

Návrh magnetického chapadla pro uchopování tvarově složitých dílů

Bc. Petr Janík

Diplomová práce
2019



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Petr Janík**
Osobní číslo: **T17265**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Návrh magnetického chapadla pro uchopování tvarově složitých dílů**

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte rešerši zaměřenou na problematiku robotických chapadel používaných v kovárenském průmyslu.
2. Zpracujte podklady nezbytné pro technický návrh.
3. Zpracujte konstrukční řešení chapadla dle požadavků.
4. Vypracujte výkresovou dokumentaci navrženého řešení.
5. Ověřte konstrukční návrh pomocí inženýrských výpočtů a počítačových simulací.

Rozsah diplomové práce: **cca 60 stran**
Rozsah příloh: **dle pokynů VDP**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

- **KOLÍBAL, Zdeněk.** *Roboty a robotizované výrobní technologie* . Brno: Vysoké učení technické v Brně – nakladatelství VUTIUUM, 2016, 787 s. ISBN 978-80-214-4828-5.
- **DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ.** *Technologie tváření: plošné a objemové tváření* . Vyd. 5., V Akademickém nakladatelství CERM 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 169 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 978-80-214-4747-9.
- **WILSON, Mike.** *Implementation of robot systems: an introduction to robotics, automation, and successful systems integration in manufacturing* . Amsterdam: Elsevier, BH, 2015, xv, 229. ISBN 978-0-124-04733-4.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Ondřej Bílek, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství
Datum zadání diplomové práce: **2. ledna 2019**
Termín odevzdání diplomové práce: **17. května 2019**

Ve Zlíně dne 6. února 2019

L.S.

doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 6.5.2019

.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídně k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Cílem této diplomové práce je návrh a konstrukce magnetického chapadla, které bude použito pro manipulaci s výkovky na pracovišti pro nedestruktivní defektoskopii. Zakomponování robotizovaného magnetického chapadla ulehčí práci zaměstnancům tohoto pracoviště, a především bude zefektivněna výroba.

Klíčová slova: Magnet, chapadlo, konstrukce, efektor, uchopovač, robot

ABSTRACT

The main aim of this presented master's thesis is design and construction of magnetic gripper which will be used for manipulation with forged pieces on magnafluxing crack detection work place. By using of magnetic tentacle, work will be easier for employees and manufacturing will be streamlined.

Keywords: Magnet, Gripper, Construction, Effector, Robot

Tímto bych rád poděkoval doc. Ing. Ondřeji Bílkovi Ph.D. za odborný dohled, vedení, ochotu a velkou dávku trpělivosti. Věřím, že toto setkání není naše poslední a těším se na další spolupráci.

Dále bych chtěl také poděkovat Ing. Františkovi Tomečkovi Ph.D. z firmy Kovárna VIVA a. s. za umožnění spolupráce na této diplomové práci a také za nesčetné rady, připomínky a návrhy, které značně napomohly ke kvalitnímu zpracování mé diplomové práce.

V neposlední řadě bych rád poděkoval celé své rodině a přítelkyni za trpělivost, pomoc a podporu při psaní mé diplomové práce.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 HISTORIE ROBOTIKY	12
1.1 OBECNÉ SEZNÁMENÍ S ROBOTIKOU.....	12
1.2 POČÁTKY ROBOTŮ V HISTORII	12
1.3 POČÁTKY SOUČASNÝCH ROBOTŮ	16
2 BEZPEČNOST ROBOTŮ A POSOUZENÍ RIZIK	21
2.1 LEGISLATIVNÍ POŽADAVKY NA BEZPEČNOST ROBOTICKÝCH SYSTÉMŮ.....	21
2.2 NEBEZPEČÍ A RIZIKA PŘI VÝVOJI ROBOTICKÝCH SYSTÉMŮ	23
3 ROZDĚLENÍ PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ A MANIPULÁTORŮ	26
3.1 ROZDĚLENÍ DLE GENERACÍ.....	27
3.2 ROZDĚLENÍ DLE KRITÉRIÍ	29
4 MAGNETICKÁ CHAPADLA	32
4.1 MAGNETICKÉ UPÍNÁNÍ MANIPULOVANÉHO PŘEDMĚTU.....	32
4.2 DRUHY POUŽITÝCH MAGNETŮ.....	34
4.2.1 Elektromagnetické.....	35
4.2.2 S permanentní magnety	37
4.2.3 Elektropermanentní magnety	39
5 METODIKA NÁVRHU MAGNETICKÉHO CHAPADLA	40
5.1 OBJEKT MANIPULACE.....	41
5.2 VÝPOČET MAGNETICKÉ SÍLY	42
5.2.1 Vzdálenost magnetu od podložky	42
5.2.2 Vlastnosti materiálu.....	44
5.2.3 Demagnetizační faktor	44
5.2.4 Permeance	45
6 SHRUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI A CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI	46
6.1 SHRUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI	46
6.2 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE.....	46
II PRAKTICKÁ ČÁST	48
7 ÚVOD DO PROBLEMATIKY	49
7.1 O FIRMĚ KOVÁRNA VIVA A.S.....	49
7.2 SOUČASNÝ STAV VÝROBNÍ LINKY	50
7.3 POŽADAVEK NÁVRHU NOVÉHO ŘEŠENÍ.....	51
7.4 NEDESTRUKTIVNÍ DEFEKTOSKOPIE.....	53
7.5 ROBOT ABB IRB 4600-60/2.05	54
7.5.1 Parametry robota	55
8 KONSTRUKČNÍ PROCES	57

8.1	POŽADAVKOVÝ LIST.....	57
8.2	VÝKOVKY	58
8.3	MAGNET.....	61
8.4	ÚHEL VÝKYVU MAGNETICKÉHO CHAPADLA	65
9	NÁVRH MAGNETICKÉHO CHAPADLA	67
9.1	PRVNÍ NÁVRH CHAPADLA	67
9.2	ZVOLENÉ KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ	68
9.3	VÝPOČTY, ANALÝZY A OVĚŘENÍ.....	86
9.4	ANALÝZA RIZIK.....	93
9.5	TECHNICKÁ ZPRÁVA POSTUPU MONTÁŽE.....	94
10	FINANČNÍ ZHODNOCENÍ	99
	ZÁVĚR	100
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	102
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	105
	SEZNAM OBRÁZKŮ	107
	SEZNAM TABULEK.....	110
	SEZNAM PŘÍLOH.....	111

ÚVOD

Robotizovaná zařízení jsou mezi námi již od počátku věků. Od dvacátého století našeho letopočtu se začínají objevovat první průmyslové roboty, které dokáží nahradit lidskou práci. I když je zcela jasné, že robotizovaná linka ulehčí těžkou a namáhavou práci, při aplikaci prvních robotů na pracoviště se zaměstnanci báli o svou práci a zařízení sabotovali a ničili. Teprve postupem času jsou robotizovaná zařízení brána jako pomocníci při namáhavé práci, ať už jsou to roboty manipulující s těžkými břemeny, nebo robotizované vysavače a sekačky v domácnosti.

Tato diplomová práce je zpočátku zaměřena na historii robotů, humanoidů a robotizovaných zařízení, která jsou známa již z dob několik tisíc let před našim letopočtem. Některá objevená zařízení nebyla dosud zcela prozkoumána a není určena jejich role, kterou v minulosti sehrála. Ví se o nich jen velmi málo, nicméně dost natolik, že se jejich sestavení vymyká tehdejšímu poznatkům a znalostem v oblasti robotiky.

V dnešních dobách, kdy vznikají roboti s umělou inteligencí je nutno dbát na bezpečnost, které je věnována další kapitola diplomové práce. Jsou zde uvedeny důležité směrnice a doporučení ohledně navrhování, výroby, prodeje a provozu robotů a humanoidů. Nedílnou součástí této kapitoly jsou také základní zákony robotiky, které byly sepsány ve dvacátém století a s mírnými úpravami jsou platné dodnes. Každý robot s umělou inteligencí musí cítit a dodržovat tyto zákony. Zákony byly sepsány z prevence ochrany člověka před roboty.

Dále je provedena rešerše trhu s ohledem na magnetická chapadla v kovárenském průmyslu, nicméně bylo zjištěno, že je to prozatím velmi málo probádané odvětví, co se týče spojení robota a magnetu.

Cílem mé diplomové práce je tedy celkový návrh magnetického chapadla pro uchopování tvarově složitých dílů, které bude využito pro manipulaci výkovek na lince nedestruktivní defektoskopie. Návrh je o to složitější, že je požadováno uchopení vždy jednoho z osmi tvarově odlišných výkovek, přičemž je vyžadováno použití jednoho univerzálního magnetického chapadla. Navrhnuté řešení musí být poté ověřeno ve vhodném simulačním softwaru.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 HISTORIE ROBOTIKY

Tato kapitola bude zaměřena na historicky významné a zajímavé milníky v historii robotiky.

1.1 Obecné seznámení s robotikou

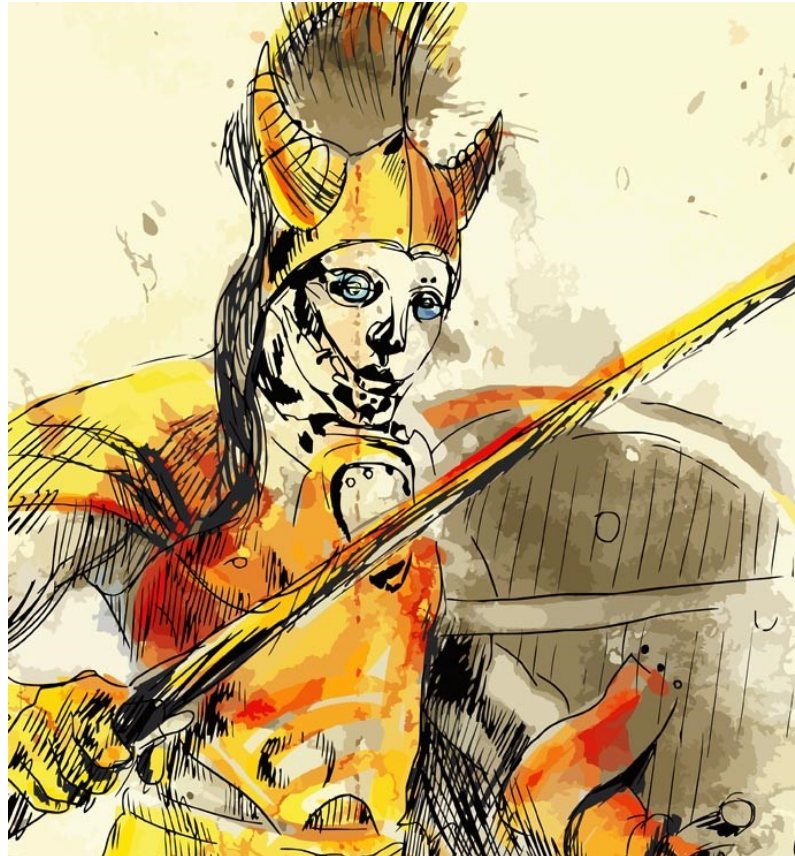
Pojmem robotika se rozumí obor, ve kterém je studována konstrukce robotů a zařízení jim podobných. Dodnes ovšem neexistuje ustálená a zaužívaná definice jak oboru, tak samotného pojmu robot. Mezi širokou veřejností je robot chápán a popisován jako stroj, pomocí kterého je zastoupen v pracovním procesu člověk a dokáže ho zcela, nebo alespoň částečně nahradit. Ve většině případů je takový robot vyroben tak, aby byl schopen získávat informace o prostředí, ve kterém je umístěn a je jeho pracovištěm. Robot je poté schopen toto prostředí ovlivňovat jak fyzikálně, tak mechanicky. Robotika je chápána jako multidisciplinární obor, jež zahrnuje znalosti mechaniky, elektrotechniky, techniky měření, teorie řízení, umělé inteligence a dalších disciplín. [1]

1.2 Počátky robotů v historii

V této podkapitole budou probrána nejstarší mechanická robotizovaná zařízení.

