnosti.

Stůl musí obsahovat přípravky na uchycení příruby, na kterou se bude následně skládat zbytek čerpadla. Obsahem práce nebylo vytvoření stolu, na kterém se bude čerpadlo skládat. Z toho důvodu beru tento stůl pouze jako pracovní plochu a dále se nezabývám jeho zdokonalením.

6.3.3 Výhody a nevýhody robotizace

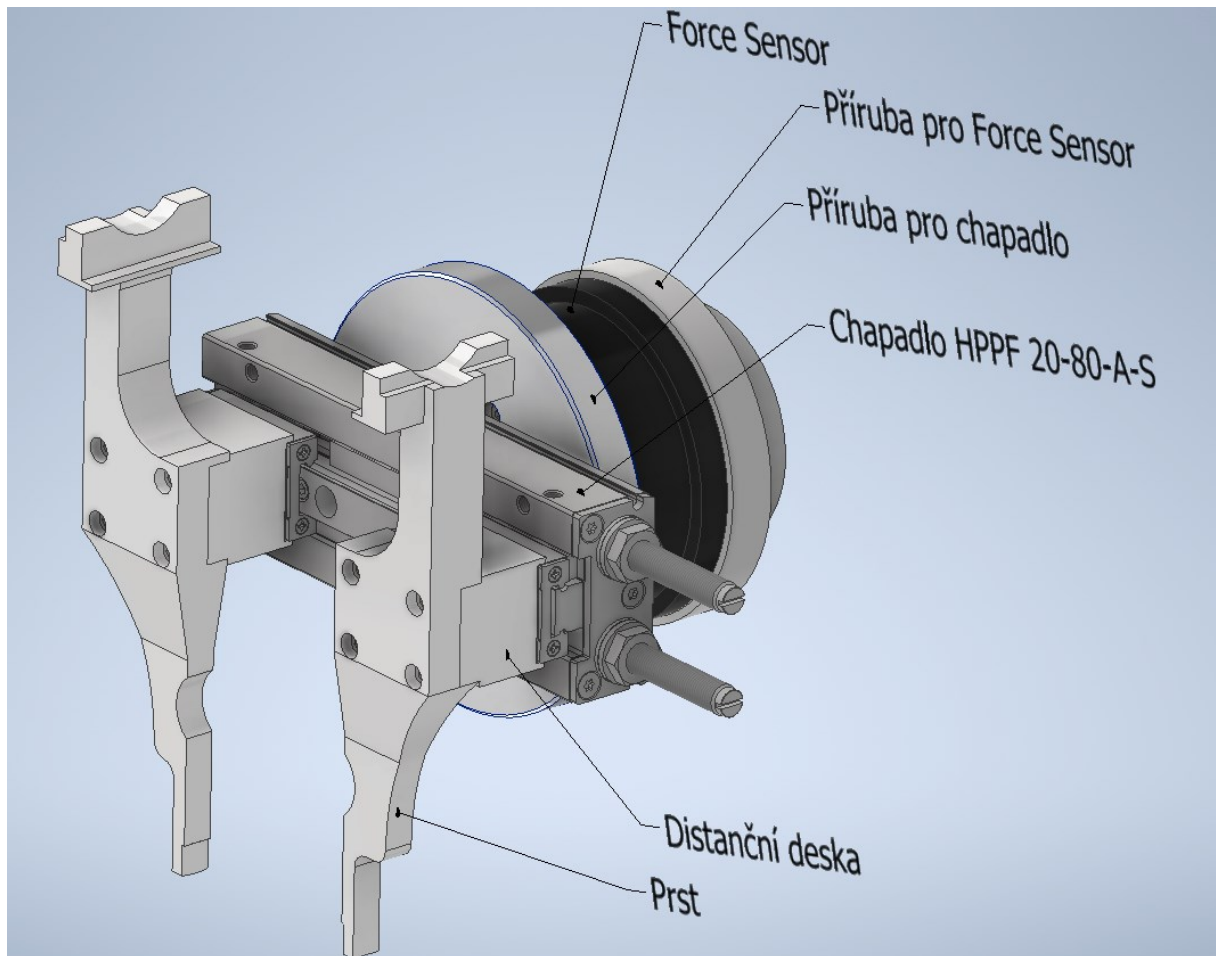
Téma výhod a nevýhod robotizace je již zpracováno v kapitole 4.3, proto se nyní budu věnovat konkrétně výhodám a nevýhodám robotizace projektu, na kterém jsem pracoval.

Výhody, které přináší robotizace montážního procesu, jsou stejné, jako jsem popisoval na začátku kapitoly 6.3. Tedy šetření lidskými zdroji, zrychlení procesu montáže a zlepšení její plynulosti. Navíc s využitím dalších prvků automatizace šetří zdraví lidí, kteří nemusejí nosit těžká čerpadla. V neposlední řadě je to velice dobrá investice do reklamy, protože to potenciálním zákazníkům ukáže vyspělost a modernost firmy.

Nevýhodou je na druhou stranu nižší flexibilita. Pomocí jednoho gripperu není možné skládat všechna čerpadla, která firma nabízí. Musí se tudíž dobře naplánovat produkce a to tak, aby se dělaly větší série stejných druhů čerpadel, nebo alespoň série čerpadel o podobné velikosti.

7. KONSTRUKČNÍ PROVEDENÍ GRIPPERU

Celý gripper obsahuje Force Sensor, přírubu pro přišroubování samotného gripperu k robotickému ramenu, chapadlo HPPF-20-80-A-S, na kterém jsou přišroubovány distanční desky s prsty a přírubu pro spojení Force Sensoru a chapadla (viz Obr. 41). V této kapitole se budu věnovat prstům, spojením všech dílů dohromady a připevněním celého gripperu na robotické rameno.



Obr. 41 – Gripper

7.1 Návrh prstů

Při navrhování jsem se nejprve věnoval uchopování litinových dílů, následně jsem designoval způsob uchopení rotačních součástí a jako poslední jsem navrhl způsob manipulace s přítlačnými deskami.

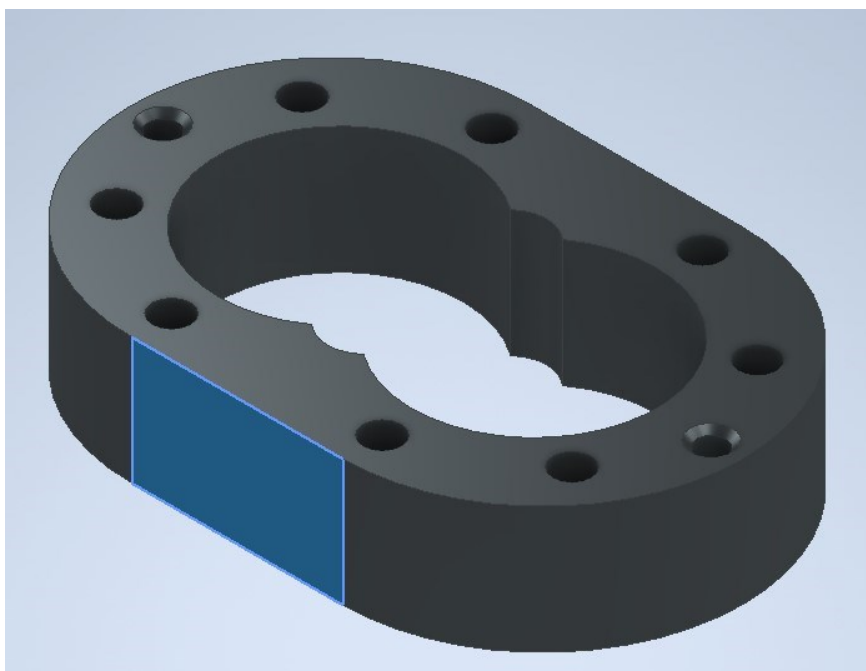
7.1.1 Předpoklady pro návrh prstů gripperu

Při návrhu prstů gripperu jsem vycházel z tvarů jednotlivých montážních jednotek. Na základě společných rozměrů a tvarových specifikací jsem navrhl způsob, jak tyto jednotky uchopovat.

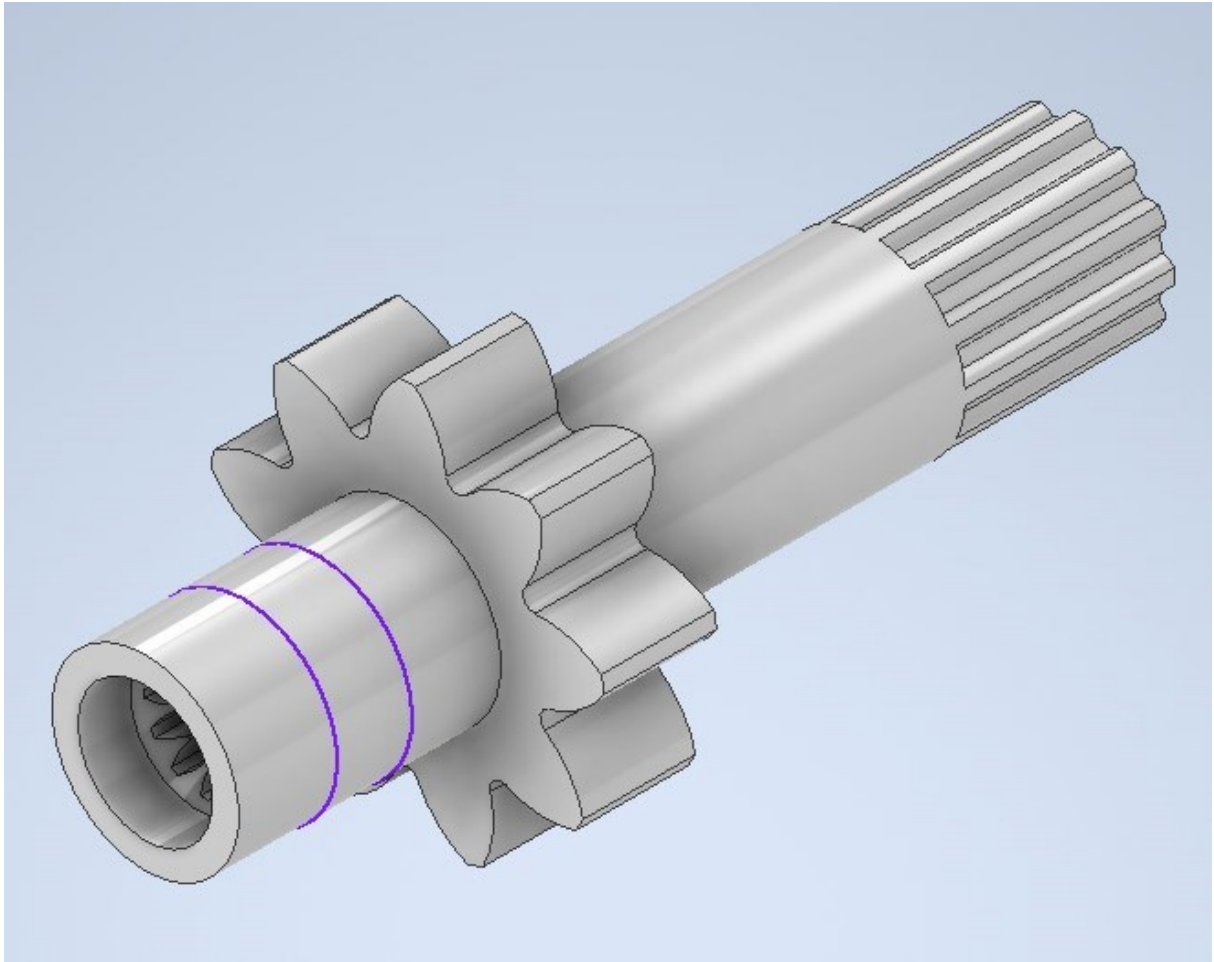
Uchopování všech litinových dílů (viz obr z 6.1.1) probíhá za rozměr, který mají stejný. Tedy za rovnou část oválu (viz Obr. 42). Zachycení dílu bude tedy probíhat pomocí rovného povrchu na prstu určenému k uchopování litinových dílů. Díl bude uchopen za svou horní část a následně bude zakomponován do montovaného výrobku.

Manipulace s rotačními díly (viz obr z 6.1.1) bude probíhat pomocí uchopení za kruhový průměr zhruba jeden centimetr nad ozubeným kolem (viz Obr. 44). Tyto kola budou uložena v bednách s přípravky tak, aby stála ve svislé poloze. Budou se tedy opět uchopovat za horní část a následně vkládat do čerpadla.

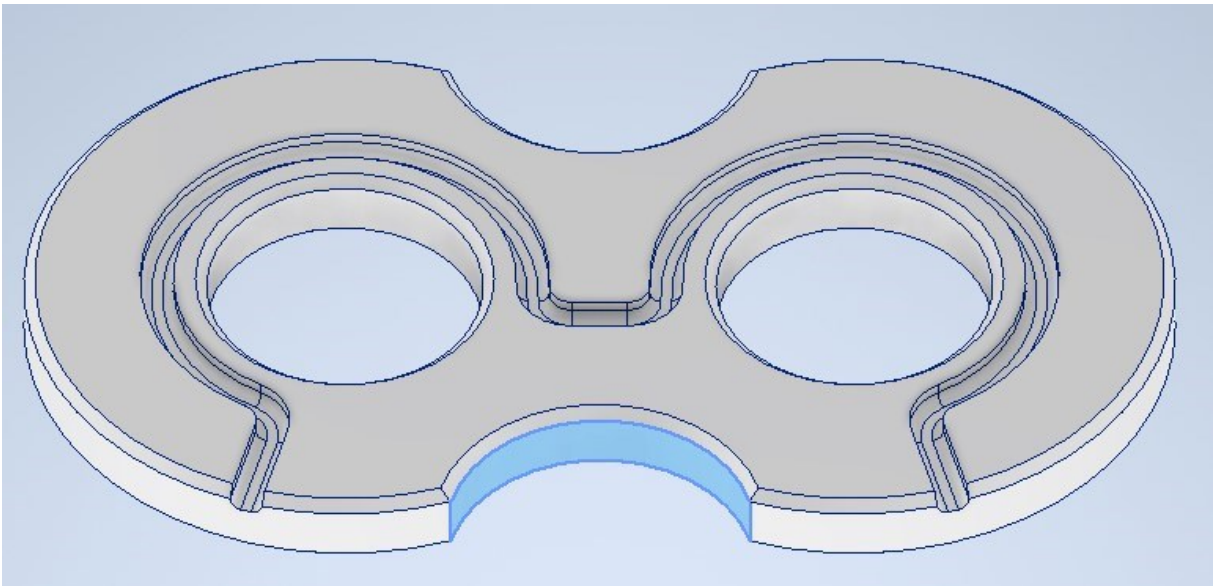
Nejsložitější částí je vložení přítlačných desek. Tyto desky jsou všechny stejné, ale polovina se využívá těsněním směrem dolů a druhá těsněním směrem nahoru. Z tohoto důvodu musí být rozdělen přísun těchto dílů do dvou různých míst. A to tak, aby robot uchopil díl tak, jak ho bude vkládat do čerpadla. Otáčení dílu by bylo zbytečně složité a nevyplatilo by se časově. Uchopení desky bude probíhat za půlkruhové výřezy na vnější straně (viz Obr. 43). Při vkládání dochází ke vsunování dílu do tělesa. Tato operace bude vyžadovat zúžení konců prstů, aby se vešly do mezery mezi deskou a tělesem viz Obr. 45



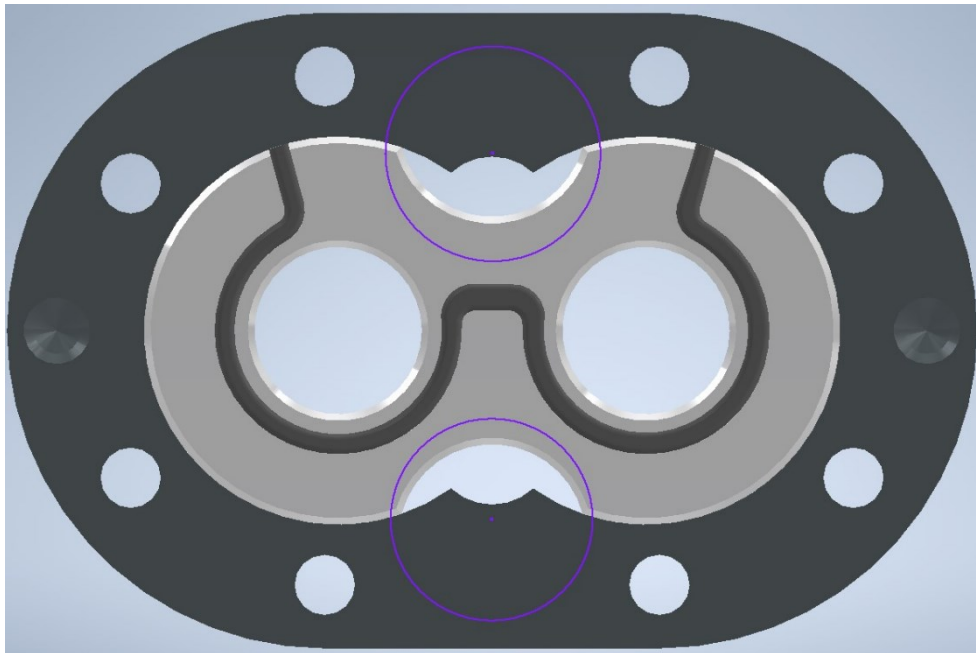
Obr. 42 – Rovina použitá k uchopování litinových součástí (symetricky i na druhé straně dílů)



Obr. 44 – Místo uchopení rotačních dílů (mezi fialovými čarami)



Obr. 43 – Místo pro uchopení přítlačné desky (symetricky i na druhé straně dílu)

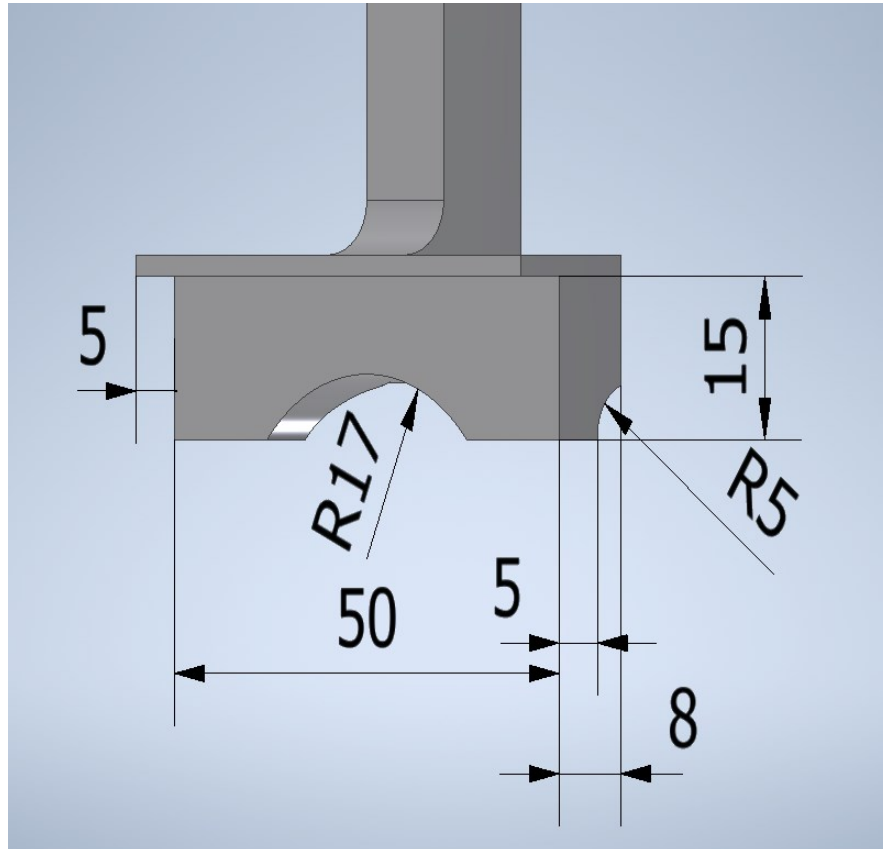


Obr. 45 – Mezery mezi deskou a tělesem (označeny fialovými kruhy)

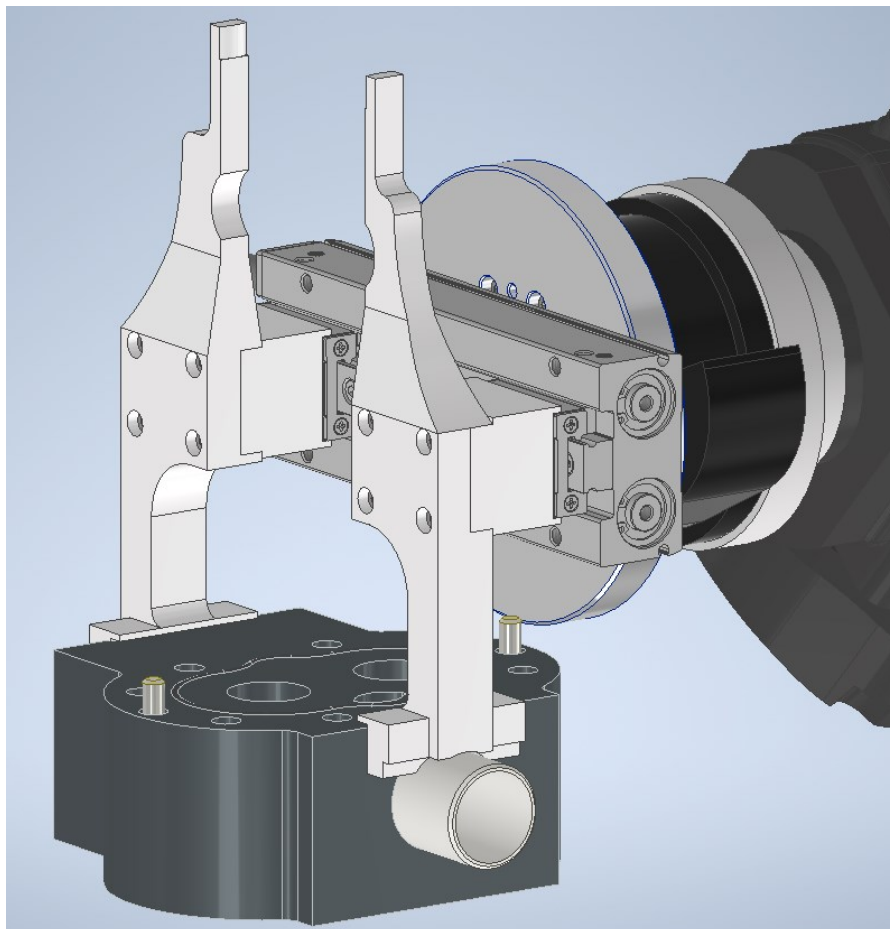
7.1.2 Uchopování litinových částí

Tato část vychází z toho, že uchopování probíhá za rovinnou část litinových dílů (viz Obr. 46). Z toho důvodu jsem volil šířku uchopovací části stejnou, jako má rovinná část dílu. Následně jsem kvůli zvětšení dotykové plochy protáhl tuto část ve vertikálním směru (pozice při manipulaci s dílem) viz Obr. 47.

Mezitěleso má nalisovaný nátrubek, z toho důvodu jsem částečně vyřízl rovinnou část tak, aby kopírovala rozměr tohoto nátrubku (viz Obr. 47). Díky tomuto je styková plocha dostatečně velká a není ohrožen nátrubek, který by mohl být poničen mechanickou silou.



Obr. 47 – Část prstu uchopující litinové díly

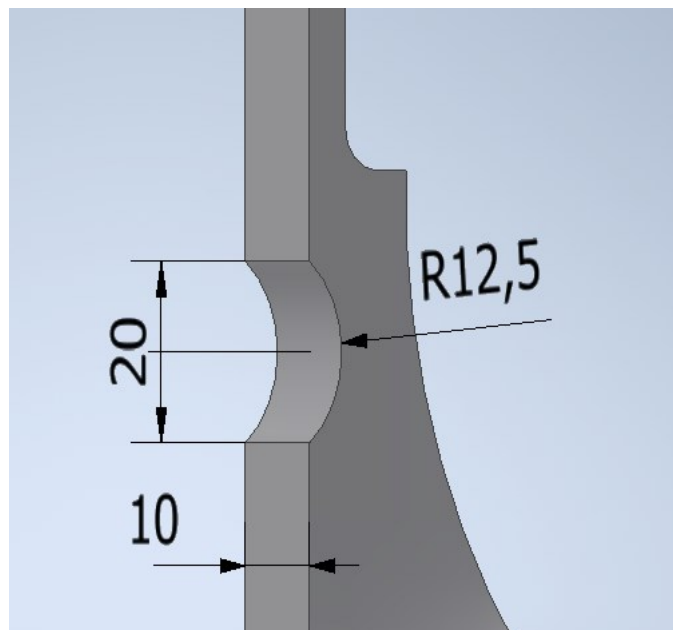


Obr. 46 – Uchopení litinového dílu

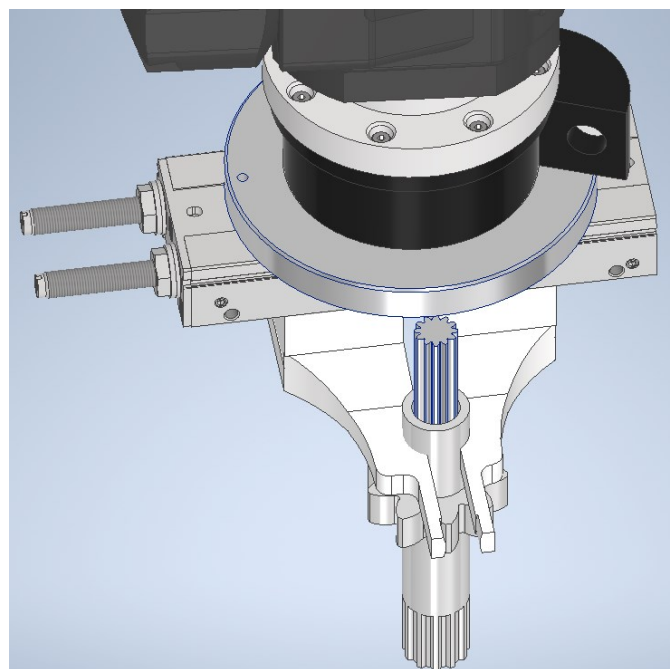
7.1.3 Uchopování rotačních částí

Při manipulaci se uchopují rotační díly za kruhový průměr, zhruba jeden centimetr nad ozubeným kolem. Vzhledem k tomu, že je uchopován prakticky válec, volím kontakt pomocí necelých půlkruhů. Ty budou průměrem odpovídat válcové části a při sevření ji budou objímat téměř po celém obvodu.

Tento druh úchopu zajistí dostatečně velkou kontaktní plochu a zajistí, že osa rotační části bude kolmá k rovině gripperu (viz Obr. 49 a Obr. 48). To usnadní manipulaci a nastavování programu robota.