Měděný obr Talos

Ačkoliv byly první průmyslové roboty vyráběny až ve 2. polovině 20. století, historie robota jako umělé bytosti sahá daleko do minulosti. Mezi první ilustrace umělých „pomocníků“ je řazena například řecká mytologie. V mysli člověka jsou zakořeněny představy o tom, jak by bylo možno co nejvíce usnadnit práci už od počátku věků. Bohem kovářství Hefaistosem byli podle řecké legendy vyrobeni mechaničtí sluhové, mezi kterými byly jak služebné, tak užitkové trojnožky na vlastní pohon nebo měděný robot Talos, jež dohlížel na Krétu. [2]



Obr. 1 Měděný obr Talos [2]

Nejstarší počítač

V roce 1901 byly mezi ostrovy Kréta a Kythera, potápěči nalezeny zbytky něčeho, co lze považovat za mechanický počítač nebo robot. Tento přístroj byl objeven ve vraku lodi nedaleko ostrovů. Přístroj byl složen z několika mechanismů ozubených kol. Tento robot uměl dle některých názorů vypočítat pozici slunce, měsíce nebo jiných nebeských těles. Zařízení je datováno do doby 2000 př. n l. a podle svého původu je nazýváno „Antikytherský přístroj“. [5]



Obr. 2 Mechanický počítač [5]

Pascaline – předchůdce dnešní kalkulačky

V roce 1642 bylo vynalezeno výpočetní zařízení zvané Pascaline vynálezcem Blaisem Pascalem. Toto zařízení pomáhalo otci Blaise Pascala s počítáním daní. Zařízení bylo tvořeno osmi až deseti pohyblivými číslicemi. Šest až osm číslic bylo před desetinou čárkou a dvě číslice byly za desetinou čárkou. Pomocí tohoto zařízení bylo možno pouze sčítat a odčítat. Exemplář tohoto zařízení lze nalézt v muzeu v Paříži. Pascalovo zařízení bylo později zdokonaleno vynálezcem Samuelem Morlandem, kterým bylo přetvořeno na kapesní verzi. [6]



Obr. 3 Pascaline [6]

Mechanické hračky

V 18. století nastal rozmach mechanických hraček. Nicméně tyto hračky nebyly pro všechny. Mohli si je dovolit pouze velmi bohatí lidé.

V roce 1709 byla vynalezena mechanická kachna (The Duck) vynálezcem Jacquesem de Vaucansonem a stala se bezpochyby jeho nejslavnějším dílem. Toto mechanické zařízení mohlo hýbat křídly, jíst a trávit zrna. V každém křídle bylo použito více než čtyři sta pohyblivých částí. Dodnes je tato kachna opředená tajemstvím, protože původní zařízení zmizelo neznámo kam. [7]



Obr. 4 Mechanická kachna

První člověku podobný robot

V pozdější době byly konstruovány automatické zařízení, které usnadňovaly práci, nicméně se ani z daleka nepodobaly člověku. Avšak stále byla snaha vytvořit stroj podobný člověku nebo zvířeti. Mezi první nejznámější napodobeniny člověka tzv. androidy se řadí výtvořky od švýcarských mistrů Piera a Henry Drozů z 18. století. Jejich výtvor byl poměrně hodně podobný člověku a byl schopen perem napsat několik vět. [1]



Obr. 5 Android - Písar Piera a Henry Drozů [1]

1.3 Počátky současných robotů

V této podkapitole budou přiblíženy počátky prvních programovatelných robotů.

Vznik slova Robot

Název robot pochází z hry R.U.R. (Rossumovi univerzální roboti) od Karla Čapka, která byla poprvé vydána v roce 1920. Robot je odvozen z českého slova robota, což znamená "nucená práce". Hlavním tématem knihy je zkáza lidstva, která je zapříčiněna příliš vyspělou technikou v momentě, kdy se vymkne kontrole. Aby lidé nemuseli pracovat, jsou stvořeni umělí služebníci neboli roboti. Postupem času však vypukne vzpoura a lidstvo je vyhlazeno. [3]

Zákony robotiky

V roce 1942 byly sepsány Isaacem Azimovem tři základní zákony robotiky, které by měl každý robot dodržovat. Zákony byly následující:

1. Robot nesmí ublížit člověku, nebo svou nečinností dopustit, aby bylo člověku ublíženo.
2. Robot musí uposlechnout příkazů člověka, kromě případů, kdy jsou tyto příkazy v rozporu s prvním zákonem.
3. Robot musí chránit sám sebe před poškozením, kromě případů, kdy je tato ochrana v rozporu s prvním nebo druhým zákonem.

Později byl přidán Isaacem Azimovem nultý zákon:

1. Robot nesmí ublížit lidstvu, nebo svou nečinností dopustit, aby mu bylo ublíženo.

Postupem času byly přidány další dva zákony:

4. Robot se musí vždy prokazovat jako robot.
5. Robot musí vědět, že je robot. [9]

První samostatné elektrické roboty

Vůbec první samostatné elektronické roboty byly vyrobeny Williamem Greyem Walterem z neurologického institutu Burden Neurological Institute v Bristolu v Anglii v letech 1948 a 1949. Byly pojmenovány Elmer a Elsie. Tito roboti byli řízeni pomocí vnímání světla

a okolních objektů. Tito roboti se také uměli vrátit samostatně k nabíjecímu zařízení a samostatně se nabít. Toto se stávalo poměrně často, protože výdrž na baterii byla poměrně krátká. [10]

První moderní robot

V roce 1956 se spojili vynálezci Joe Engelberger a George Devol. Jejich spolupráce vedla k založení firmy Unimate. Unimate byl také název prvního průmyslového robota na světě. Tento robot byl programovatelný, digitální a učenlivý. Byl používán v závodě General Motors v Ewingu v New Jersey ke skládání těžkých odlitků. Poté byl použit i na svařování a další náročné práce. [4]

Shakey

Shakey byl vyvinut Stanfordským výzkumným ústavem v roce 1966 a byl prvním mobilním robotem, který byl schopen vykreslit vlastní cestu. Robot byl osazen televizní kamerou, triangulačním detektorem dosahu a řadou snímačů propojených s počítačem pomocí radiových a video spojů. Přestože se Shakey pohyboval velmi hlučně a neohrabaně, na svou dobu byly tyto dovednosti úžasné. Tato slova byla pronesena viceprezidentem pro operace a technologie v Tech Inovace Gregem Brownem. [4]

První plně elektrický, mikroprocesorově řízený průmyslový robot, IRB 6 od společnosti ASEA

IRB 6 byl vyvinut v letech 1972-1973 a poprvé byl uveden na trh v srpnu 1973. Zakoupil jej Magnussons v Genarp, aby byly voskované a leštěné trubky z nerezové oceli ohybem 90°. Pohyb jeho paží napodoboval lidské rameno. Maximální užitečné zatížení bylo 6 kg a mohl se pohybovat pěti osami. Řídící jednotka S1 byla první, která používala Intel 8 bitový mikroprocesor. Kapacita paměti byla 16 kB. Řídící jednotka měla 16 digitálních vstupů a výstupů a byla naprogramována na 16 tlačítek a čtyřmístný LED displej. [11]



Obr. 6 Robot IRB 6 [11]

Programovací jazyk AML

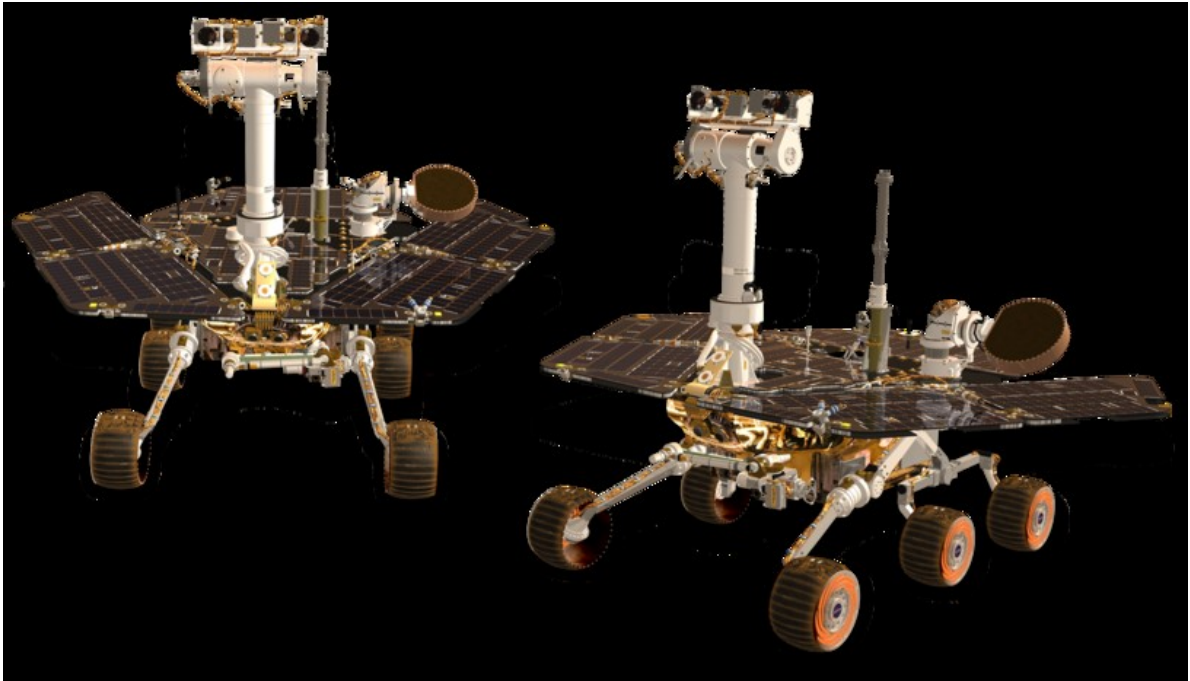
V roce 1982 byl ve společnosti IBM vyvinut programovací jazyk pro programování robotů AML. Byl výkonný a snadno použitelný. Programovací jazyk byl vyvinut IBM speciálně pro robotické aplikace. [11]

Nejrychlejší montážní robot (IRB 1000)

V roce 1984 byl společností IBM vyroben nejrychlejší montážní robot IRB 1000. Byl vybaven svislým ramenem a robotem koncového efektoru. Výhodou robota byla možnost rychle pracovat na velké ploše. Byl to o 50 % rychlejší než konvenční roboty. [11]

Roboti na Marsu

V roce 2003 byli vysláni dva roboti na Mars. Mise byla pojmenována Mars Exploration Rover Mission a jména robotů byla Spirit a Opportunity. Tito roboti měli zajistit průzkum planety Mars, zejména její povrch a geologické vlastnosti. [11]



Obr. 7 Spirit a Opportunity [29]

První robot s vysokým výkonem

V roce 2007 byl firmou Kuka představen doposud nejsilnější robot s užitečným zatížením až 1000 kg. Tímto se otevírají nové možnosti při použití robotů ve výrobě.

První humanoidní robot ve vesmíru

V roce 2011 je vyslán na mezinárodní kosmickou stanici robot Robonaut R2B. R2 je první humanoidní robot ve vesmíru. Napřed byl R2 nasazen na pevném podstavci uvnitř ISS. V dalších letech byl vylepšen mechanismem pro chození po chodbách uvnitř ISS a poté byl dále vylepšován, aby ho bylo možné použít i ve vesmíru mimo ISS. [11]

Umělá inteligence vítězí

15. března 2016 byl poražen mistr světa Lee Sedol systémem AlphaGo postaveným britskou společností DeepMind ve staré deskové hře Go. Jednalo se o významný milník v Deep Mindově výzkumu vytváření umělé inteligence, která se "naučí" jak řešit problémy bez ohledu na kontext, na rozdíl od předchozí verze Deep Blue, který je naprogramován pro konkrétní případ použití. [12]



Obr. 8 AlphaGo vs Lee Sedol [12]

2 BEZPEČNOST ROBOTŮ A POSOUZENÍ RIZIK

Mezi nezbytné znalosti pro návrh a práci s roboty a robotizovanými linkami patří soubor technik a postupů, který musí být správně aplikován, aby bylo dosaženo u vyvíjeného robotického mechanismu správné úrovně ochrany obsluhy a okolí. Kvůli těmto požadavkům byly v EU vydány základní předpisy, díky kterým je určena úroveň ochrany, která musí být při vývoji nového robotického zařízení splněna. Než je robot nebo robotické zařízení uvedeno na trh, musí splňovat všechny právní předpisy EU. Z důvodu stále nových poznatků v tomto oboru byla ustanovena právní domněnka, která říká, že když jsou splněny technické normy, jsou zároveň splněny i právní povinnosti uloženy právním předpisem EU, ke kterému je norma vztažena. Pokud se jedná o výrobek dovážený ze země mimo EU, je nutnost získat prohlášení o shodě a evropskou značku shody CE. [13]

2.1 Legislativní požadavky na bezpečnost robotických systémů

Základní směrnice

Na robotické systémy jsou vztaženy směrnice EU. Nejdůležitější je Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2006/42/ES ustanovena dne 17. května 2006, která pojednává o strojních zařízeních. Když je tato směrnice aplikována na strojní zařízení, je vykládána takto:

- Zařízení, které je vybaveno, nebo má být vybaveno poháněcím ústrojím, v němž není použita přímo vynaložená lidská síla nebo zvířecí síla. Je sestaven z částí nebo mechanismů, z nichž aspoň jednomu je umožněn pohyb. Všechny části jsou spolu vzájemně spojeny a propojeny z důvodu přesně stanoveného použití.
- Zařízení uvedeno v předchozím bodě, kterému chybí pouze ty části, kterými je spojeno s místem použití, se zdrojem energie nebo zdrojem pohybu.
- Zařízení zmíněno v prvním nebo druhém bodě, které je připraveno k instalaci a je schopno vykonávat práci až po namontování na mobilní dopravní prostředek, nebo po instalaci v budově nebo na pevné konstrukci.
- Sestava zařízení, která jsou uvedena v prvním až třetím bodě anebo nekompletní strojní zařízení, která jsou sestavena a nastavena tak, aby pracovala jako jeden integrovaný celek za účelem dosažení stejného výsledku.
- Zařízení spojeno z částí nebo součástí, kde je alespoň jedné z nich umožněn pohyb. Kvůli zvedání břemen jsou tyto části a součásti spojeny do jednoho zařízení. Jako energie pro jejich pohyb je využita pouze lidská síla. [13]

Než je strojní zařízení uvedeno na trh, musí být výrobcem, nebo jeho zplnomocněným zástupcem zajištěno:

- Musí být splněny základní požadavky pro ochranu zdraví a bezpečnosti,
- musí být poskytnuta technická dokumentace,
- musí být zajištěny potřebné informace, které jsou obsaženy např. v návodu k použití,
- musí být provedeny nutné kroky k posouzení shody schváleným postupem,
- musí být vypracováno ES prohlášení o shodě a zajištěno přiložení tohoto prohlášení k zařízení,
- musí být přiděleno označené CE [13]

Technická dokumentace robotického systému

Pomocí této dokumentace musí být jednoduše prokázáno, jaké byly použity a splněny požadavky těchto směrnic. V technické dokumentaci je zahrnut návrh, výroba a funkce konkrétního robotického systému, v takovém rozsahu, aby bylo možno posoudit shodu s nutnými požadavky na ochranu zdraví a bezpečnosti. Vyhotovení technické dokumentace musí být předloženo v jednom z jazyků EU a musí zde být obsažena celková konstrukční a výrobní dokumentace, která je složena z těchto částí:

- Celkového popisu robotu a robotického systému,
- celkového výkresu robotu nebo robotických systémů se schémata ovládacích obvodů
- podrobných výkresů, popřípadě doplňujících výpočtů, výsledků zkoušek, certifikátů atd. Jejich předložení je nezbytnost ke kontrole shody robotu nebo robotických systémů,
- kompletní dokumentaci, ve které je obsaženo posouzení rizik, včetně uvedeného postupu s těmito náležitostmi:
 - Seznamy požadavků k ochraně zdraví, které byly použity a splněny,
 - záznam o ochranných opatřeních, které byly použity ke snížení, nebo zamezení rizik,
 - normy, které byly použity pro ochranu zdraví,
 - výrobcem vypracována technická zpráva s výsledkem zkoušek,
 - návod k obsluze robota nebo robotických systémů.

Výrobcem musí být prováděna nezbytná vyhodnocení a zkoušky na součástech zařízení, pomocí kterých je posouzeno, zdali je robot, nebo jeho součást správně navržena a

používána v souladu s bezpečnostními předpisy. Tyto výsledky jsou uvedeny v příslušné technické zprávě.

Ze zákona je podmínka, aby každá technická dokumentace byla k dispozici minimálně 10 let od posledního dne konce výroby zařízení. Pokud se jedná o sériovou výrobu, počítá se sem výroba poslední jednotky. Není nutnost uchovávat technickou dokumentaci ve fyzické podobě. [13]

ES prohlášení o shodě

Při vyhotovení ES Prohlášení o shodě jsou platné stejné ustanovení, jako při tvorbě návodů. Prohlášená musí být vyhotoveno strojově, nebo ručně psanými tiskacími písmeny. Toto prohlášení platí, jen když je zařízení ve stejném stavu, jako když bylo uvedeno na trh. Prohlášení není vztaženo na dodatečné zásahy a přidané součásti konečným uživatelem. V prohlášení o shodě jsou obsaženy tyto údaje:

- Obchodní firma a adresa výrobce stroje, případně zplnomocněného zástupce,
- jméno a adresa osoby jež má zodpovědnost za technickou dokumentaci,
- dokument, ve kterém je uveden název a popis zařízení,
- větu s prohlášením o shodě s předepsanými předpisy.

V národním právu ČR je obsažena směrnice 2006/42/ES prováděna pomocí nařízení vlády 176/2008 Sb. K provádění zákona č. 22/1997 Sb., v platném znění o technických požadavcích na výrobky.

Mezi další směrnice, kterými je specifikována základní bezpečnost robotických systémů je zařazena Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2014/35/EU o harmonizaci právních předpisů členských států týkajících se dodávání elektrických zařízení určených pro používání v určitých mezích napětí, dále je sem zařazena Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2014/30/EU o harmonizaci právních předpisů členských států týkajících se elektromagnetické kompatibility. [13]

2.2 Nebezpečí a rizika při vývoji robotických systémů

Každý výrobce je při návrhu a vývoji nového robota, nebo robotického zařízení povinen identifikovat všechna možná nebezpečí, které je vytvářeno tímto zařízením. Pro snazší práci konstruktéra jsou ve směrnících a harmonizovaných normách uvedeny časté případy nebezpečí, která jsou vztažena k tomuto zařízení. [13]

Mechanické nebezpečí

Mechanické nebezpečí je spojeno s celým robotickým systémem, ale i s jeho částmi, povrchy nebo také s koncovými efekty. Nebezpečí lze očekávat i při manipulaci nebo zpracování materiálu, kde může být vymrštěn pevný materiál, nebo může dojít k vystříknutí kapaliny. Jsou tak způsobeny často škody na zdraví, které jsou spojovány s těžkými následky. Jsou sem zařazeny tyto úrazy:

- Pořezání, nebo uříznutí,
- zachycení, nebo vtažení,
- probodnutí, nebo píchnutí,
- naražení, nebo otlačení. [13]

Jako příčina těchto zranění je uvedeno několik příkladů:

- Je nechtěně uvolněn, nebo vymrštěn manipulovaný materiál,
- stroj je nečekaně uveden do pohybu,
- část stroje je neočekávaně zlomena,
- je nečekaně uvolněna akumulovaná potenciální energie. [13]

Elektrická nebezpečí

Tato zranění jsou způsobena stykem s vysokým napětím a v mnoha případech jim je přisuzován tragický dopad. Při zasažení elektrickým proudem je u zasažené osoby pozorován šok, popáleniny nebo poranění od vystřelených roztavených částic. Zranění bývají způsobena:

- Dojde k dotyku osoby na části zařízení pod napětím,
- když je zvolena nesprávná izolace,
- když je nedopatřením provedena záměna silnoprůdého a slaboprůdého napětí. [13]

Tepelné nebezpečí

Při působení tepelného nebezpečí mohou být způsobeny vážné popáleniny. Popáleniny jsou způsobeny, když přijde pokožka do styku s velmi horkými předměty. Nejčastěji jsou takové úrazy způsobeny v těchto případech:

- Horké předměty jsou spojeny s koncovými efekty, např. když je prováděno svařování, nebo dělení materiálu,
- když je překročena koncentrace výbušnosti některých látek v ovzduší, např. při pěchování,
- při technologickém procesu odlévání. [13]

Nebezpečí způsobeno hlukem

Když je identifikováno nebezpečí, které je tvořeno hlukem, je brán v úvahu jak hluk, který se šíří vzduchem, ale i hluk, který se šíří v pevných a kapalných látkách. S hlukem jsou spojovány tyto následky:

- Ztráta sluchu,
- odvádění pozornosti a únava,
- stres. [13]

Nebezpečí způsobené vibracemi

Dlouhodobým působením vibrací může být způsobeno vážné poškození bederní krajiny a páteře, nebo mohou způsobovat neurologická poškození a jsou jimi zasaženy ruce, paže a klouby. Vznik těchto onemocnění je přisuzován:

- Přímému kontaktu se zdrojem vibrací,
- součásti jsou nesprávně, nebo neodborně namontovány. [13]

Kombinované nebezpečí

I za působení méně významných nebezpečí může být způsobeno zranění, když jsou tato nebezpečí nevhodně kombinována. Proto je důležité, aby byl brán zřetel i na méně důležité a na první problém nezávažné problémy.