Obr. 49 – Část prstu uchopující rotační díly



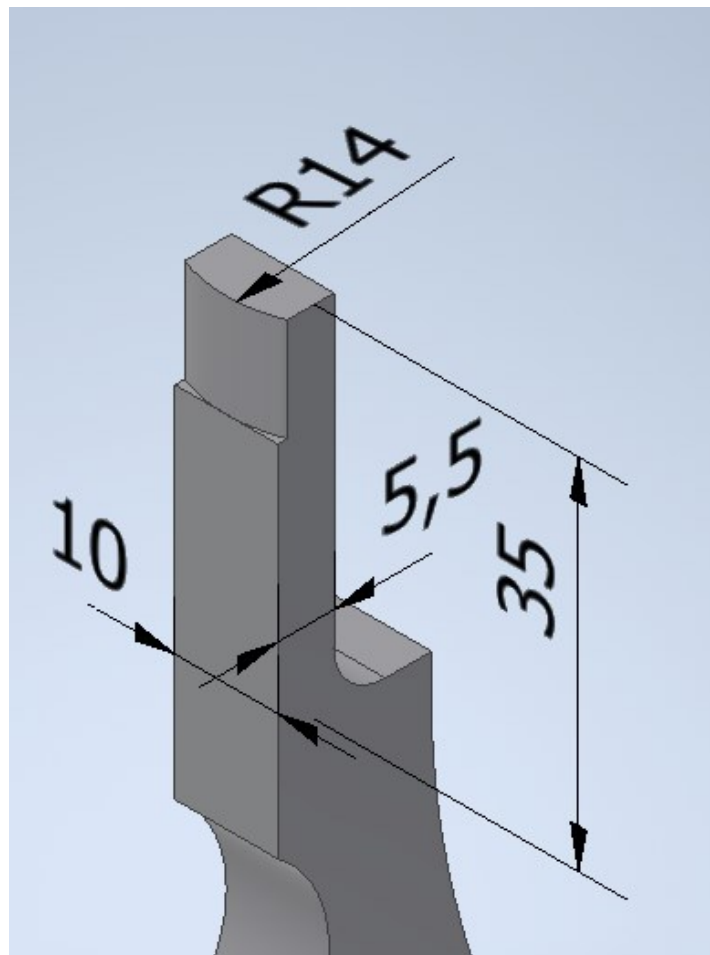
Obr. 48 – Uchopení rotačního dílu

7.1.4 Uchopování přítlačných desek

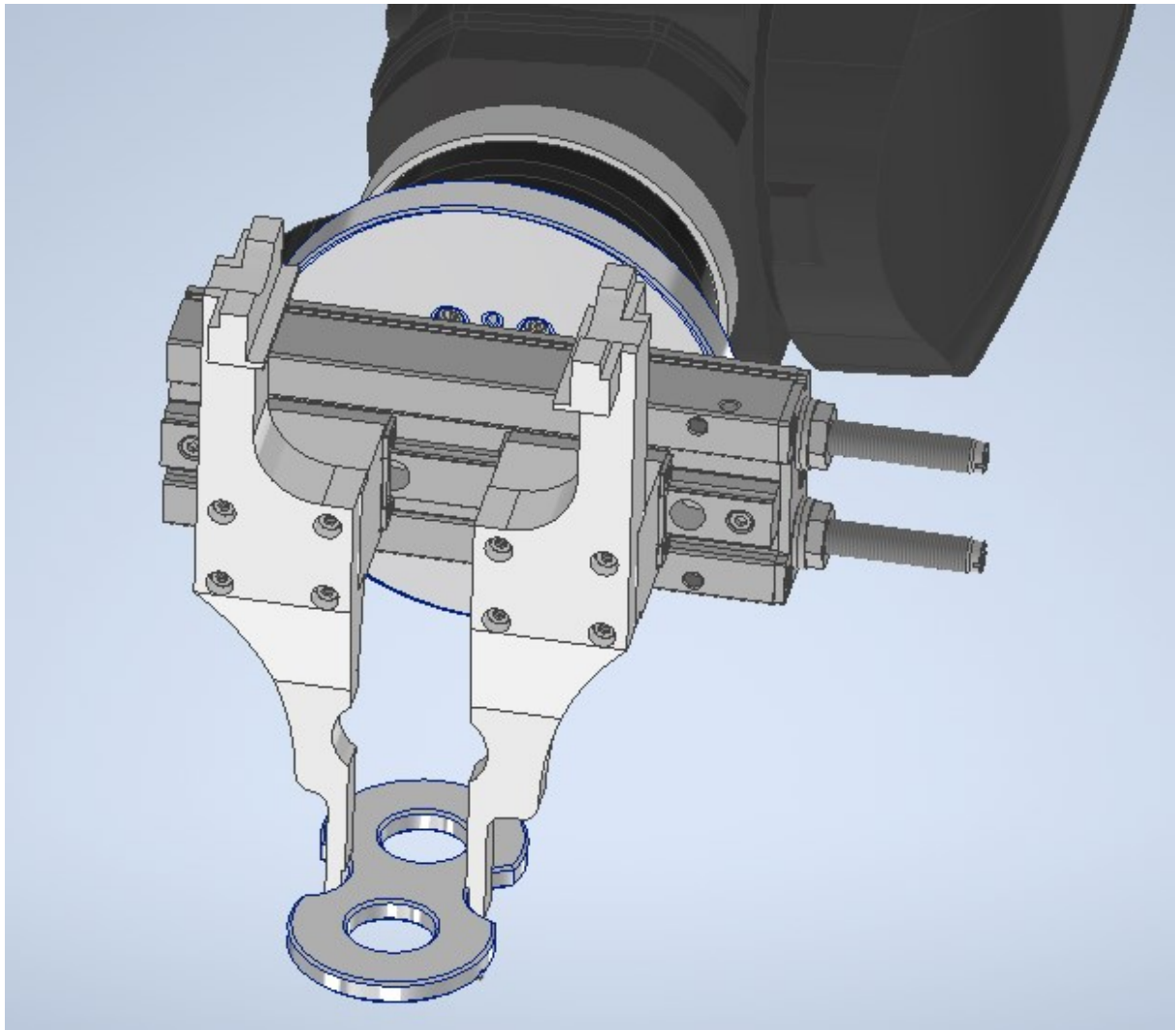
Přítlačné desky budou uchopovány v nejužším místě (viz Obr. 43). Navíc je nutné desku, která je uchopena, vložit do tělesa. Tento pracovní úkon vyžaduje vsunutí uchopené desky do otvoru oválného tvaru.

Aby bylo možné tento úkon provést, prst musí být tak úzký, aby se vešel do štěrbin, která vznikne mezi nejužší částí přítlačné desky a vnitřní stěnou tělesa (viz Obr. 45). Musí být také dostatečně dlouhý, aby bylo možné vložení desky až na doraz k přírubě, či mezitělesu.

Část prstu, která bude v kontaktu s přítlačnou deskou, musí být navržena tak, aby při kontaktu kopírovala povrch desky. To zvětší kontaktní plochu a umožní pevnější uchopení viz Obr. 50 a Obr. 51.



Obr. 50 – Část prstu uchopující přítlačné desky



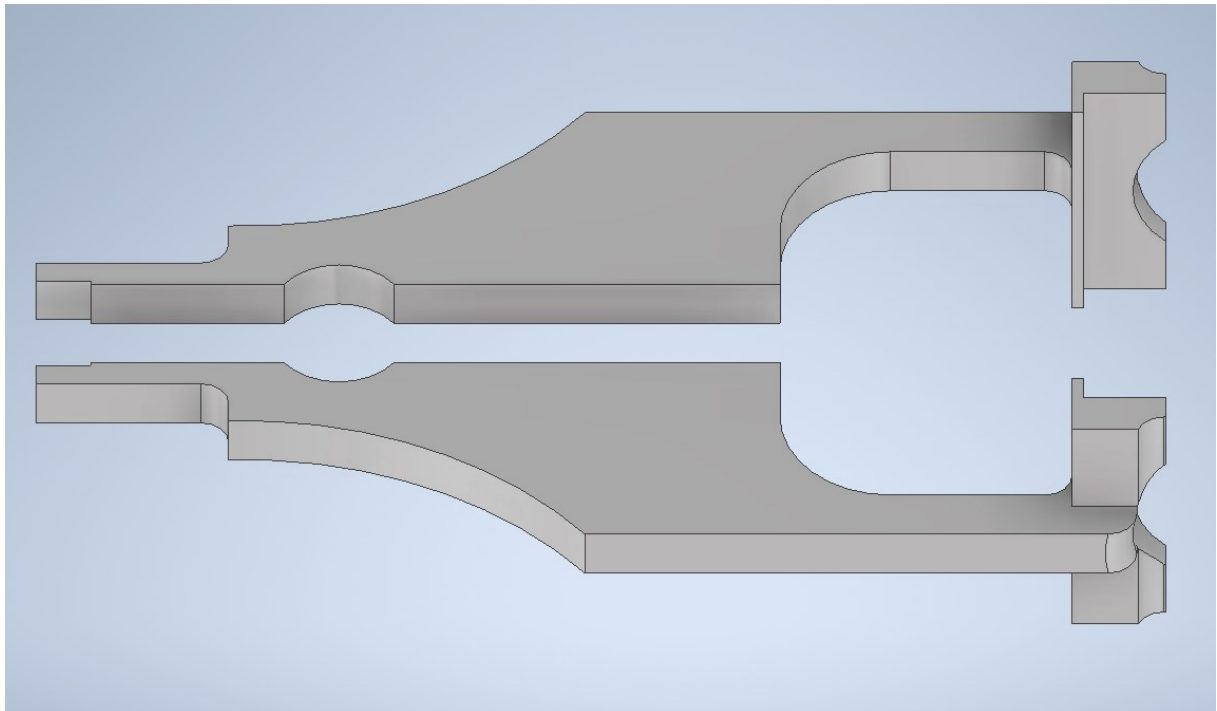
Obr. 51 – Uchopení přítlačné desky

7.1.5 Kombinace způsobů uchopení do jednoho prstu

Aby se robotická montáž vyplatila, je nutné uchopovat všechny díly bez výměny prstů. Z toho důvodu jsou navržené způsoby uchopení zkombinovány do jednoho prstu.

Rozložení jednotlivých částí pro uchopování dílů bude odpovídat Obr. 52. Díky tomuto je možné efektivně uchopovat všechny druhy dílů.

Vzhled prstu, který odpovídá tomuto návrhu, je již finálním vzhledem. Nyní budu měnit pouze rozměry nosných částí prstu.



Obr. 52 - Rozložení částí pro úchop jednotlivých dílů na prstu

7.2 Materiál pro výrobu prstu

Na volbě materiálu částečně závisí konstrukce prstu. Pokud je zvolen materiál s nízkou tuhostí, je nutné zesílit nosné prvky. Dalším atributem je hmotnost prstů. Čím lehčí budou prsty, tím méně celkové nosnosti bude zabírat samotná konstrukce gripperu.

Při výběru materiálu jsem vycházel z materiálových požadavků uvedených v předchozím odstavci a z požadavku firmy, kterým bylo tisknout prsty na 3D tiskárně. Na základě těchto okolností jsem provedl rozhodovací analýzu mezi třemi kovovými a dvěma plastovými materiály, ze kterých jsem vybral jeden od každého druhu.

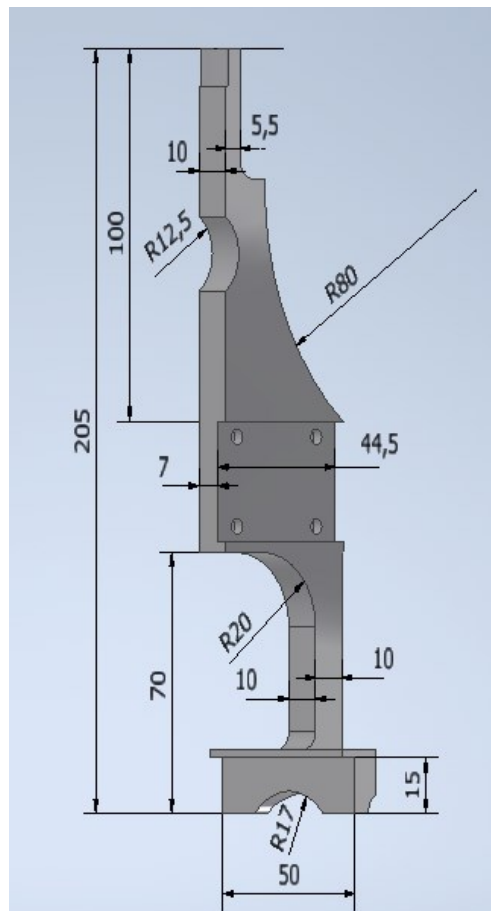
Nejprve jsem se zabíral kovovými materiály. Při prvotním návrhu jsem vytvořil prsty z nelegované konstrukční oceli s mezí pevnosti v tahu 450 MPa. Tento návrh by vyhovoval požadovanou pevností i snadnou obrobiteľností, ale hmotnost prstů by v součtu vycházela 0,62 kg. To je velká zátěž, která by ubírala z použitelné nosnosti robota. Z toho důvodu jsem se rozhodl vytvořit návrh z kovu s nižší hustotou, tedy z hliníku. A to konkrétně z téměř čistého hliníku s mezí pevnosti v tahu 75 MPa. Prsty z čistého hliníku vážily třetinu váhy prstů ocelových, tedy 0,2 kg. Pevnost v tahu a obrobiteľnost nedosahovala požadavků, které byly vzneseny. Proto jsem se rozhodl pro slitinu hliníku, mědi a hořčíku, neboli lidově dural. Mez pevnosti v tahu této slitiny dosahuje 400 MPa, jedná se o dobře obrobiteľný materiál a

hmotnost prstů zůstane téměř stejná jako v případě hliníku. Z těchto důvodů jsem se rozhodl pro volbu hliníkové slitiny.

Při výběru plastových materiálů jsem byl omezen na materiály využívané při 3D tisku, protože jak jsem již zmínil, požadavek firmy je tisk prstů na 3D tiskárně. Rozhodovací proces probíhal mezi materiálem ABS a PET-G. Oba tyto materiály jsou si svými vlastnostmi velice podobné a na trhu snadno dostupné. Ve prospěch materiálu ABS rozhodl fakt, že materiál je již ve firmě používán a je s ním ve firmě zkušenost. Z těchto důvodů jsem se rozhodl pro materiál ABS.

7.2.1 Prsty z hliníkové slitiny

Prsty z tohoto materiálu mohou volit podstatně tenčí. To znamená nízkou váhu prstů, tudíž vyšší užitečnou nosnost robotického ramene. Při výrobě se počítá s frézováním prstů z jednoho celistvého kusu. Díky tomu nevzniknou svary, které by mohly ohrožovat pevnost součásti při zatížení. Rozměry tohoto prstu jsou popsány na Obr. 53.



Obr. 53 – Rozměry prstu ze slitiny hliníku

Pevnostní kontrola

Pevnostní kontrolu jsem prováděl pomocí pevnostní analýzy v systémovém prostředí softwaru Inventor 2023. Na začátek jsem zvolil uchopovací síly, které budou použity při práci robotu jednotlivými efektory podle rovnice (1).

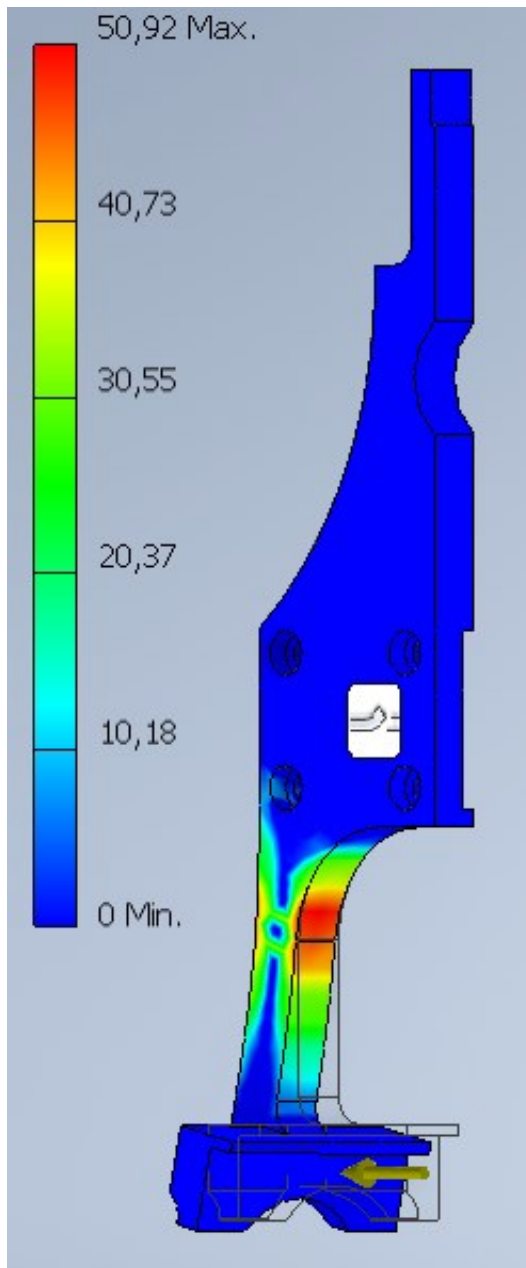
$$F = \frac{m \cdot (g+a)}{f} \cdot k \quad (1) [57]$$

Kde F je uchopovací síla, m je hmotnost dílu, g je gravitační zrychlení, a je zrychlení se kterým se pohybuje robotické rameno, f je součinitel tření mezi materiály a k je bezpečnost.

Pomocí tohoto vzorce jsem vypočítal zatížení jednotlivých částí prstů zvětšenou o hodnotu bezpečnosti. Velikost bezpečnosti musí být volena při uchopování každá částí jiná, protože vzorec (1) nebere v potaz velikost stykové plochy. Část uchopující přítlačné desky má malou stykovou plochu, tudíž volím bezpečnost 10 a tato část je zatěžována silou 21 N. Část prstu uchopující rotační díly disponuje větší plochou kontaktu prstu s tělesem, z toho důvodu volím bezpečnost 6. Síla, kterou je tato část zatěžována je po zaokrouhlení 100 N. Část pro uchopování litinových dílů je navržena tak, aby se maximalizovala kontaktní plocha mezi prsty a díly. Proto je možné brát v potaz hodnotu bezpečnosti 2, část prstu uchopující litinové díly bude tedy zatěžována maximální silou 180 N.

Těmito silami jsem následně zatížil prsty a vyhodnotil kritické hodnoty napětí viz Obr. 54, Obr. 56 a Obr. 58 a posuvů viz Obr. 55, Obr. 57 a Obr. 59, kterým jsem se věnoval.