3 ROZDĚLENÍ PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ A MANIPULÁTORŮ

Jako průmyslový robot je uváděn automaticky řízený stroj, který je používán člověkem pro zpracování látek, informací a energie, případně je využit ke změně prostředí člověka. Je využit jako obsluha obráběcího, zpracovatelského nebo obráběcího stroje, nebo je využit jako náhrada člověka ve výrobním procesu. Od ostatních zařízení se průmyslový robot liší:

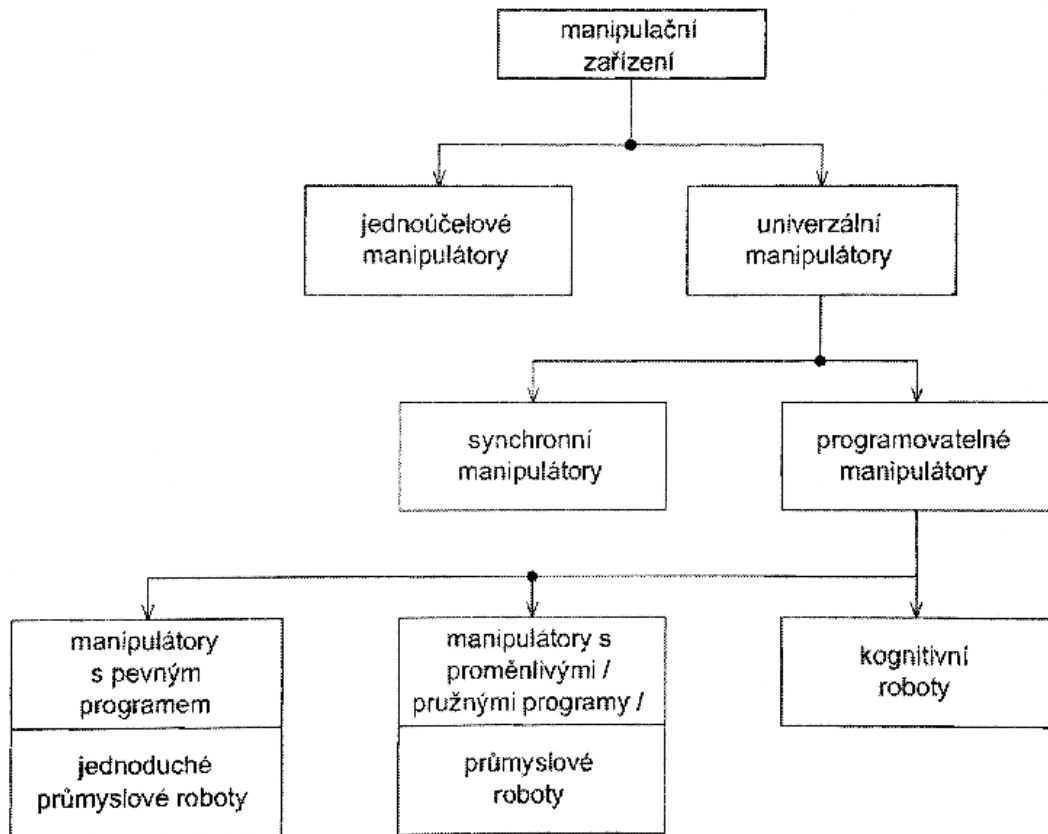
- Je schopen se přizpůsobit různým výrobním požadavkům,
- je osazen efektozem, který je upevněn na pohyblivém rameni
- je vybaven pamětí, k uložení automatizovaného postupu práce
- lze jej programovat. [14]

Rozdíl mezi roboty a manipulátory

Názvem manipulátor je občas v některých případech označován průmyslový robot. Slovo manipulátor je odvozeno od latinského názvu manus, což znamená ruka nebo rameno a je používán obecně pro zařízení, pomocí kterých je napodobena funkce lidského ramene. Manipulátorem se rozumí říditelné rameno, jehož pohyb v případě průmyslového robotu lze naprogramovat a trvale opakovat [14]

Do sekce univerzálních manipulátorů jsou zařazeny synchronní manipulátory. Tyto manipulátory umí pracovat se systémem MASTER-SLAVE, který dokáže předávat podněty mezi operátorem a manipulátorem. Je sem například zařazena práce, kterou je možno brát jako pro člověka nebezpečnou, nebo nedostupnou. Nejdůležitější větev, což jsou programovatelné manipulátory je rozdělena na tři generační větve:

- 1. generace – průmyslové roboty s pevným programem
- 2. generace – průmyslové roboty s proměnným programem
- 3. generace – kognitivní roboty [15] [16] [10]



Obr. 9 Rozložení manipulačních zařízení [13]

Není pravidlem, že jsou roboty nižších kategorií vystřídány roboty vyšších kategorií a novějších typů. Vyšší kategorie robotů mají větší ekonomickou náročnost. Byl by tak překročen limit ekonomické náročnosti ve výrobě. [15]

3.1 Rozdělení dle generací

V současné době jsou roboty rozděleny do třech základních skupin. V další části jsou tyto skupiny popsány.

1. generace – průmyslové roboty s pevným programem

Jsou to programovatelné roboty, ve kterých je uložen program s pevně určeným pohybem, který má robot vykonávat. První generace robotů je určena především pro jednoduché aplikace, kde je předmět zdvižen, přesunut a položen neboli „pick and place“. Pro změnu pohybu nebo trajektorie je nutno změnit i kód programu. Tento program je naprogramován velmi jednoduše a může být i jednoduše změněn, tato vlastnost činí roboty první generace univerzálními. Do této kategorie lze zařadit roboty, kterým je naprogramován pokyn udělej a ověř, které bývají vybaveny jednoduchými senzory. [13] [15] [16]

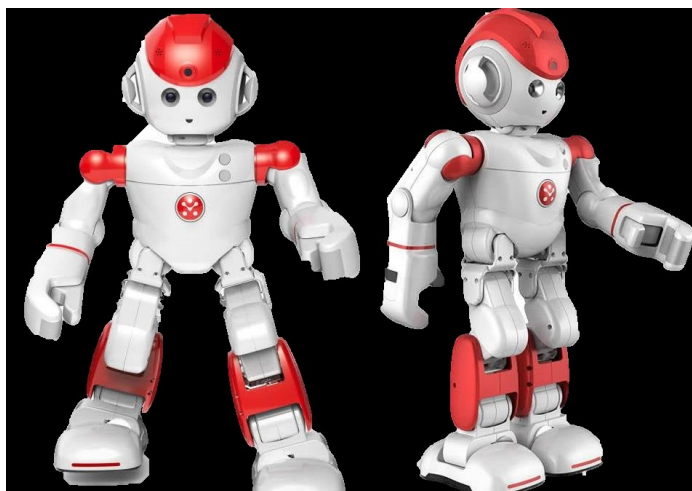
2. generace – průmyslové roboty s proměnným programem

Tyto roboty jsou vybaveny vnímáním. Jejich odlišnost od první generace robotů je především ve větším sortimentu a počtu senzorů, které mohou být použity. Jsou sem zařazeny senzory vnější, jako jsou optické a hmatové senzory, ale i vnitřní, do kterých jsou zařazeny snímače tlaku, polohy nebo momentu. I ovládání takového robota je daleko složitější. Na rozdíl od první generace už zde není řízen jen pohyb robota, ale je zde nutný řídicí počítač, který je schopen vyhodnocovat údaje ze senzorů. Tyto roboty jsou opatřeny koordinačním systémem. Tento systém je řízen sensoricky a je nazýván oko – ruka z anglického názvu „eye – hand“. [13]

3. generace – kognitivní roboty

Do této kategorie jsou zařazeny inteligentní roboty. Jejich odlišnost od druhé generace robotů je především ve složitosti a objemu systému, kterým je robot řízen. Jsou sem zahrnuty umělé inteligence. Inteligentními roboty lze imitovat pracovní činnost člověka, ale lze jimi napodobit i lidskou intelektuální činnost. Typickou vlastností těchto robotů je jejich učenlivost a adaptování se, když je řešena určitá úloha. Třetí generace robotů je vybavena základní inteligencí, aby byl robot schopen manipulovat se součástkami. [13]

Typickým příkladem je robot Alpha 2. Robot Alpha 2 je vybaven inteligentním operačním systémem a softwarem, který je upravován podle představ jeho majitele. Robotův mozek je propojen s cloudovým úložištěm na internetu, čímž je mu umožněno využívat poměrně větší zvukový a vizuální výkon. Díky tomu je robot schopen řídit kalendář, telefon, aplikace a dokáže monitorovat celou domácnost. Schopnosti robota jsou omezeny jenom softwarem a informacemi, které může robot využívat. [17]



Obr. 10 Inteligentní robot Alpha 2 [17]

3.2 Rozdělení dle kritérií

Z hlediska funkčnosti je robot dělen do mnoha kritérií. Nejběžnější kritéria jsou popsána níže.

Podle morfologie robotu

V závislosti na konstrukčních částech, které jsou použity v kinematické struktuře robotu je odvozena jeho morfologie. Velmi významnou veličinou při rozlišování robotů je počet jeho stupňů volnosti. Nejčastěji jsou používány roboty s pěti až šesti stupni volnosti. Například inteligentní roboty, jako je Shakey, který je zmíněn v úvodu této práce, má pouze tři stupně volnosti. Lze tedy odvodit, že počet stupňů volnosti není stěžejní pro učení kvality a úroveň robotu. Počtem stupňů volnosti je pouze vyjádřena schopnost manipulace s objekty. [13]

Roboty lze rozdělit následovně:

- Univerzální robot – 6 stupňů volnosti, je vymezena poloha a orientace manipulovaného předmětu v kartézském souřadnicovém systému,
- redundantní robot – více, než 6 stupňů volnosti, je využívána větší volnost k lepší manévrovatelnosti na malém prostoru,
- deficitní robot – méně, než 6 stupňů volnosti obvykle se třemi až čtyřmi stupni volnosti, je prováděna montáž v rovině. [16] [10]

Podle velikosti a hmotnosti

Je zde přímá souvislost s návrhem konkrétního robotu a s jeho zamýšleným využitím ve výrobě. Konstruktor je z konstrukčních důvodů nucen, aby byly pohybuující se části co možná nejlehčí, ale přitom byla zachována pevnost a tuhost robotu. [13]

Podle dosahované přesnosti

Důležitým údajem je dosahovaná přesnost průmyslového robotu. Průmyslový robot je zařazen mezi otevřené kinetické mechanismy, tudíž je jeho přesnost asi 100x menší, než u výrobních strojů, i když jsou použity podobná ústrojí. Běžná opakovatelná přesnost u robotů je stanovena někde mezi 1–5 mm. Můžeme nalézt ale i výjimky, jako je například robot unimate, který je schopen ukládat předměty s přesností $\pm 0,01$ mm. Tento robot je využíván pro vkládání součástek do sklíčidla na soustruhu. Důležitým faktorem pro přesnost robotu je jeho zatížení, každý robot je schopen zaručit přesnost jen do předepsaného zatížení. [13]

Podle způsobu pohonu

Pohon robotu nebo manipulátoru je vždy volen podle požadavků zákazníka a vhodnosti použití v konkrétním případě. Manipulátory a průmyslové roboty jsou poháněny následujícími pohony:

- Mechanický
 - U mechanického pohonu není koncový efektor opatřen vlastním pohonem, ale je poháněn pohonem z jiného stroje. Nejčastěji je využit pohon od výrobního stroje, který je obsluhován manipulátorem. Mnohdy je ale také využit pohon od jiného manipulátoru, se kterým je uvažovaný manipulátor v kooperaci. [18]
- Pneumatický
 - Pneumatický pohon je využíván zejména tam, kde je třeba menších výkonů a jednodušších pracovních cyklů. Pracovní tlak je udáván v rozmezí 5–7 bar. Ideálním tlakem je hodnota 6 bar. Hlavní výhodou je možnost dosáhnout rychlých přímočarých pohybů s velkým zdvihem, konstrukční jednoduchost, snadná údržba, spolehlivost, možnost provozu ve výbušném prostředí. Nicméně u pneumatického pohonu je i několik nevýhod, jako například obtížnost řízení rychlosti pohybu nebo obtížnost mazání. [18] [10]
- Hydraulický
 - Poslední dobou je tento pohon vytlačován pneumatickými pohony, nicméně tento pohon má stále řadu výhod, díky kterým je stále používán. Mezi výhody patří zejména: nízká hodnota poměru hmotnosti a výkonu, malá hmotnost pohybujících se částí, konstrukční kompaktnost a malé rozměry, snadné řízení tlaku, i proudu kapaliny nebo plynulý chod [18]
- Elektrický
 - Elektrický pohon je využíván častěji než hydraulický, nevýhodou tohoto pohonu je obtížnější realizovatelnost přímočarého pohybu. Výhodou je využití typizovaných elektromotorů, které jsou vyráběny u pro jiná strojní zařízení. Výhodou je přístupnost energie ze sítě, a tudíž odpadá povinnost vlastnění vlastního zdroje energie. [18]
- Kombinovaný, [13] [16]

Podle hmotnosti břemene

Nejzákladnějším parametrem pro návrh robota nebo manipulátoru je hmotnost břemene. Lze podle jeho hmotnosti zjistit užší okruh použitelných nebo doporučených robotů. Hmotnosti břemene jsou rozděleny základních řad a složích, jako přehledná tabulka. Ke hmotnosti břemene je započítávána i hmotnost koncového efektoru, což nesmí být nikdy opomenuto.

Tab. 1 Typové řady bývalých československých robotů [13]

Řada nosností [kg]	1,0	4,0	16	32	63	
Představitelé		PR 4P	PR 16P	PR 32E	M 63	
Pozdější řada [kg]	1,0	2,5	5	10	20	40
Představitelé		APR 2,5	ROBOMATIC 05	SPR 10	APR 20	APR 40

Podle způsobu použití

Roboty jsou nejčastěji rozděleny do dvou základních skupin podle toho, jakou zastávají funkci.

- Průmyslové roboty
 - Jsou roboty řízeny počítačem, lze měnit jejich program a jsou tedy poměrně univerzální. Jsou vybaveny senzory, jako jsou doteková čidla nebo vizuální senzory. Jsou využívány ve výrobním průmyslu.
- Servisní roboty
 - Jsou využívány pro činnosti spojené s obsluhou. Můžeme sem zařadit činnosti ve zdravotnictví, stavebnictví, jaderném průmyslu, hlídání objektů, nebo pro vojenské účely. [16]

4 MAGNETICKÁ CHAPADLA

Magnetická chapadla nejsou ve slévárenském průmyslu často používány, kvůli měnícím se magnetickým vlastnostem materiálu při změně jeho teploty. Magnetická chapadla ale můžeme v průmyslu vidat poměrně často. Používají se například při manipulaci již s hotovými výrobky nebo polotovary při pokojové teplotě.

Magnetická chapadla jsou používána tehdy, když je manipulovaný předmět zhotoven z oceli. Pomocí magnetických chapadel lze manipulovat s různými rozměry materiálu, lze je uchopit rychle. Výhodou je snadné uchopení široké škály tvarů výrobků včetně předmětů s otvory. Při použití magnetického chapadla se musí brát v úvahu:

- Předměty mohou lehce klouzat,
- špína může snížit zdvihací sílu,
- mohou být zachyceny i kovové částice (hoblíny, špony). [19]

4.1 Magnetické upínání manipulovaného předmětu

Magnetická chapadla jsou nejčastěji používány na robotu jako koncové efekторы pro uchopení železných materiálů. Jedná se o jiný typ manipulace s jinými pracovními díly, než mohou být mechanické uchopovače a vakuové uchopovače. [21]

Funkce magnetické upínací síly

Základem magnetu nebo magnetického systému je produkce velkého počtu siločar. Těmito siločarami je tvořeno magnetické pole. Směr protékání siločar je od severního pólu na jižní pól a manipulovaný předmět, který je součástí daného magnetického okruhu. Pomocí manipulovaného předmětu je přemostěna vzdálenost mezi jižním a severním pólem. Čím větší upínací síla je vyvíjena, tím více je potřeba procházejících siločar. Pro získání maximálního množství procházejících siločar přes manipulovaný materiál jsou nezbytné znalosti o tom, jak jsou vedeny magnetické siločáry. [20]

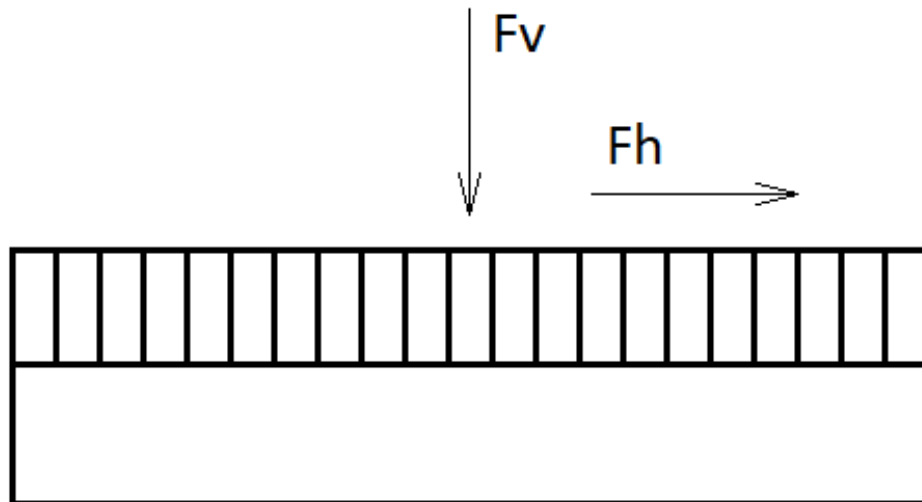
Hlavní zákony siločar

1. Šíření magnetických siločar je ze severního pólu na jižní pól.
2. Magnetické siločáry nemají žádný izolátor, jsou schopny procházet všemi materiály.
3. Průchod magnetických siločar je snadný feromagnetickými materiály, zatímco průchod vzduchem je obtížnější.

4. Magnetické siločáry nejsou nikdy překříženy. [20]

Upínací síla magnetu

Magnetické siločáry jsou tvořeny uzavřenou smyčkou, jedna smyčka je vždy tvořena jednou siločárou. Siločára tak nemá žádný konec, ani začátek.



Obr. 11 Působení síly

F_v je svislá upínací síla, když je magnetické chapadlo v činnosti. F_h je síla kluzná, závislost její síly je ovlivněna odporem vůči klouzání. Kluzná síla F_h je funkcí svislé upínací síly (tažné síly), protože je závislá na tření mezi manipulovaným materiálem a povrchem chapadla. Je vycházeno ze vzorce:

$$F_h = F_v \cdot f \quad (1)$$

kde je f koeficientem tření. Koeficient tření oceli je určen přibližně 0,2. Ocel má vůči oceli koeficient tření přibližně 0,2. Když je tato hodnota dosazena do vzorce, je vypočítáno, že velikost kluzné F_h síly je pětina velikosti upínací síly F_v . [20]

Faktory ovlivňující sílu upnutí

- Druh materiálu
 - Vedení toku magnetických siločar je velmi snadné v ocelích, které mají nízký obsah uhlíku. Ve slitinách materiálů jsou však obsaženy i nemagnetické prvky, pomocí kterých je zabraňováno toku magnetických siločar. V litině dochází k velké redukci toku magnetických siločar, důsledkem této redukce je, že litina je přitažena jen 45 % síly, kterou je přitahována ocel, která má nízký obsah uhlíku.