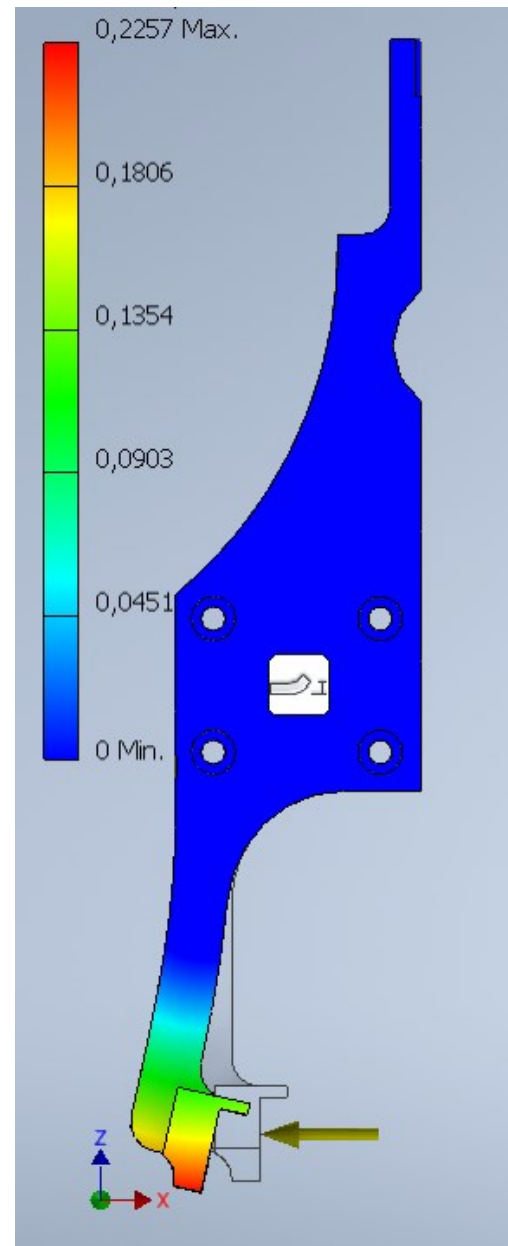
Maximální napětí v prstu vychází při uchopování litinových dílů, a to 51 MPa (viz Obr. 54), což je daleko od meze pevnosti materiálu. Posuv vychází největší také při uchopování litinových dílů, a to 0,23 mm (viz Obr. 55). Tyto hodnoty posuvu by mohly činit problémy při využití daných dílů v praxi.



Obr. 54 – Průběh napětí v části prstu uchopující litinové díly vyvolaný silou 180 N působící ve směru šipky

(Hodnota napětí udána v MPa)

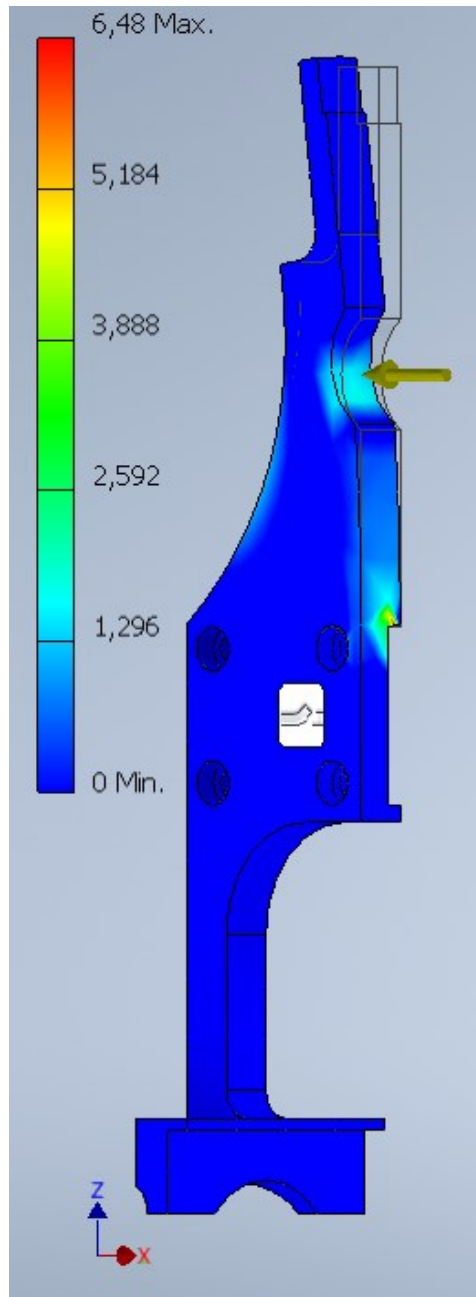
Materiál: slitina hliníku



Obr. 55 – Posuv části prstu uchopující litinové díly vyvolaný silou 180 N působící ve směru šipky

(Hodnota průhybu udána v mm)

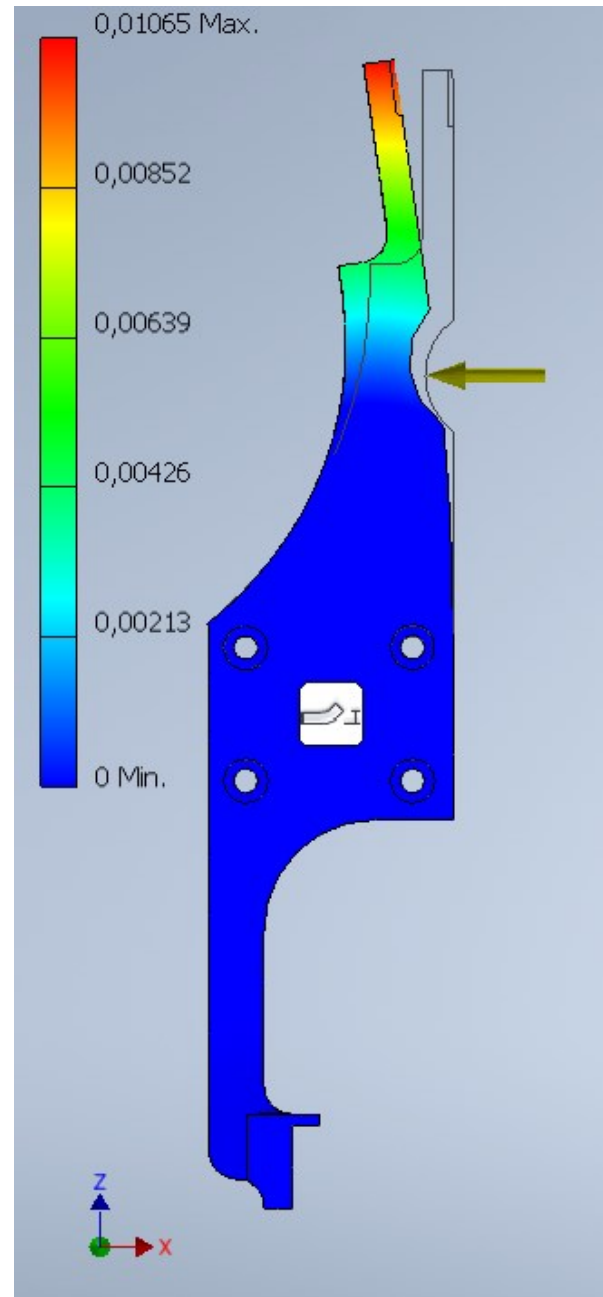
Materiál: slitina hliníku



Obr. 56 - Průběh napětí v části prstu uchopující rotační díly vyvolaný silou 100 N působící ve směru šipky

(Hodnota napětí udána v MPa)

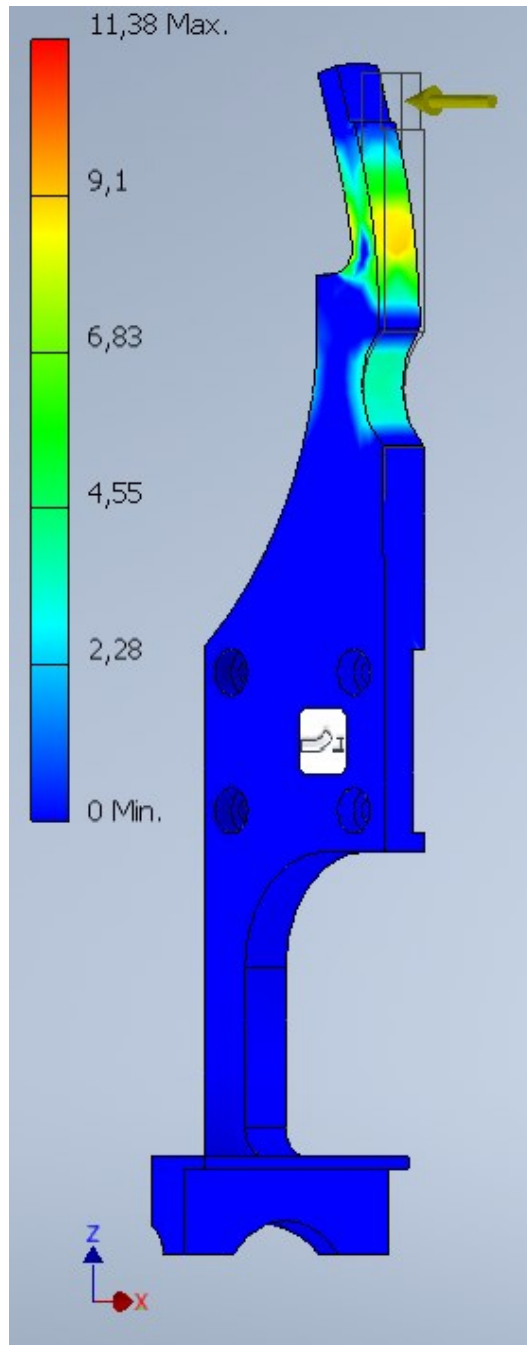
Materiál: slitina hliníku



Obr. 57 – Posuv části prstu uchopující rotační díly vyvolaný silou 100 N působící ve směru šipky

(Hodnota průhybu udána v mm)

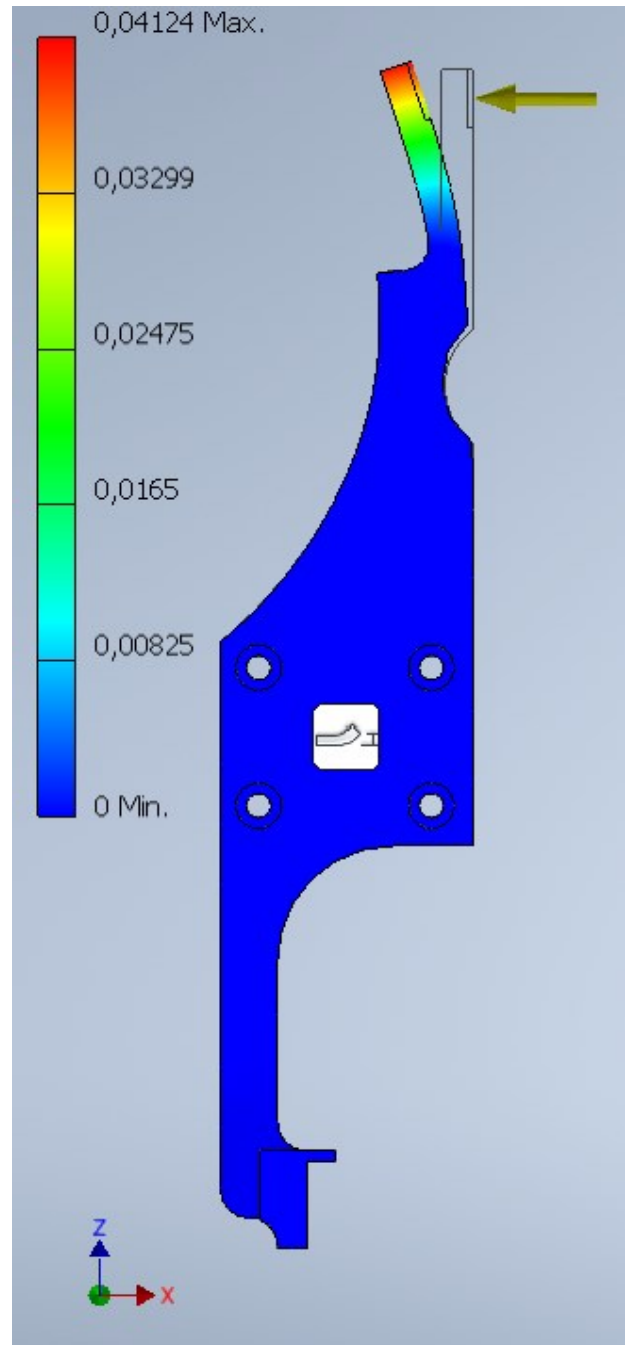
Materiál: slitina hliníku



Obr. 58 - Průběh napětí v části prstu uchopující přítlačné desky vyvolaný silou 21 N působící ve směru šipky

(Hodnota napětí udána v MPa)

Materiál: slitina hliníku



Obr. 59 – Posuv části prstu uchopující přítlačné desky vyvolaný silou 21 N působící ve směru šipky

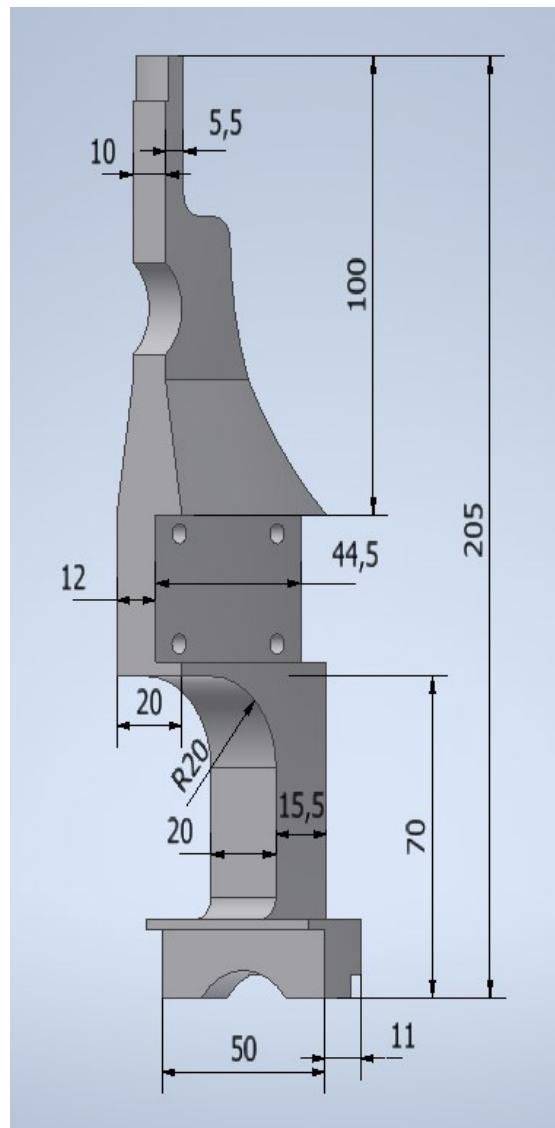
(Hodnota průhybu udána v mm)

Materiál: slitina hliníku

7.2.2 3D tištěné prsty

Při výrobě těchto prstů jsem musel volit podstatně mohutnější strukturu. Zejména proto, aby síla působící na těleso nezpůsobila prasknutí prstu. Samotná výroba probíhá na 3D tiskárně. To ulehčí výrobu, protože není nutná příprava programu CNC stroje a nemusí se shánět polotovary pro výrobu.

Rozměry prstu jsou upraveny oproti 7.2.1 na rozměry viz Obr. 60. Části prstů, které jsou v kontaktu s díly čerpadla jsou v téměř nezměněné podobě stejné, jako u prstů ze slitiny hliníku.



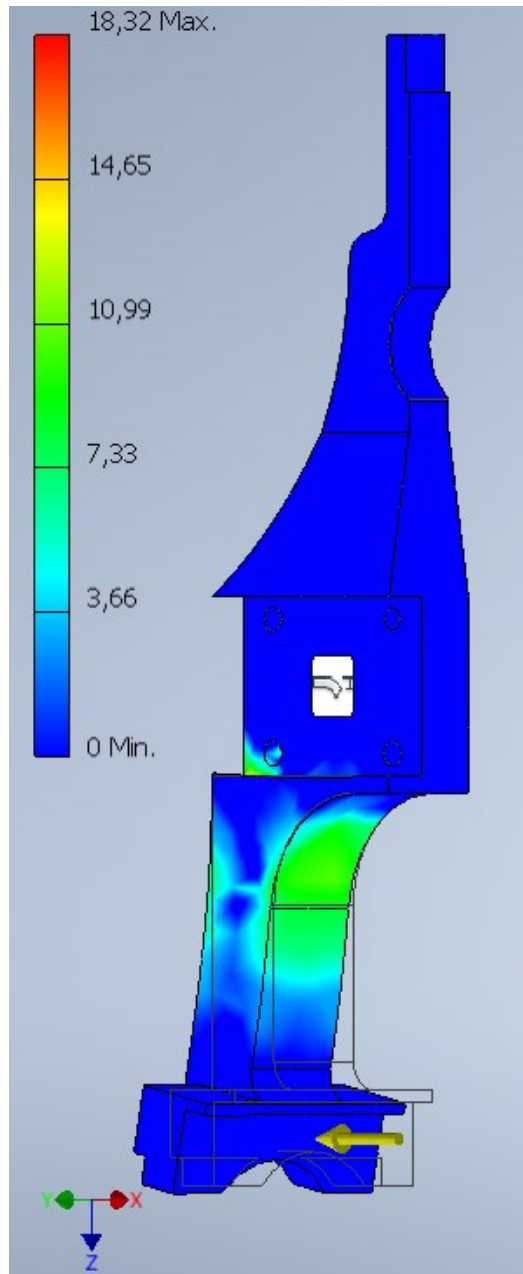
Obr. 60 – Rozměry 3D tištěného prstu

Pevnostní kontrola

Na začátku jsem stejně jako v pevnostní kontrole 7.2.1 určil kritické hodnoty napětí (viz Obr. 61, Obr. 63 a Obr. 65) a posuvů (viz Obr. 62, Obr. 64 a Obr. 66). U těchto kritických míst jsem se nadále zastavil a řešil jejich stav při zatížení.

Velikosti sil působících na jednotlivé části prstů jsou stejné, jako síly působící na prsty ze slitiny hliníku vypočítané při pevnostní kontrole v kapitole 7.2.1.

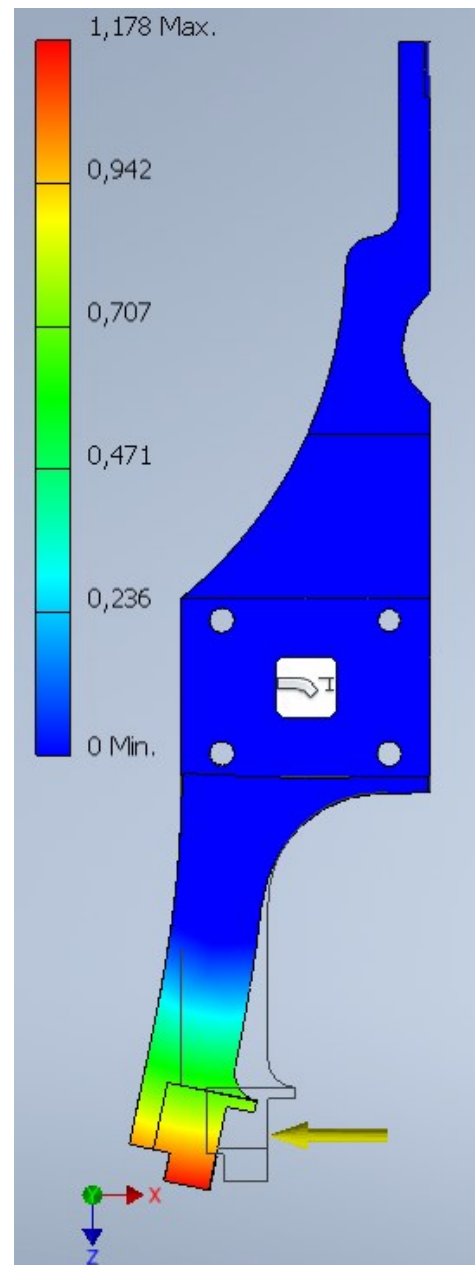
Maximální napětí v prstu vychází při uchopování litinových dílů, a to 18,3 MPa (viz Obr. 61), což je daleko od meze pevnosti materiálu. Největší posuv vychází při uchopování přítlačných desek, a to 1,24 mm (viz Obr. 66). Hodnoty posuvu se pohybují v podobných hodnotách i při uchopování litinových dílů (viz Obr. 62). Tyto hodnoty posuvů budou nejspíše činit problémy při uchopování dílů v praxi. Podle výsledků praktických zkoušek se zjistí, zda bude nutné změnit stavbu prstů tak, aby se omezil deformační účinek sil.



Obr. 61 – Průběh napětí v části prstu uchopující litinové díly vyvolaný silou 180 N působící ve směru šipky

(Hodnota napětí udána v MPa)

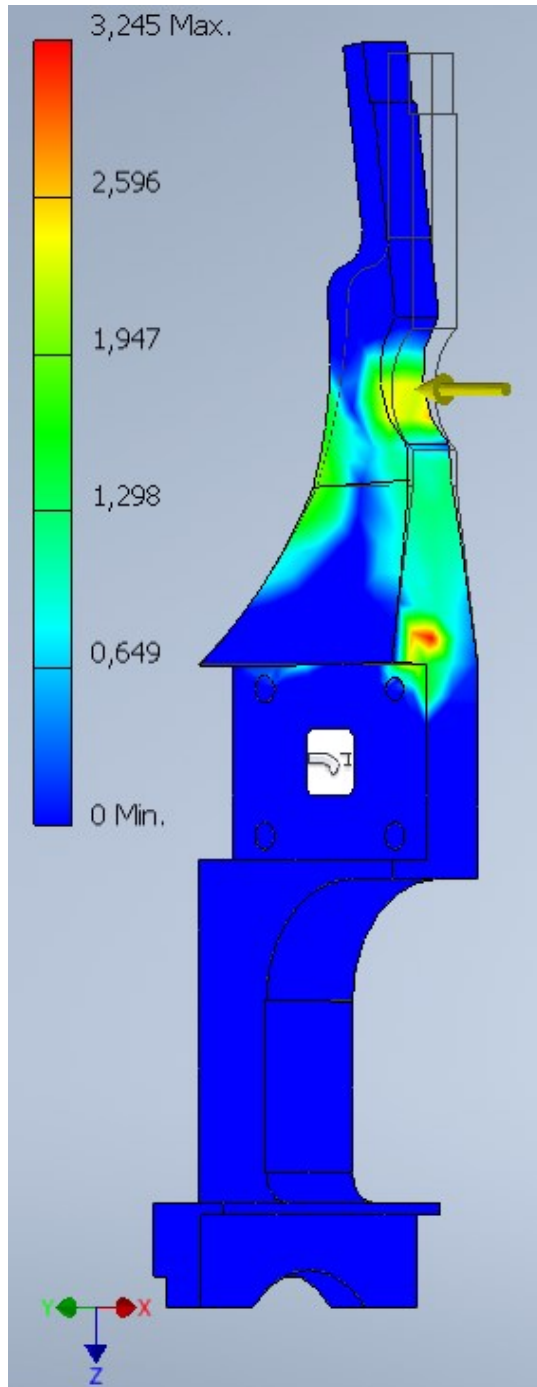
Materiál: ABS



Obr. 62 – Posuv části prstu uchopující litinové díly vyvolaný silou 180 N působící ve směru šipky

(Hodnota průhybu udána v mm)

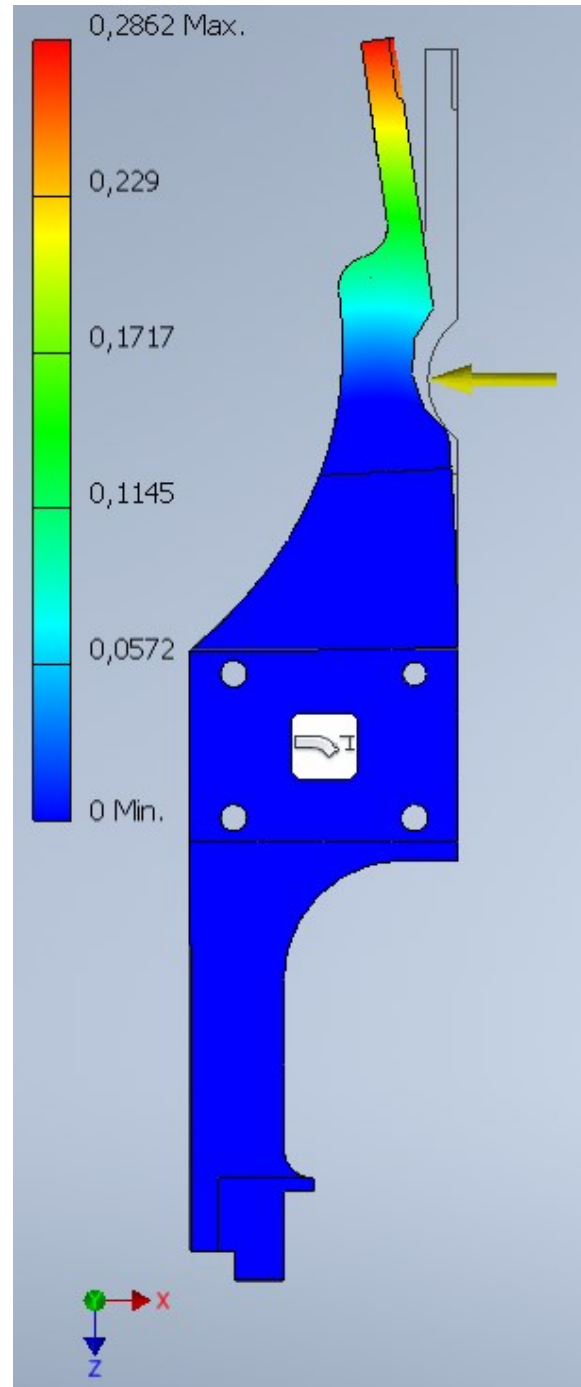
Materiál: ABS



Obr. 63 - Průběh napětí v části prstu uchopující rotační díly vyvolaný silou 100 N působící ve směru šipky

(Hodnota napětí udána v MPa)

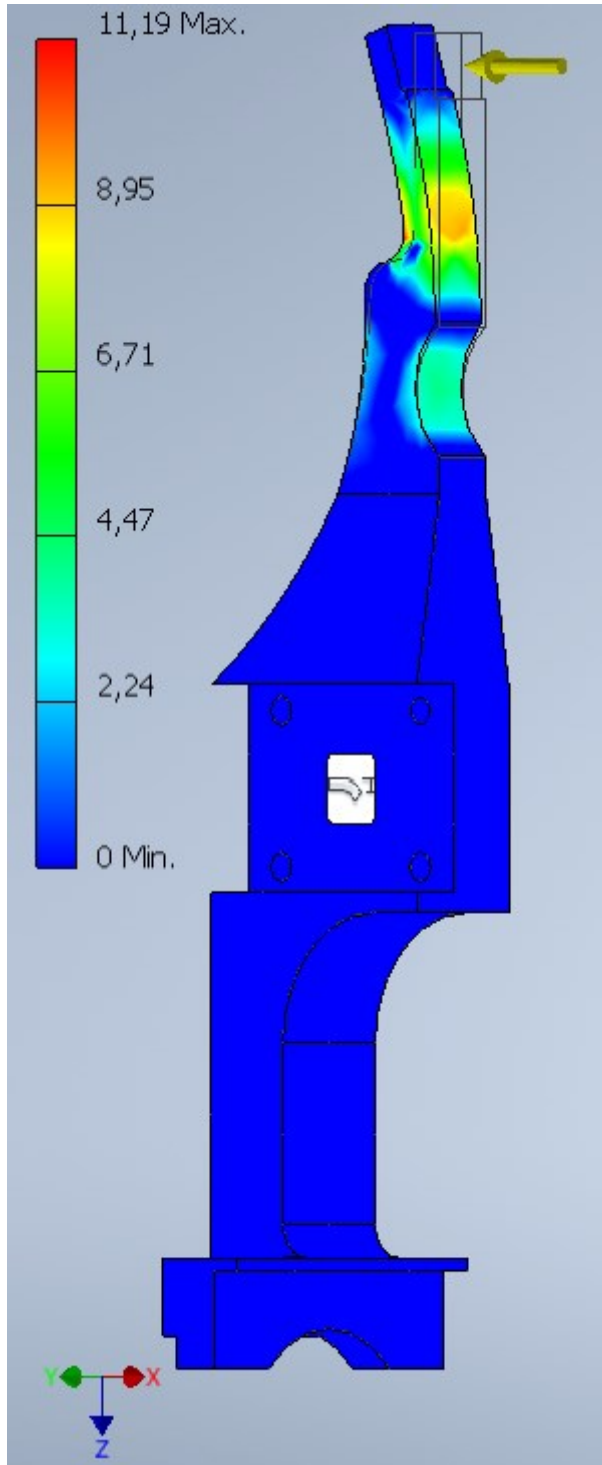
Materiál: ABS



Obr. 64 – Posuv části prstu uchopující rotační díly vyvolaný silou 100 N působící ve směru šipky

(Hodnota průhybu udána v mm)