- Tloušťka materiálu
 - Tloušťka manipulovaného materiálu je důležitým faktorem pro velikost upínací síly. Pokud je manipulovaný materiál příliš tenký, může být omezen počet siločar, které protékají od severního k jižnímu pólu. Tento jev je pozorován v případě, pokud je tloušťka manipulovaného materiálu menší než šířka pólu magnetu. Dochází pak k tomu, že nejsou využity všechny siločáry, které mohou protékat manipulovaným materiálem a přebytečné siločáry působí mimo dráhu manipulovaného materiálu a nepřispívají tak k upínací síle.
- Vzduchová mezera
 - Pokud je mezi manipulovaným materiálem a magnetickým chapadlem vytvořena vzduchová mezera, je razantně snížena upínací síla magnetu. V případě, že manipulovaný materiál není v přímém kontaktu s magnetem, je omezen počet protékajících siločar a síla upnutí bude menší. Mezera může být způsobena papírem, nečistotou, rzí, barvou a okujemi.
- Kontaktní plocha
 - Pro dosažení maximální upínací síly magnetického chapadla musí být plocha magnetu pokryta co nejvíce plochou manipulovaného materiálu. Když není plocha manipulovaného materiálu dostatečně veliká, měla by být rozdělena tak, aby zakrývala stejnou měrou plochu severního a jižního pólu magnetu k dosažení co možná největší upínací síly.
- Teplota
 - Permanentní magnety mají vlastnost, která je nazývána negativní teplotní koeficient. Znamená to, že kapacita permanentního magnetu je snížena za vyšších teplot. Při teplotě 50 °C se dá očekávat snížení kapacity a tím i upínací síly asi o 10 %. [20]

4.2 Druhy použitých magnetů

Podle typu magnetického chapadla mohou být použity ocelové magnety (Ticonal, Alnico), neodymové magnety (NdFeB) nebo ferritové magnety (FXD)

V následující tabulce jsou uvedeny charakteristické vlastnosti některých magnetů. Zvláštní pozornost by měla být věnována teplotnímu koeficientu. [20]

Tab. 2 Vlastnosti magnetů [20]

Magnetický materiál	Remanence	Koercitivita	Teplotní koeficient remanence	Curierova teploty	Maximální provozní teplota
	B_r [mT]	H_C [kA/m]	B_R [%/°C]	t_C [°C]	t_p [°C]
TIC 600	1310	54,1	-0,02	860	350
FXD 330	370	239	-0,2	450	350
RES 190 (SmCo)	890	6701	-0,3	720	250
RES 270 (NdFeB)	1100	750	-0,14	310	140

4.2.1 Elektromagnetické

Řešení manipulačních chapadel elektromagnety je významné i v tomto období díky charakteristickým vlastnostem, které nabízí. Je umožněno jednoduché ovládání a uvolnění manipulovaného předmětu, ale může zde být vysoký zbytkový magnetismus. Elektromagnety mohou být navrženy tak, aby měly větší zdvihací výkon než magnety permanentní zvýšením velikosti cívky a elektrického výkonu (napětí · proud). Je možno regulovat velikost upínací síly, která poté odpovídá mnoha požadavkům. Nejnovější elektromagnety jsou osazeny hliníkovými anodizovanými cívkami, které mají vysokou odolnost izolační hmoty a jsou vybaveny neutrálním ráme magnetu. [19] [23]

Jeřábový elektromagnetický uchopovač

Elektromagnetické chapadlo je složeno ze zdroje, který je umístěn na jeřábu, napájecích kabelů pro přenos stejnosměrného napětí od zdroje do elektromagnetu. Elektromagnet by měl být ještě vybaven záložním zdrojem pro zajištění náhradního napájení v případě výpadku elektriny. Elektromagnet je považován za stabilní zařízení, které je určeno pro i pro vícesměnné provozy a je zde stanoven teplotní limit břemene 600 °C. [23]

Jeřábové chapadlo se používáno nejčastěji v těchto třech oblastech:

- Při manipulaci svazků profilů, trubek nebo tyčí. Chapadlo je schopno manipulovat s jedním nebo více svazky manipulovaného materiálu najednou. Je zde podmínka, aby byl manipulovaný materiál spáskován nosnými pásky.



Obr. 12 Manipulace trubek [23]

- Při manipulaci svazků plechů. Je tak přenášeno více plechů najednou. Výhodou je možnost tzv. listování plechů, což je krátkodobé snížení výkonu elektromagnetu v uchopovači, které slouží k oddělení spodního plechu.
- Pro manipulaci šrotu. Je využíváno zejména na vrakovištích, při demolici staveb se železnou konstrukcí atd. [23]



Obr. 13 Manipulace železného šrotu [23]

4.2.2 S permanentní magnety

Permanentní magnet je ovládán pneumaticky, magnet je přesouván uvnitř jeho těla z aktivní do neaktivní části. Nehrozí zde zbytkový magnetismus. Tento způsob je vhodné využít v nebezpečných oblastech, protože při pneumatickém ovládní magnetů nehrozí vznik jiskření. Jsou také levnější než elektromagnety.

Magnetické chapadla jsou používána v různých odvětvích, kde je ve výrobcích, nebo jejich součástech obsažena ocel. V nejnovější aplikaci magnetických chapadel je zahrnuta manipulace s materiálem, paletizace, vykládání automobilových dílů a paletování výrobků, jako jsou plechovky na barvy a rozpouštědla a další plechové nádoby. [19] [21]

Výhody:

- Toto chapadlo vyžaduje pouze jeden povrch pro uchopení materiálů,
- uchopení materiálů je prováděno velmi rychle,
- nevyžaduje samostatné provedení pro manipulaci s různými rozměry materiálů,
- je schopen uchopit materiály s otvory, což není u vakuových chapadel možné. [21]

Nevýhody:

- Uchopený materiál může vyklouznout, když se rychle pohybuje,
- olej a nečistoty na povrchu můžou snížit sílu chapadla. [21]

Ruční manipulátory

Ruční manipulátory slouží pracovníkům k ulehčení práce s plechy a jiným manipulovaným materiálem. S tímto manipulátorem plech lze snadno otáčet, posouvat a jinak manipulovat. Výbornou vlastností je možnost odmagnetovat tyto manipulátory tak, že je přitažena odmagnetovací páka k tělu manipulátoru. Je tak vytvořena vzduchová mezera, která je dostačující k tomu, aby nedocházelo k toku siločar manipulovaným materiálem. Pomocí tohoto zařízení je možno jednoduché vypnutí manipulátoru a nemusí tak docházet k náročnému oddělování magnetu od plechu nebo manipulovaného materiálu. Použití tohoto ručního manipulátoru je velmi snadné a pohodlné. [22]



Obr. 14 Ruční manipulátor plechů [22]

Břemenové magnetické manipulátory

Břemenový magnetický uchopovač je určen k manipulaci s materiálem, který je plochý nebo kruhový. Nejčastěji je použit ve skladech, v dílnách, u kovoobráběcích strojů nebo při manipulaci s formami.

Jsou zde použity velmi silné neodymové magnety NdFeB, díky kterým je dosaženo velkého výkonu i přes malé rozměry břemenových magnetických uchopovačů [22].



Obr. 15 Permanentní břemenový uchopovač [22]

Micropitch – Neomicro

Permanentní uchopovač, který má husté příčné pólování 1,4 mm z oceli a 0,5 mm z mosazi. Tento uchopovač je zejména vhodný pro opravdu tenké (0,5 mm) a malé dílce. Je využíván hlavně v elektronickém průmyslu nebo v odvětví jemné mechaniky.

Neofine

Permanentní uchopovač, který má hrubé příčné pólování 7 mm z oceli a 2 mm z mosazi. Tato velká rozteč pólů zajišťuje výbornou upínací sílu pro velké plochy.

V obou těchto uchopovacích je obsažen takzvaný neodymový magnet, který se vyznačuje velikou produkcí energie, tudíž vyžaduje jen malý prostor oproti jiným typům magnetů. [20]

4.2.3 Elektropermanentní magnety

Tento typ chapadla je relativně mladý ve srovnání s elektromagnetickými chapadly vyráběnými od roku 1896 a permanentními magnetickými chapadly vyráběnými od roku 1936. Elektropermanentní chapadlo bylo vyvinuto ke konci padesátých let minulého století a bylo uvedeno na trh v roce 1963.

Elektropermanentní magnetické chapadlo je permanentní chapadlo. Magnetická upínací síla není nezávislá na okolním zdroji energie. Je vyžadován jeden nebo několik elektrických impulsů, aby byla zapnuta, nebo vypnuta magnetická energie. V momentě, kdy je chapadlo zmagnetizováno, může být řídicí jednotka odpojena a chapadlo zůstane zmagnetizováno neomezeně dlouhou dobu. V elektropermanentním chapadle nejsou obsaženy pohyblivé části a je tak považováno za jeden kus. [20], [21]

5 METODIKA NÁVRHU MAGNETICKÉHO CHAPADLA

Hlavním pravidlem pro správné navržení chapadla je provedení rozboru procesu uchopení manipulovaného materiálu nebo polotovaru. Prvořadým úkolem celého návrhu je celková analýza problematiky procesu. Jakékoliv chyby nebo nedostatky, které jsou známy již z předchozích aplikací, nebo podobných návrhů by měly být eliminovány vylepšujícími řešeními. Je tak snížena ekonomická náročnost, která by nastala při pozdějším odstraňování těchto chyb.

Při navrhování je potřeba brát v potaz správné uchopení předmětu o specifickém tvaru se specifickými fyzikálními vlastnostmi. V průběhu dráhy a manipulace objektu dochází často k různým působením, jako jsou například silové nebo tepelné. Proto je zapotřebí všechny tyto faktory zohledňovat. [16], [24]



Obr. 16 Posloupnost návrhu koncového efektoru [16]

Jako další faktory jsou zde zařazeny provozní podmínky určitého robotu, který je připraven pro umístění navrhovaného uchopovače nebo chapadla. Je třeba být obeznámen s

počtem stupňů volnosti nebo rozměry, které robot potřebuje pro svůj pracovní prostor, aby byla jeho dráha pohybu z výchozího bodu A do konečného bodu B, plynulá a nepřerušovaná. U každého robota je také uvedena jeho maximální nosnost, která je vztažena na koncový bod ramene a do váhy břemene je započítána i samotná hmotnost chapadla, proto je nutné, aby bylo chapadlo navrženo tak, aby bylo co nejlehčí, při zachování své tuhosti. [24]

Každý proces manipulace materiálu se skládá ze tří hlavních částí: Uchopení, přesun a umístění. V každé části je potřeba dbát na specifické nároky a podmínky. [16]

5.1 Objekt manipulace

Jako objekt manipulace je brán předmět, jako je například výstřik, obrobek, výlisek, výkovek nebo z části složený výrobek, který je přemístěn k dalšímu zpracování. Ke správnému návrhu uchopovače nebo chapadla, případně jeho čelistí je potřeba předem znát manipulovaný materiál nebo polotovar. Pokud je zjištěno, že je tvar příliš složitý a nelze ho realizovat jedním způsobem, musí být zvolen jiný způsob a je tak ušetřeno mnoho nákladů při návrhu nevhodného chapadla. [24]

Je důležité znát rozměry, hmotnost a materiál manipulovaného předmětu.

Rozměry

- Geometrické rozměry (šířka, délka, výška, tloušťka, průměr), případně rozsah hodnot základních rozměrů.
- Hmotnost manipulovaného materiálu musí splňovat váhové limity robotu. Důležitý je také tvar manipulovaného materiálu. Nejlépe je uchopován tvar jako je krychle, kostka nebo válec. Složitěji je uchopována koule nebo tvarově složitý polotovar.

Těžiště

- Je brán v potaz rozměr materiálu v místě uchopení.

Materiál

- Fyzikální a mechanické vlastnosti materiálu, jako pružnost, pevnost a tekutost.
- Magnetické vlastnosti u kovových materiálů.
- Teplota, tepelná vodivost a elektrická vodivost.