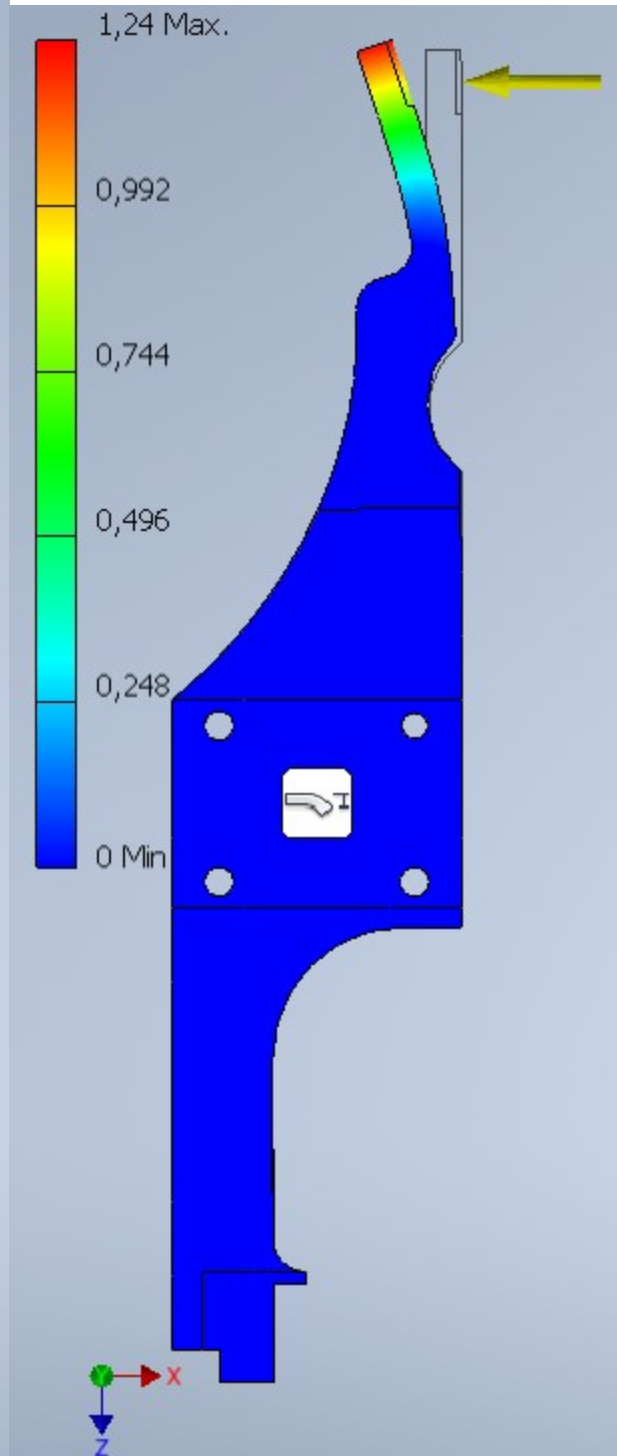
Materiál: ABS



Obr. 65 - Průběh napětí v části prstu uchopující
přítlačné desky vyvolaný silou 21 N působící ve
směru šipky

(Hodnota napětí udána v MPa)

Materiál: ABS



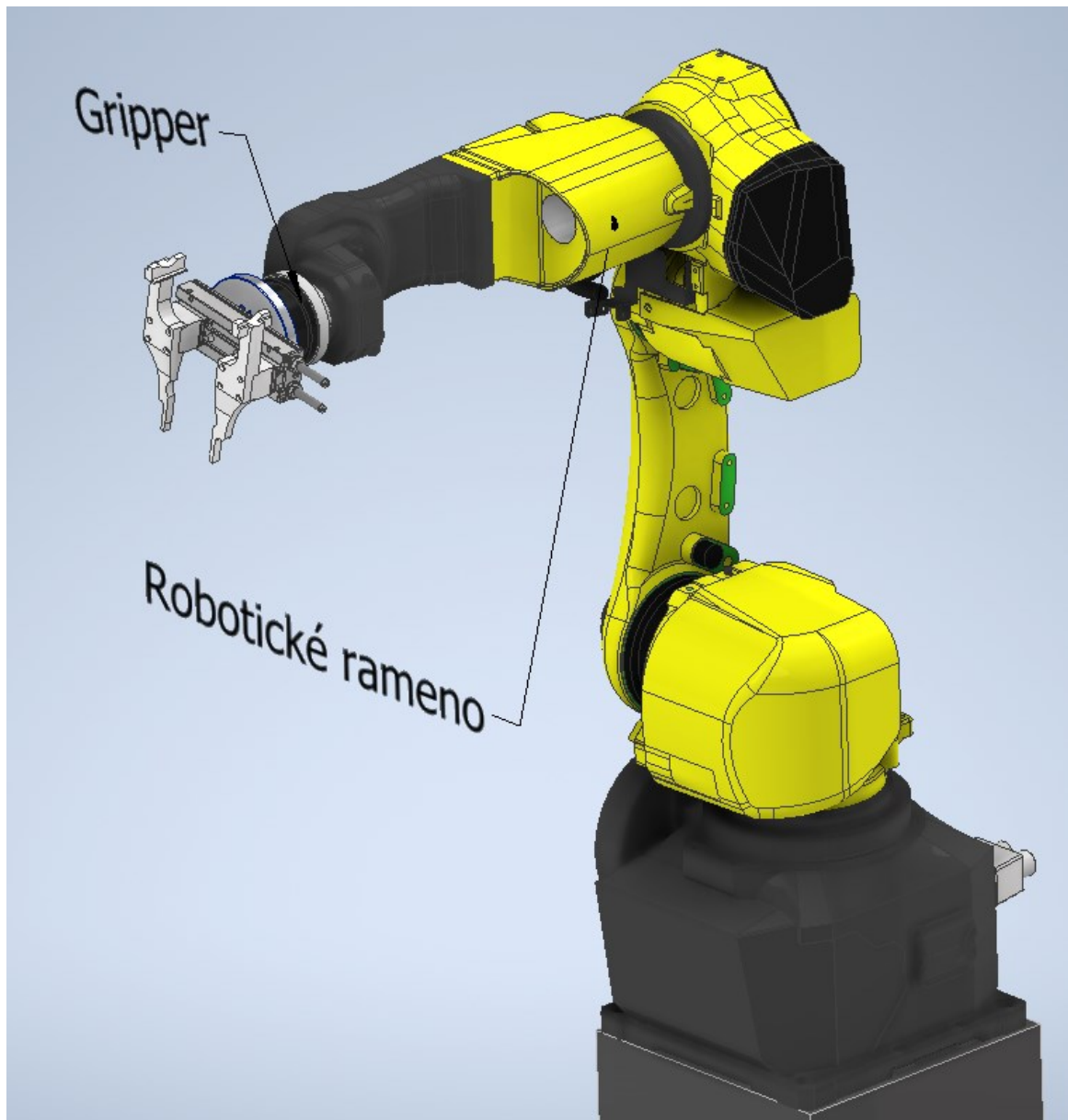
Obr. 66 – Posuv části prstu uchopující přítlačné
desky vyvolaný silou 21 N působící ve směru
šipky

(Hodnota průhybu udána v mm)

Materiál: ABS

7.3 Propojení celého gripperu

Gripper se skládá z několika částí. Tyto části je nutné spojit pomocí šroubů tak, aby se s gripperem dalo manipulovat jako s jedním celkem. V této kapitole popíší způsoby, jimiž jsou jednotlivé části spojeny a jak je celý efektor připojen k robotickému ramenu (viz Obr. 67). Popíší také vedení kabelů a stlačeného vzduchu ke gripperu.

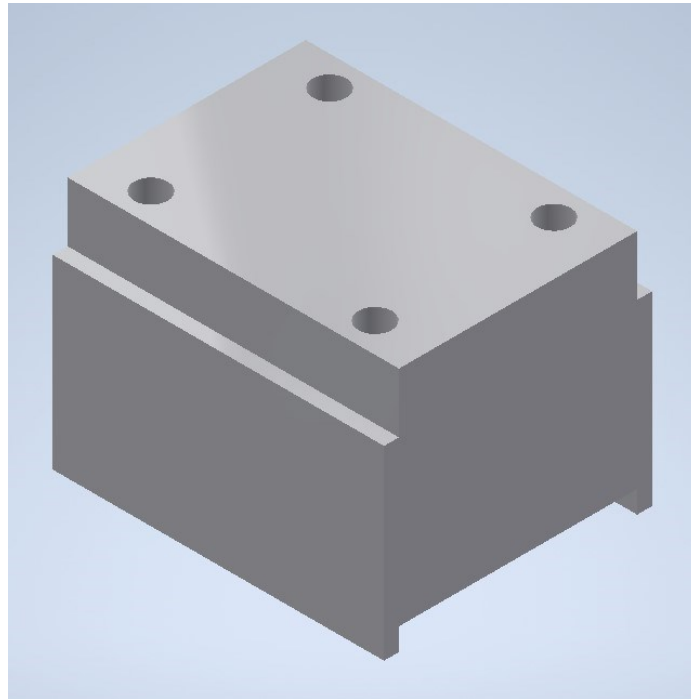


Obr. 67 – Robotické rameno s gripperem

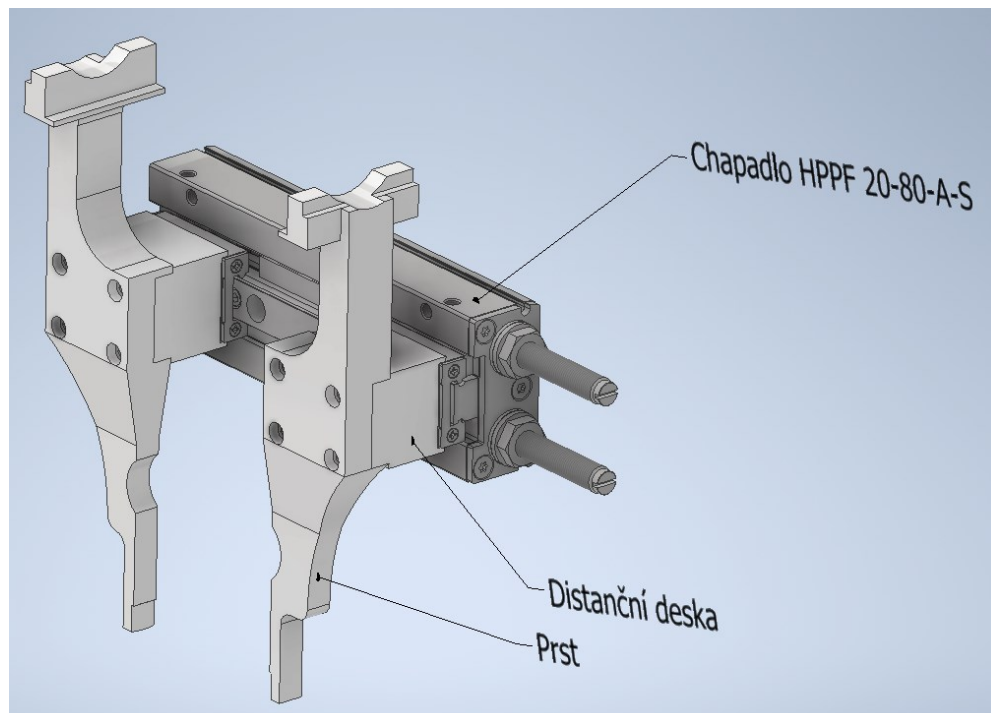
7.3.1 Způsob přichycení prstů k chapadlu HPPF-20-80-A-S

Jak již bylo zmíněno v kapitole 6.3.2, chapadlo disponuje čtyřmi závitovými dírami na pohyblivých částech. Toho využijí a prst přichytím pomocí čtyř šroubů s vnitřním šestihranem o velikosti M4 x 40.

Kvůli možnostem manipulace a bezpečnosti, je nutné mezi prsty a chapadlo vložit distanční desku (viz Obr. 69). Ta vytvoří dostatečné místo mezi prsty a gripperem (viz Obr. 68), aby nedocházelo ke kolizi s uchopovanými díly. Tato deska bude připevněna pomocí stejných šroubů jako prst. To znamená, že v ní budou 4 průchozí díry, z jedné strany bude prst a z druhé posuvná část chapadla. Materiál desky bude odpovídat materiálu prstů.



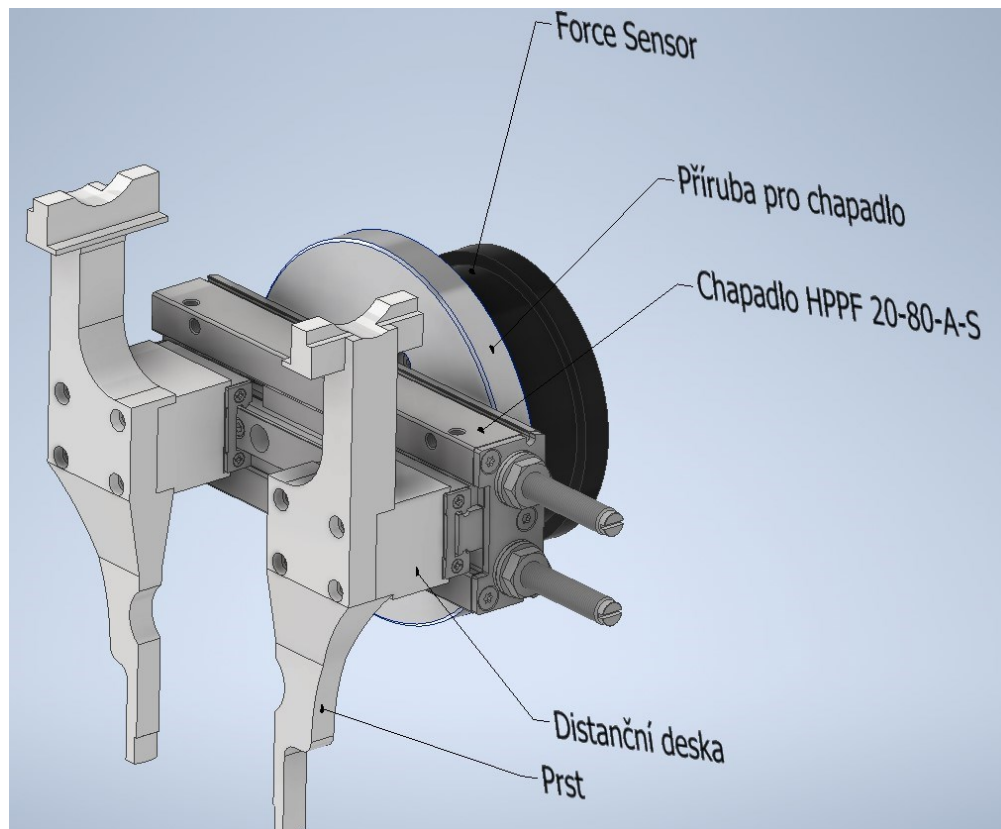
Obr. 69 – Distanční deska



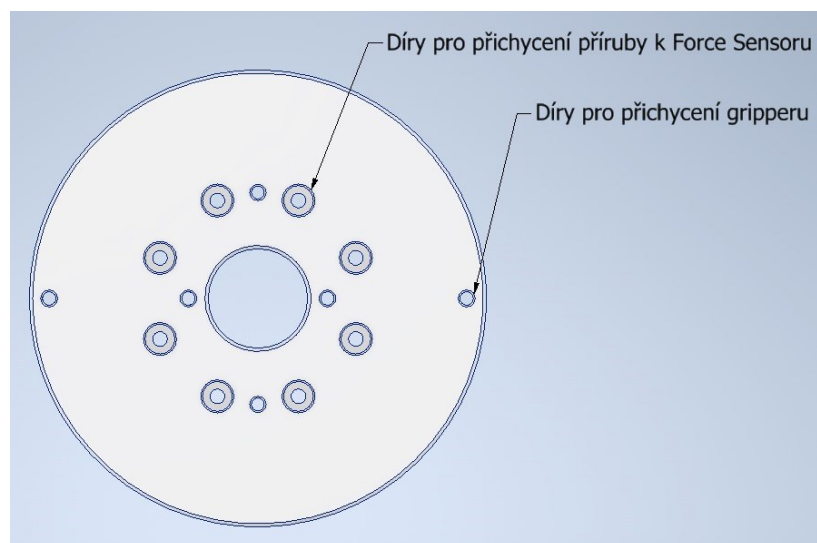
Obr. 68 – Spojení prstů, distanční desky a chapadla

7.3.2 Způsob přichycení chapadla k Force Sensoru

Propojení chapadla a Force Sensoru je provedeno pomocí příruby (viz Obr. 71). Tato příruba je vyrobena tak, že nejprve je nutné přišroubovat Force Sensor a následně se přišroubuje chapadlo. Oba spoje jsou provedeny pomocí šroubů s vnitřním šestihranem. Na Obr. 70 je vidět, že chapadlo je přichyceno pomocí čtyř šroubů, zatímco Force Sensor je přichycen pomocí osmi.



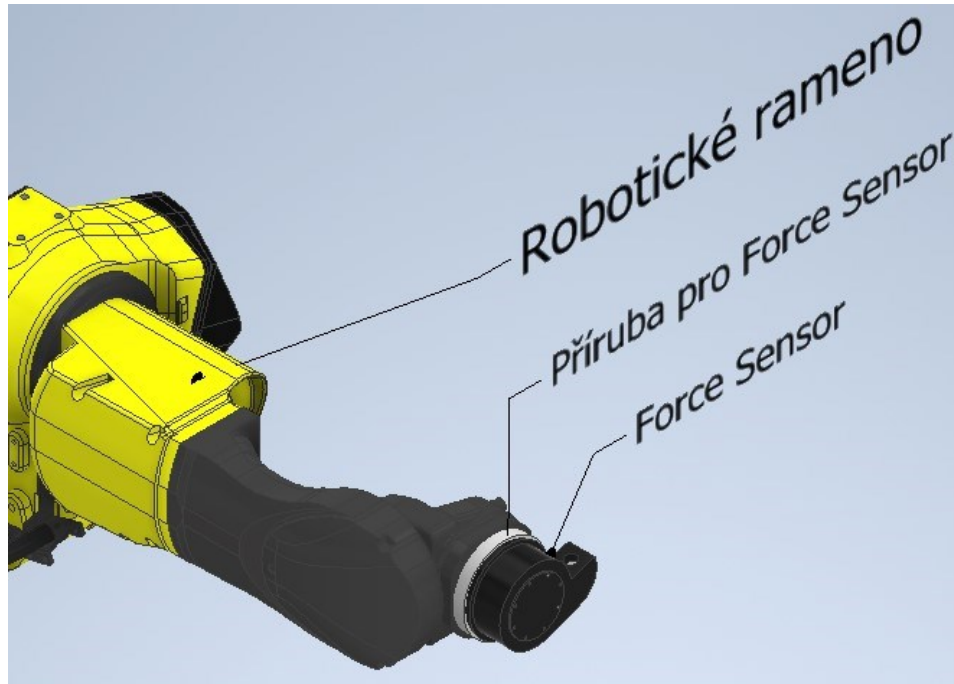
Obr. 71 – Spojení chapadla a Force Sensoru



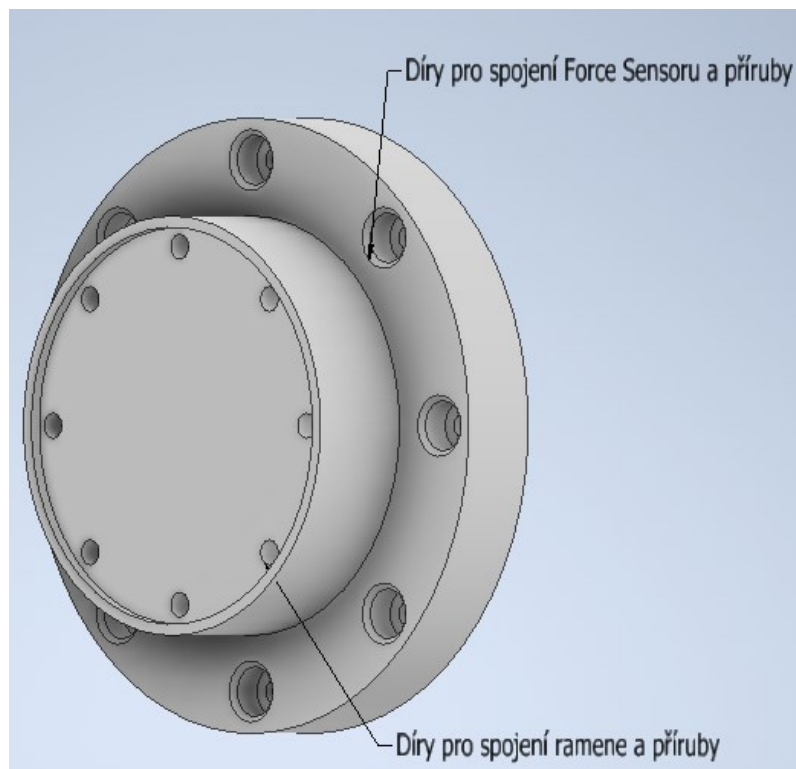
Obr. 70 – Příruba pro připojení gripperu k Force Sensoru

7.3.3 Přichycení Force Sensoru k robotickému ramenu

Přichycení Force Sensoru je provedeno též pomocí příruby (viz Obr. 73). Tato příruba (viz Obr. 72) je vyrobena tak, že se nejprve přišroubuje k ramenu robotu a následně se na ni přišroubuje Force Sensor. K němu je připojeno chapadlo stejným způsobem, jak to bylo řečeno v kapitole 7.3.2. Obr. 72



Obr. 73 – Spojení Force Sensoru a robotického ramene

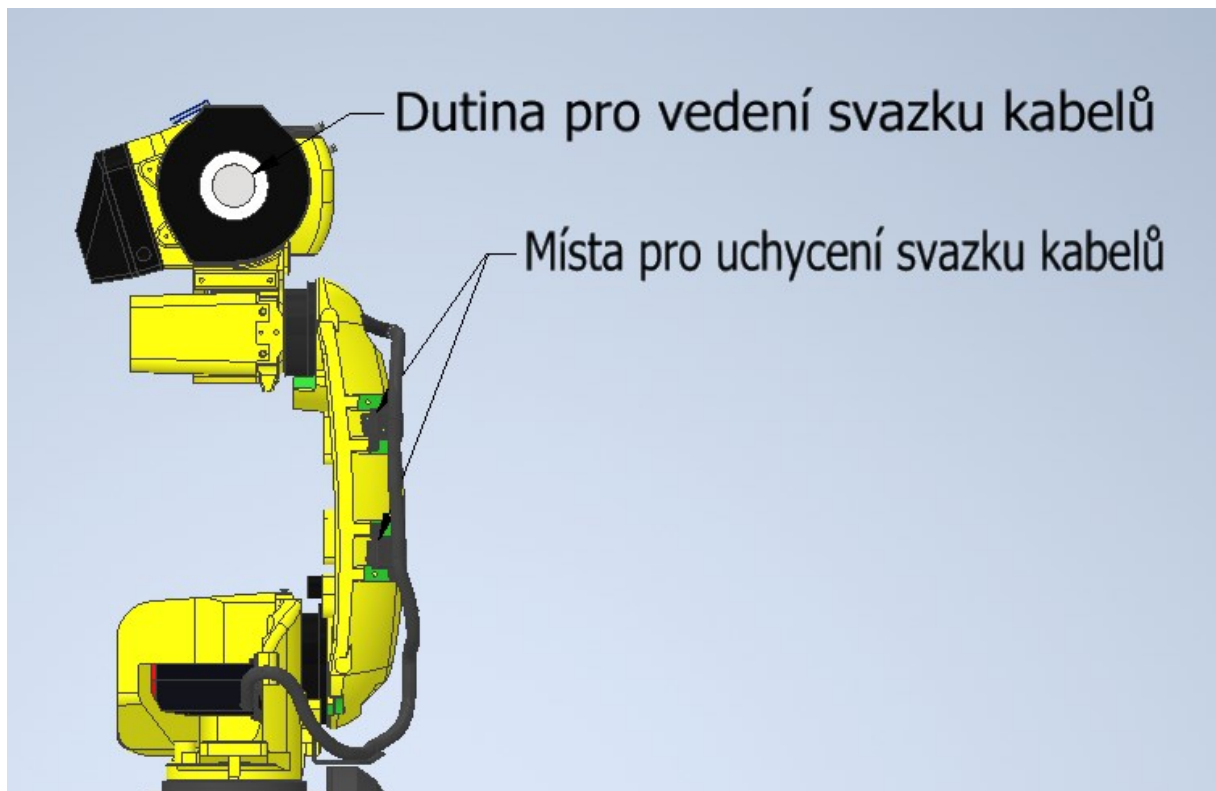


Obr. 72 – Příruba pro připojení Force Sensoru k robotickému ramenu

7.3.4 Vedení kabelů a hadic na stlačený vzduch

Gripper je složen z několika částí, z nichž některé musí komunikovat s řídicí jednotkou robota, nebo být poháněny stlačeným vzduchem. Konkrétně se jedná o Force Sensor, který musí být spojen s řídicí jednotkou pomocí kabelu sloužícího k napájení a přenosu dat. Dále musí být připojeno chapadlo HPPF-20-80-A-S k rozvodu stlačeného vzduchu a polohový detektor Proximity switch SMT-10 k řídicí jednotce stejně jako Force Sensor.

Tyto dráty a hadičky na stlačený vzduch jsou spojeny spirálním chráničem kabelů a vedeny do gripperu skrze dutou část ramene směrem k jeho zadní straně. Následně je tento svazek připevněn k zadní části robotického ramene, aby nepřekážel při jeho pohybu (viz Obr. 74). Kabely musí být naistalovány s dostatečnou vůlí, aby nedošlo k jejich přetržení při dosažení krajní polohy ramene.



Obr. 74 – Popis vedení kabelů na robotickém ramenu

8 ZÁVĚR

V rámci teoretické části práce byl proveden popis a rozdělení různých montážních postupů. Následně byla popsána automatizace, robotizace a jednotlivé automatizační prvky využívané při montáži. Byly také popsány gripperu, jejich rozdělení, kinematika a způsob interakce s okolím.

Praktická část práce spočívala v návrhu gripperu pro robotizovanou montáž čerpadla. Byl popsán předmět montáže a rozdělen do vhodných montážních celků. Následně bylo vybráno vhodné chapadlo, které odpovídalo požadavkům pro práci s díly čerpadla. Součástí návrhu gripperu bylo také navržení způsobu vkládání dílů s malými tolerancemi, vyřešení rozvodů stlačeného vzduchu a snímání polohy pístu. Dále se jednalo o návrh prstů gripperu a způsob propojení jednotlivých částí.

Při návrhu prstů gripperu se vycházelo z analýzy předmětu montáže a byly navrženy způsoby uchopení jednotlivých montážních celků. Byla také provedena pevnostní kontrola, ze které vyplynulo, že prsty sice vydrží zátěž vytvořenou uchopováním dílů, ale dojde k posuvu v místech společného kontaktu.

Během vývoje byly navrženy dva druhy materiálů pro výrobu prstů. Jednalo se o plast ABS a slitinu hliníku. 3D tištěné prsty z plastu ABS vykazovaly maximální hodnoty posuvu 1,24 mm. Prsty ze slitiny hliníku při pevnostní kontrole vykazovaly maximální posuv 0,23 mm. Z těchto hodnot usuzuji, že prsty ze slitiny hliníku budou pro aplikaci v praxi vhodnější. Ověření tohoto úsudku a podrobnější porovnání jednotlivých druhů prstů by mohlo být předmětem rozšiřujícího vývoje, který by navazoval na tuto práci.

BIBLIOGRAFIE

- [1] ZELENKA, Antonín, Vratislav PRECLÍK a Milan HANINGER. *Projektování výrobních procesů II: Obrábění a montáže: Obrábění a montáže*. Praha: Ediční středisko Českého vysokého učení technického, 1992. Dostupné také z: <https://go.exlibris.link/lfLKccMT>
- [2] ZELENKA, Antonín a České vysoké učení technické v Praze. Strojní FAKULTA. *Projektování výrobních procesů a systémů*. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. Dostupné také z: <https://go.exlibris.link/xbyn6194>
- [3] ZELENKA, Antonín. *Projektování výrobních procesů*. Praha: Ediční středisko Českého vysokého učení technického, 1983. Dostupné také z: <https://go.exlibris.link/NsL3cGxx>
- [4] CROWSON, Richard. *The handbook of manufacturing engineering: Assembly processes: finishing, packaging, and automation: Assembly processes*. 2nd. New York: CRC Press, 2006. Dostupné také z:
http://techlib.summon.serialssolutions.com/2.0.0/link/0/eLvHCXMwfVxNTwIxFHzh44InEI0obHr1AGlLd7t7ZNVHC8YE9EpKt-8GHIwXf719a102JHps2vQ77ZtpZwDmcsanZ2dConRiMDNSOL2zXBppUMSpNImpLUfSO69W8vUtlhnl8E1h6QxP36oM_lzrb5MfzUFCB5DpboN7XlCqOspVzW5Qs9nMksrv0dFDul-agluO79pUumEahsXStGHDokMBtCyH5dw0TAFHMK9XzIGfDbFv-ylbG8On6Q_qASFzJ3KXgErHjfl52loYRu4mG3dbXkNHY_v3Q2wRKH1yN9HQgJV6cQOSxFr5KV VseUmHcHoz2pu_8m7g96JLxhDF_1-dpN61BF0F4s8f4-qqfsGCMVzrg
- [5] *Automatizace a automatizační technika: Systémové pojetí automatizace: Systémové pojetí automatizace*. Brno: Computer Press, 2012. Dostupné také z: <https://go.exlibris.link/0xNh24t6>
- [6] *Automatizace a automatizační technika: Automatické řízení: Automatické řízení*. Brno: Computer Press, 2012. Dostupné také z: <https://go.exlibris.link/0xNh24t6>
- [7] URBÁNEK, Jiří. *Automatizace výrobních procesů - obrábění*. Brno: Ediční středisko Vysokého učení technického, 1990. Dostupné také z: <https://go.exlibris.link/WZZxSGyr>
- [8] KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016. Dostupné také z: <https://go.exlibris.link/6LQ77sWI>

- [9] TMT, spol. s r.o.: *DOPRAVNÍKY A DOPRAVNÍKOVÉ SYSTÉMY*. TMT, s.r.o. [online]. Chrudim: NEXAVISION, 2020 [cit. 2023-03-16]. Dostupné z: <http://www.tmt.cz/cz/>
- [10] *Ek robotics [online]. Nenndorf: ek robotics, 2023* [cit. 2023-03-16]. Dostupné z: <https://ek-robotics.com/cz/reseni/automatizovane-prepravni-systemy/>
- [11] *Montážní linky. Fokus industry: montážní linky - linky pro montáž v sériové výrobě, průmyslové montážní linky* [online]. Praha: Fokus industry, 2023 [cit. 2023-03-22]. Dostupné z: <https://fokusindustry.cz/i?/Dopravn%C3%ADkov%C3%A9+syst%C3%A9my/mont%C3%A1%C5%BEEn%C3%AD+linky>
- [12] *Minulost a budoucnost robotů. AUTOMA, časopis pro automatizační techniku* [online]. 2009, 2009(05), 3 [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: https://automa.cz/cz/casopis-clanky/minulost-a-budoucnost-robotu-2009_05_39014_4718/
- [13] SHAOJUN, YING, GAO FEI, LI YONG a MA HONGJI. *Multifunctional 4-axis robot*. 2011. Dostupné také z: <https://go.exlibris.link/525gGfMM>
- [14] *Opticontrol* [online]. In: . [cit. 2023-07-25]. Dostupné z: <https://www.opticontrol.cz/uploads/modely/8-g-l.jpg>
- [15] *Stäubli: ROBOTICS. Stäubli* [online]. Německo: Stäubli, 2023 [cit. 2023-03-22]. Dostupné z: <https://www.staubli.com/en/robotics/product-range/industrial-robots/6-axis-robots/tx2-90/>
- [16] *KUKA* [online]. In: . [cit. 2023-07-25]. Dostupné z: https://www.kuka.com/-/media/kuka-corporate/images/products/robots/foundryrobots/kuka_foundry_robots.jpg?rev=499c485345da497a9d5de38e2b128b42&w=1900&hash=4769957CAC10A6CBAF2AA319A1BF619D
- [17] PISKAČ, Luděk a Západočeská univerzita. Katedra elektromechaniky a výkonové ELEKTRONIKY. *Průmyslové roboty. 2. přeprac. vyd.* Plzeň: Západočeská univerzita, 2004. Dostupné také z: <https://go.exlibris.link/Qs2BS1GX>
- [18] VOJÁČEK, Antonín. *Novinky u kolaborativních robotů - více citlivosti a inteligence* [online]. In: . 11. Červenec 2022. [cit. 2023-07-25]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/novinky-v-oblasti-kolaborativnich-robotu-vice-citlivosti-a-inteligence.html>