Struktura povrchu

- Upínací síla je ovlivněna jakostí a čistotou povrchu, důležitou roli hraje také součinitel tření daného materiálu [16]

5.2 Výpočet magnetické síly

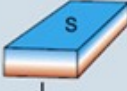

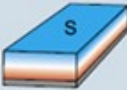
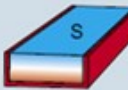
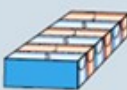

Výpočet je ovlivněn řadou faktorů, nicméně je důležité, aby byl před manipulací materiálu proveden alespoň orientační výpočet.

5.2.1 Vzdálenost magnetu od podložky

Mezi nejvíce žádané informace o trvalých permanentních magnetech je zařazen dotaz na velikost přídržné síly. Tato otázka velmi pochopitelná, neboť jsou tyto magnety použity jako držáky, fixační nástroje nebo břemenové magnety. [33]

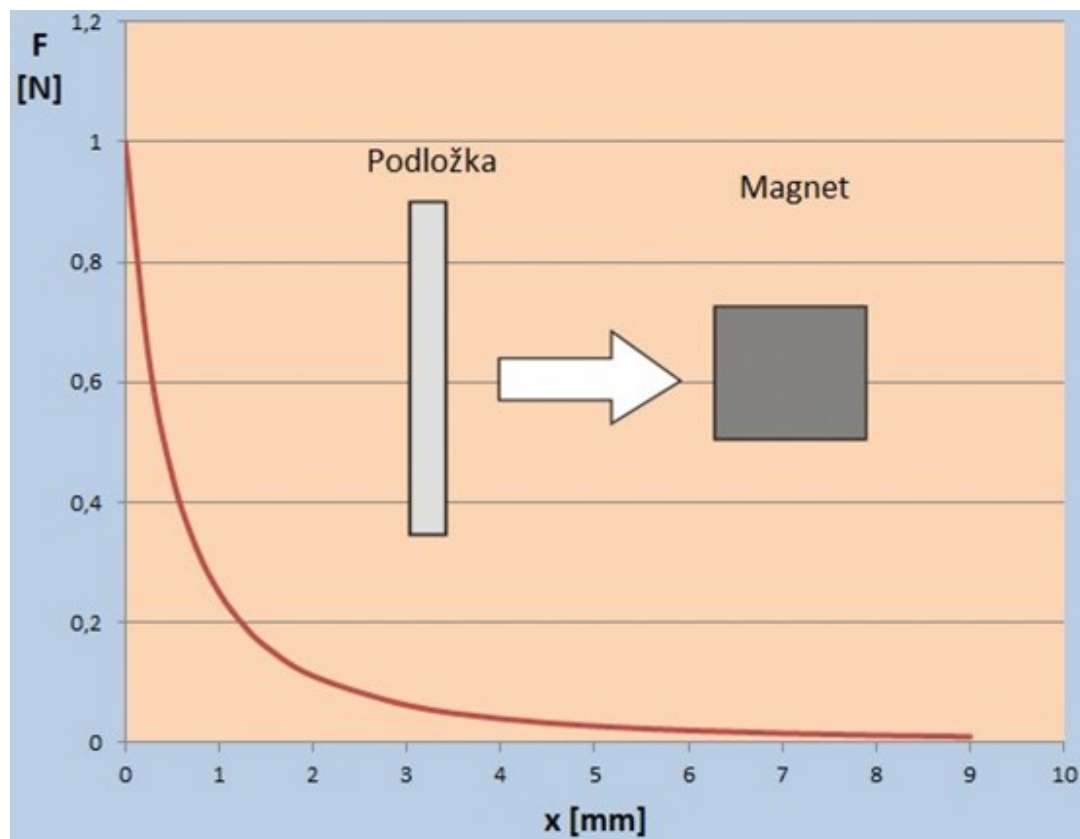
I když je použit stejný druh a objem materiálu pro výrobu permanentního (trvalého) magnetu, může být dosaženo různé upínací síly vhodným způsobem magnetování, nebo použitím pólových nástavců, které jsou přiloženy na tělo permanentního magnetu.

Níže jsou uvedeny příklady hodnot parametrů některých permanentních magnetů. Tyto hodnoty jsou vztaženy na anizotropní magneticky tvrdé ferity. Kromě znázorněných příkladů, které platí pouze pro určité aplikace, existuje mnoho dalších variant. Přídržná síla je jen orientační a její velikost je závislá na tloušťce pólových nástavců, jak je uspořádán magnetický systém a na objemu samotného permanentního magnetu. [32]

obrázek	způsob magnetování	faktor přídržné síly	obrázek	způsob magnetování	faktor přídržné síly
	promagnetováno	1		magnetování jednostranné vícepólové s pólovým nástavcem	3,5
	promagnetováno s nástavce z měkkého železa	1,3		promagnetování s pólovým nástavcem ve tvaru „U“	5,8
	magnetování jednostranné (vícepólové)	3		promagnetování se dvěma pólovými nástavci	8

Obr. 17 Možnosti uspořádání pólů magnetů [32]

Na následujícím obrázku je zobrazen graf, kde je uvedena přídržná síla permanentního magnetu, který je promagnetován. Z grafu lze rozpoznat, že již od vzdálenosti 1 mm je ztraceno přes 70 % síly permanentního magnetu. Podobným vztahem je určena i interakce více permanentních magnetů mezi sebou. [32] [33]



Obr. 18 Závislost přídržné síly na velikosti vzduchové mezery [33]

Velikost přídržné síly je ovlivněna nejvíce vzdáleností samotného magnetu od podložky z oceli. Tato závislost je popsána Maxwellovou rovnicí [33]

$$F = \frac{F_m^2 \cdot \mu_0 \cdot S}{(2x^2)} \quad (1)$$

F – přídržná síla

F_m – magnetomotorická síla

μ_0 – permeabilita vakua

S – styčná plocha magnetu s podložkou

x – vzdálenost magnetu od podložky

Mezi další faktory, kterými je ovlivňována přídržná síla, jsou zařazeny například:

- Materiál, ze kterého jsou vyrobeny magnet a podložka,
- demagnetizační faktor magnetu,
- permeance, což je magnetická vodivost. [33]

5.2.2 Vlastnosti materiálu

Pro maximální sílu permanentního magnetu je vyžadována, pokud možno co největší koercivita H_C , součin B_{Hmax} a remanence B_r . U podložky je vyžadováno, aby bylo dosaženo co nejvyšší hodnoty indukce nasycení B_S , přičemž hodnota H_C musí být nízká. Tyto podmínky jsou nejlépe splněny, když je vybrána nízkolegovaná nebo nelegovaná ocel, jako je například 1.0050 nebo 1.0038. [33]

5.2.3 Demagnetizační faktor

Každý uzavřený systém je fyzikálně nucen minimalizovat svoji vnitřní energii. Ne jinak je tomu i u permanentního magnetu. Jeho snahou je zmenšit svoji magnetickou vnitřní energii. Je tak porušena ideální magnetická orientace v místě pólů. Tento je lze vyjádřit i matematicky a je udáván jako zeslabující magnetické pole, kterým je působeno v opačném směru polarizace. Platí zde vztah:

$$B_m = B_0 - \mu_0 \cdot J \cdot K_d \quad (2)$$

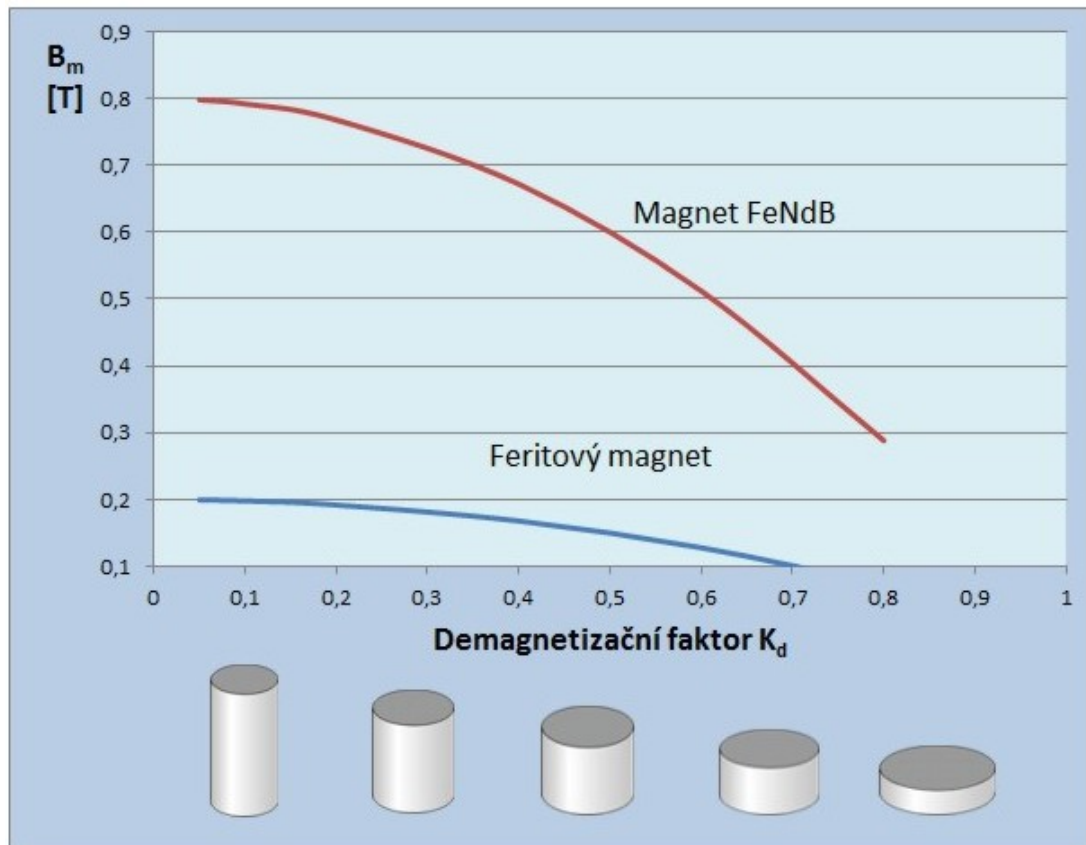
B_m – skutečná indukce na povrchu magnetu

B_0 – teoretická indukce podle hysterzní smyčky

J – polarizace

K_d – demagnetizační faktor

Velikost demagnetizačního faktoru je dána tvarem magnetu. Čím je menší poměr délky k šířce magnetu v rovnoběžném směru s polarizací vztahovaný na kolmý průřez, je demagnetizační faktor vyšší. [33]



Obr. 19 Závislost reálné povrchové indukce na tvaru magnetu [33]

5.2.4 Permeance

Pro lepší představivost lze magnetický obvod přirovnat analogicky k obvodu elektrickému. Proud je zde nahrazen magnetizací a elektrická vodivost permeancí. Čím je dosaženo vyšších těchto hodnot, tím větších hodnot je nabýváno u přídržné síly. Lze tedy předpokládat, že velikost přídržné síly je negativně ovlivněna částmi obvodu s magnetickým odporem. Mezi takové součásti lze zařadit legované oceli, které mají malou indukci nasycení, nebo neferomagnetické materiály, jako je hliník, měď nebo jejich slitiny, dále také plasty nebo vzduchové mezery. Z toho plyne, že i ochranným nátěrem nebo izolační vrstvou je snižována přídržná síla. Škodlivost vzduchové mezery u výrobků s velkou drsností, nebo nerovnostmi na povrchu lze vyčíst z grafu na Obr. 18. [32], [33]

6 SHRNUÍ TEORETICKÉ ČÁSTI A CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI

Tato kapitola je věnována shrnutí teoretické části a obeznámení s praktickou částí.