- [19] MATTHEWS, Peter a Steven GREENSPAN. *Automation and collaborative robotics: a guide to the future of work: a guide to the future of work*. New York: Apress, 2020. Dostupné z: doi:10.1007/978-1-4842-5964-1
- [20] ABB [online]. Stockholm: ABB, 2023 [cit. 2023-03-22]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/cs/local/partneri-a-systemovi-integratori/produktove-portfolio/kolaborativni-roboty-pro-integratory>
- [21] *Co je to Delta robot a jak funguje?. FACTORY AUTOMATION: Magazín o průmyslové automatizaci a robotice* [online]. 2019, 2019(1), 1 [cit. 2023-03-22]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/delta-robot-jak-funguje/>
- [22] *Br-automation* [online]. In: . [cit. 2023-07-25]. Dostupné z: <https://www.br-automation.com/fileadmin/1604846168210-de-html-1.0.jpg>
- [23] KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016. Dostupné také z: <https://go.exlibris.link/wp9cZr qw>
- [24] GRABIT, Inc, *Grabit products* [online]. Utah : Godaddy.com, LLC, 2015. [cit. 2023-03-22]. Dostupný z: <https://grabitinc.com/products/>
- [25] B. Chvála, R. Matička, and J. Talácko, *Průmyslové manipulátory a roboty*. Praha: České vysoké učení technické, 1983. ISBN:80-03-00361-X
- [26] SKAŘUPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátory. 1. vyd.* Ostrava : Ediční středisko VŠB - TUO, 2007. 260 s. ISBN 978-80-248-1522-0
- [27] VOJÁČEK, Antonín. *Průmyslové a kolaborativní uchopovače pro libovolné roboty* [online]. In: . 26. Srpen 2019 [cit. 2023-07-25]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/prumyslove-a-kolaborativni-uchopovace-pro-libovolne-roboty.html>
- [28] *Podtlakový uchopovač OnRobot* [online]. In: . [cit. 2023-07-25]. Dostupné z: <https://www.b2b-nn.com/wp-content/uploads/OnRobot-VGP20.jpg>
- [29] KOLÍBAL, Z. *Průmyslové roboty II.: Konstrukce výstupních hlavíc a periferií*. Brno: PC DIR, 1993, 165 s. ISBN 80-214-0533-3.

- [30] CHARVÁT, Jaroslav. *Teorie mechanismů*. 1. vyd. Praha : SNTL n.p., 1964. 338s. ISBN 05-239-64
- [31] *Magnetický gripper* [online]. In: . [cit. 2023-07-25]. Dostupné z: https://d16vz4puxlsxm1.cloudfront.net/image/076200133045-Prod/image_3561a1hh6h7ll0dgmddpgfh817f/-FJPG-S600x337
- [32] KŘÍŽ, Rudolf. WEIGNER, Karel. SVOBODA, Jaroslav. *Stavba a provoz strojů III : mechanismy*. 1.vyd. Praha : SNTL, 1979. 165 s.
- [33] SKAŘUPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátory* [online]. Ostrava, 2007 [cit. 2023-07-25]. Dostupné z: http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/PRM/Text/Skripta_PRaM.pdf. Učební text.
- [34] *Kloubový gripper* [online]. In: . [cit. 2023-07-25]. Dostupné z: https://uploads.unchainedrobotics.de/media/products/Product_images2FDH-Robotics-DH-3-RS-2_bd0d72a6.png
- [35] *Schunk* [online]. In: . [cit. 2023-07-25]. Dostupné z: https://d16vz4puxlsxm1.cloudfront.net/image/076200133045-Prod/image_d8h9bgo98l2an9c7qhvjet15f/-FJPG-B600
- [36] *ONROBOT: Robot arm grippers and EOAT components* [online]. Odense, Denmark: Linode, 2023 [cit. 2023-03-22]. Dostupné z: <https://onrobot.com/en/products-and-solutions>
- [37] *Pákový mechanismus SGW* [online]. In: . [cit. 2023-07-25]. Dostupné z: <https://storage.tameson.com/asset/Articles/general/pneumatic-gripper-2-finger-angular.png>
- [38] JENČÍK, Josef. *Technické měření*. 1. vyd. Praha : ČVUT, 2000. 212 s. 80-01-02138-6
- [39] VOLF, Jaromír. Taktilní senzory pro automatizaci. *Automa*. 2008, 7, 16-19
- [40] *Taktilní sensor* [online]. In: . [cit. 2023-07-25]. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/profile/Yannick-Jonetzko/publication/348296804/figure/fig2/AS:977261217976326@1610008639706/A-cross-section-of-the-BioTac-sensor-used-for-the-acquisition-of-vibration-measurements.ppm>

- [41] MARTIN, NOVAK, VOLF JAROMIR, VLCEK JOSEF a TRINKL ALES. *Device for detecting tactile information*. 2010. Dostupné také z: <https://go.exlibris.link/2XYcNP28>
- [42] SHIMONOMURA, Kazuhiro. *Tactile Image Sensors Employing Camera: A Review*. *Sensors*. 2019, vol. 19, 3933. <https://doi.org/10.3390/s19183933>
- [43] IKEDA, Atsutoshi. *Grip force control for an elastic finger using vision-based incipient slip feedback*. 2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) (IEEE Cat. No.04CH37566), Sendai, 2004, pp. 810-815 vol.1, doi: 10.1109/IROS.2004.1389452.
- [44] DZITAC, Pavel & MAZID, Abdul & IBRAHIM, Yousef & KAHANDAWA Appuhamillage, Gayan & CHOUDHURY, Tanveer. (2015). *Friction-based slip detection in robotic grasping*. 004871-004874. 10.1109/IECON.2015.7392863.
- [45] VEIGA, Filipe. VAN HOOFF, Herke. *Stabilizing novel objects by learning to predict tactile slip*. 2015 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), Hamburg, 2015, pp. 5065-5072, doi: 10.1109/IROS.2015.7354090.
- [46] FESTO. *MultyChoisGripper* [online]. Germany : Festo 2014 [cit. 2023-03-22]. Dostupné z WWW:https://www.festo.com.cn/net/SupportPortal/Files/333986/Festo_MultiChoiceGripper_en.pdf
- [47] *FlexShape gripper* [online]. In: . [cit. 2023-07-25]. Dostupné z: https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/367915/Festo_FlexShapeGripper_en.pdf
- [48] *MGrip* [online]. In: . [cit. 2023-07-25]. Dostupné z: https://www.softroboticsinc.com/uploads/2019/10/Product_Hero_MGrip-768x576.jpg
- [49] *Fanuc: Robotické rameno M-10iD/16S* [online]. [cit. 2023-07-25]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/str%C3%A1nka-filtru-robot%C5%AF/%C5%99ada-m-10/m-10id-16s>
- [50] *Parallel gripper HPPF* [online]. In: . [cit. 2023-07-25]. Dostupné z: <https://www.festo.com/media/pim/835/D15000100173835.PDF>
- [51] *Proximity switch SMT-10G* [online]. In: . [cit. 2023-07-25]. Dostupné z: https://www.festo.com/gb/en/p/proximity-switch-id_SMT10/?page=0

- [52] Polyuretanová hadice [online]. In: . [cit. 2023-07-25]. Dostupné z: https://www.festo.com/gb/en/a/551458/?tab=TECHNICAL_DATA&jumpToAnchor=true
- [53] Jednosměrný škrticí ventil VFOE [online]. In: . [cit. 2023-07-25]. Dostupné z: https://www.festo.com/cz/cs/p/jednosmerne-skrtrici-ventily-id_VFOE/?page=0
- [54] *Násuvná armatura tvaru L* [online]. In: . [cit. 2023-07-25]. Dostupné z: <https://www.festo.com/cz/cs/a/186353/>
- [55] *Force Sensor FS-40iA* [online]. In: . [cit. 2023-07-25]. Dostupné z: <https://www.productivity.com/wp-content/uploads/2019/06/Force-Sensor.pdf>
- [56] *Force Sensor FS-40iA: foto* [online]. In: . [cit. 2023-07-25]. Dostupné z: <https://www.rabindustries.com/listings/2324530-used-fanuc-fs40ia-force-sensor#&gid=1&pid=1>
- [57] *Uchopovací síla gripperu* [online]. In: . [cit. 2023-07-25]. Dostupné z: <https://www.dailyautomation.sk/05-efektory-robota-vypocet-uchopovacej-sily/>

SEZNAM POUŽITÉHO SOFTWARE

Microsoft office 2021 – studentská licence

Autodesk Inventor Professional 2023 – studentská licence

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 – Rozdělení organizace práce [2].....	8
Obr. 2 – Rozdělení dle organizace práce [2].....	10
Obr. 3 – Rozdělení dle stupně automatizace [4]	12
Obr. 4 – Důvody automatizace [5].....	15
Obr. 5 – Rozdělení automatizace [5]	16
Obr. 6 – 4-Osý robot [14].....	20
Obr. 7 – 6-osé roboty [16]	21
Obr. 8 – Spolupráce člověka s kolaborativním robotem ABB Yumi [18]	22
Obr. 9 – DELTA robot [22].....	22
Obr. 10 – Mechanický gripper [27].....	24
Obr. 11 – Podtlakový gripper [28]	25
Obr. 12 – Magnetický gripper [31]	26
Obr. 13 – Gripper s kloubovým mechanismem [34]	28
Obr. 14 – Vačkový mechanismus [35]	29
Obr. 15 – Šroubový mechanismus [36]	29
Obr. 16 – Pákový mechanismus SGW [37]	30
Obr. 17 – Optické metody měření síly [42]	32
Obr. 18 – taktilní senzor [40]	33
Obr. 19 - Popis funkce třecího senzoru [44]	34
Obr. 20 - Třecí senzor prokluzu [44]	34
Obr. 21 – FlexShape gripper [47].....	35
Obr. 22 – MGrip [48]	35
Obr. 23 – Celé čerpadlo	36
Obr. 24 – Litinové díly.....	37
Obr. 25 – Rotační části.....	37
Obr. 26 – Přítlačná deska.....	38
Obr. 27 – Předmontáž mezitělesa	39

Obr. 28 – Předmontáž tělesa	39
Obr. 29 – Předmontáž příruby	39
Obr. 30 – Předmontáž víka	40
Obr. 31 – Předmontáž přítlačné desky	40
Obr. 32 – Ozubená spojka	41
Obr. 33 - Robotické rameno M-10iD/16S	43
Obr. 34 – Polohový detektor Proximity switch SMT-10 [51].....	44
Obr. 35 – Chapadlo HPPF 20-80-A-S reálné [50]	44
Obr. 36 - Chapadlo HPPF 20-80-A-S CAD model	44
Obr. 37 - Polyuretanová vzduchová hadice Festo [52].....	45
Obr. 38 - Jednosměrný škrtkový ventil VFOE [53]	45
Obr. 39 - Násuvná armatura tvaru L [54]	45
Obr. 40 – Force Sensor FS-41iA [56]	45
Obr. 41 – Gripper	47
Obr. 42 – Rovina použitá k uchopování litinových součástí (symetricky i na druhé straně dílů)	48
Obr. 43 – Místo pro uchopení přítlačné desky (symetricky i na druhé straně dílu).....	49
Obr. 44 – Místo uchopení rotačních dílů (mezi fialovými čarami)	49
Obr. 45 – Mezery mezi deskou a tělesem (označeny fialovými kruhy).....	50
Obr. 46 – Uchopení litinového dílu	51
Obr. 47 – Část prstu uchopující litinové díly.....	51
Obr. 48 – Uchopení rotačního dílu	52
Obr. 49 – Část prstu uchopující rotační díly	52
Obr. 50 – Část prstu uchopující přítlačné desky.....	53
Obr. 51 – Uchopení přítlačné desky	54
Obr. 52 - Rozložení částí pro úchop jednotlivých dílů na prstu.....	55
Obr. 53 – Rozměry prstu ze slitiny hliníku	56
Obr. 54 – Průběh napětí v části prstu uchopující litinové díly vyvolaný silou 180 N působící ve směru šipky.....	58
Obr. 55 – Posuv části prstu uchopující litinové díly vyvolaný silou 180 N působící ve směru šipky	58

Obr. 56 - Průběh napětí v části prstu uchopující rotační díly vyvolaný silou 100 N působící ve směru šipky.....	59
Obr. 57 – Posuv části prstu uchopující rotační díly vyvolaný silou 100 N působící ve směru šipky	59
Obr. 58 - Průběh napětí v části prstu uchopující přítlačné desky vyvolaný silou 21 N působící ve směru šipky	60
Obr. 59 – Posuv části prstu uchopující přítlačné desky vyvolaný silou 21 N působící ve směru šipky	60
Obr. 60 – Rozměry 3D tištěného prstu	61
Obr. 61 – Průběh napětí v části prstu uchopující litinové díly vyvolaný silou 180 N působící ve směru šipky.....	63
Obr. 62 – Posuv části prstu uchopující litinové díly vyvolaný silou 180 N působící ve směru šipky	63
Obr. 63 - Průběh napětí v části prstu uchopující rotační díly vyvolaný silou 100 N působící ve směru šipky.....	64
Obr. 64 – Posuv části prstu uchopující rotační díly vyvolaný silou 100 N působící ve směru šipky	64
Obr. 65 - Průběh napětí v části prstu uchopující přítlačné desky vyvolaný silou 21 N působící ve směru šipky	65
Obr. 66 –Posuv části prstu uchopující přítlačné desky vyvolaný silou 21 N působící ve směru šipky.....	65
Obr. 67 – Robotické rameno s gripperem	66
Obr. 68 – Spojení prstů, distanční desky a chapadla.....	67
Obr. 69 – Distanční deska	67
Obr. 70 – Příruba pro připojení gripperu k Force Sensoru	68
Obr. 71 – Spojení chapadla a Force Sensoru	68
Obr. 72 – Příruba pro připojení Force Sensoru k robotickému ramenu	69
Obr. 73 – Spojení Force Sensoru a robotického ramene	69
Obr. 74 – Popis vedení kabelů na robotickém ramenu	70



SEZNAM TABULEK

Tab. 1 – Druhy kinematiky mechanických gripperů [33].....27