6.1 Shrnutí teoretické části

Teoretická část byla v úvodu věnována historii robotů od dob antických až po současnost. Bylo zjištěno, že již v dávných dobách existovala propracovaná a důmyslná robotizovaná zařízení, která jsou v mnoha případech dodnes záhadou. Některá zařízení se však vymykají chápání při pohledu na jejich zpracování s porovnáním jejich stářím a tehdejšími technologiemi, které jsou nám doposud známy.

Další část byla věnována bezpečnosti robotů, technické dokumentaci, předcházení rizik, směrnicím EU a legislativou s tím spojenou.

Dále bylo probráno rozdělení generací robotů od počátků až po současnost.

Velká část byla věnována průzkumu trhu s magnetickými chapadly. V současné době je na trhu nepřehledné množství magnetů i magnetických chapadel, nicméně při hledání inspirace v kovárenském odvětví bylo zjištěno, že magnetická chapadla nejsou v kovárnách doposud používána, případně jejich použití není zveřejněno.

V poslední části je probrána metodika návrhu magnetických chapadel s permanentními magnety.

Vypracováním teoretické části mé diplomové práce byl splněn první cíl diplomové práce, který se týká zpracování rešerše ohledně problematiky magnetických chapadel v kovárenském průmyslu. Bylo zjištěno, že v kovárenském průmyslu nejsou magnetická chapadla téměř vůbec využívána. Využity jsou pouze pro manipulaci surového materiálu. Nicméně pro manipulaci výkovků a polotovarů jsou stále využívány v převážné míře mechanická chapadla.

6.2 Cíle diplomové práce

Další cíle mé diplomové práce se týkají již konkrétního řešení magnetického chapadla a jsou probrány a splněny v praktické části. Bude řešen návrh magnetického chapadla pro plánovanou robotizovanou linku pro nedestruktivní defektoskopii. Doposud je linka obsluhována manuálně pomocí lidské síly. Magnetické chapadlo musí být vyrobeno univerzální pro osm středně těžkých výkovků nepravidelného tvaru. Návrh konstrukce se bude

ubírat spíše experimentální cestou a magnetické chapadlo bude vylepšováno v průběhu návrhu. Na doporučení zadavatele, kterým je Kovárna Viva a. s. bude použit robot ABB IRB 4600–60/2,05.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

7 ÚVOD DO PROBLEMATIKY

Jako cíl této diplomové práce je vyřešení zadání od firmy Kovárna Viva a.s. (dále Viva) a to návrh magnetického robotického chapadla pro linku nedestruktivní defektoskopie, zhotovení výkresové dokumentace a ověření návrhu pomocí výpočtů a analýz. Ve firmě je v současné době provozována tato linka, avšak není robotizována a většina těžké práce je prováděna pomocí lidské síly. Cílem je navrhnout a sestrojít toto magnetické chapadlo, které bude použito ve spolupráci s navrhovanou robotizovanou linkou a usnadnit tak pracovníkům na lince práci.

7.1 O firmě Kovárna VIVA a.s.

Kovárna Viva a.s. je prezentována jako významná průmyslová kovárna v ČR, která byla založena v roce 1992. Její historie je ale daleko starší, protože pokračuje podle tradic kovárny československé firmy Baťa, která byla založena roku 1932. Specializací kovárny je výroba výkovků zápustkovým způsobem z mikrolegovaných, legovaných, konstrukčních a uhlíkových ocelí. Jsou zde zahrnuty i bezpečnostní díly.

V současné době firma spolupracuje s předními evropskými a světovými korporacemi, a má s nimi vybudovanou dlouholetou a stabilní spolupráci. V současnosti je ve firmě zaměstnáno více, než 500 zaměstnanců. [25]

- **1932**

Byla založena kovárna, která byla součástí obuvnického impéria Baťa. Poté, co byl podnik znárodněn, stává se dílnou pro výrobu firmy ZPS.

- **1992**

Je založena společnost Kovárna Viva Zlín, která pokračuje v tradici baťovské kovárny.

- **1993-1998**

Kovárna získává první zahraniční zakázky. Zapojení návrhů ve 3D, CAD a CAM systémech. Nákup nových CNC strojů a s tím související rozšíření výrobního závodu. Získání certifikátu kvality ČSN EN ISO 9002.

- **1998-2002**

Probíhá modernizace výroby, navázání významné spolupráce se společností Linde. Firma již zaměstnává přes 100 zaměstnanců.

- **2003-2005**

Zahájení výroby výkovků pro automotive. Budování nové fyzikální laboratoře pro kontrolu a měření výrobků.

- **2005-2008**

Zahájení spolupráce s firmou SCANIA, spouštění nových linek pro výrobu. Zvýšení počtu zaměstnanců na 250.

- **2009**

Výroba se propadá o 50 % jako následky ekonomické krize.

- **2010-2015**

Rychlé překonání krize, nákup dceřiné společnosti, kovárny ALPER, nové výrobní kapacity, podepsání kontraktu s firmou BOSCH, navýšení počtu zaměstnanců na 400.

- **2016-2018**

Investice do nových strojů umožňujících obrábění výkovků. Příprava projektu nové obráběcí dílny a nástrojárny.

7.2 Současný stav výrobní linky

V současné době není proces robotizován a výkovky musí být přenášeny ručně. Aby byly splněny hygienické normy, musí být zajištěno časté střídání obsluhy v průběhu jedné směny. Cílem robotizace tohoto procesu je ulehčení a usnadnění práce pro obsluhu a zrychlení procesu. Není zde požadavek pro úplné odstranění obsluhy, protože je zde brán zřetel na vizuální posouzení výkovku člověkem.

Současné prostory pracoviště jsou sestaveny z následujících zařízení a strojů:

- Sprchovací přístroj pro nedestruktivní defektoskopii s obsluhou
- Temná místnost s obsluhou
- Bedny na výkovky



Obr. 20 Současný stav zařízení nedestruktivní defektoskopie

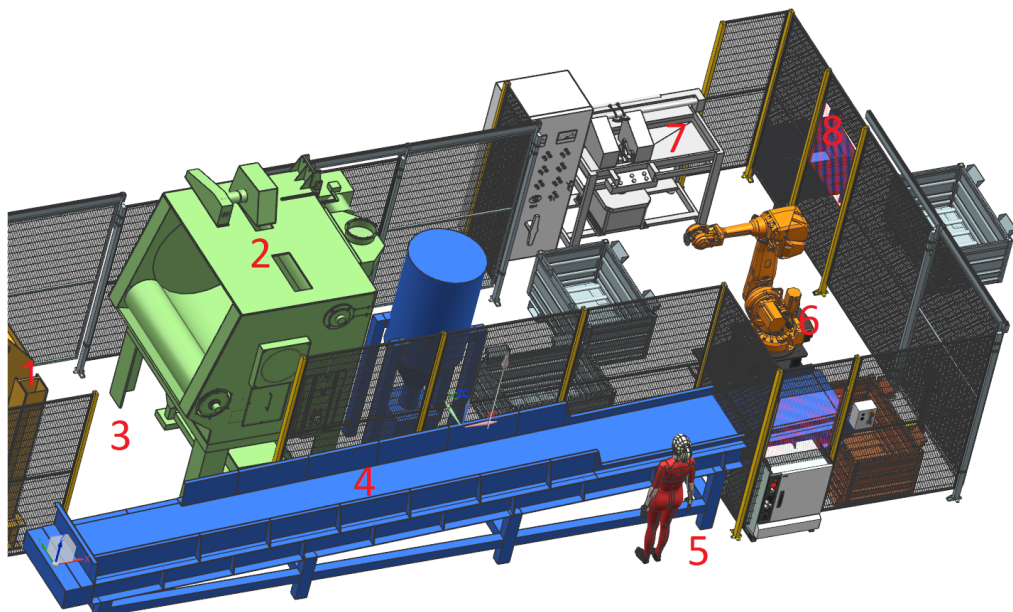
7.3 Požadavek návrhu nového řešení

Předpokládané robotické zařízení je složeno z těchto zařízení a strojů:

- Vibrační dopravník,
- Pásový dopravník,
- Obsluha dopravníku,
- Robot ABB IRB 4600-60/2.05 s magnetickým chapadlem
- Sprcha pro nedestruktivní defektoskopii
- Světelná brána
- Temná místnost s obsluhou
- Bedny na výkovky
- Ochranná bariéra

Na této lince je zapotřebí vše uspořádat tak, aby byla mezi operacemi nejlepší možná návaznost a nejmenší prodlevy mezi operacemi. Hlavním úkolem je navrhnout magnetické chapadlo pro tuto linku, které nelze koupit normované. Toto magnetické chapadlo bude využito pro přepravu výkovků. Je vytvořena 3D vizualizace rozmístění pracovní linky, které však není konečná a v budoucnu může být ještě pozměněna, nicméně je počítáno s rozsahem pracovního dosahu robota do 1,8 m. 3D vizualizaci navrhovaného pracoviště lze vidět na Obr. 21.

Je zvolen následující koncept uspořádání. Nejprve je bedna s výkovky přepravena do tzv. výklopy (č. 1), pomocí této výklopy jsou výkovky z bedny vysypány do omílacího zařízení (č. 2), kde jsou výkovky rotačním pohybem zbaveny okují a nečistot. Poté jsou výkovky vysypány na vibrační dopravníkový pás (č. 3). Pás není zařazen do vizualizace, protože ještě není potvrzena tato mezioperace. Případně jsou tímto pásem výkovky dopraveny na dopravníkový pás č. 4. Na pozici č. 5 je obsluha linky. Obsluhou linky je vizuálně zkontrolován výkovek, jestli nejsou obsaženy povrchové vady nebo nějaká deformace a je ustaven do přibližné výchozí polohy pro odebrání robotem pomocí magnetického chapadla (č. 6). Pás je posouván krokově a je řízen snímači. Jakmile je výkovek odebrán robotem z pásu, je pás posunut o jeden krok vpřed. Poté je výkovek přenesen do zařízení, kde je nanášen povlak pro nedestruktivní defektoskopii (č. 7). V tomto zařízení je do výkovku zaveden elektrický proud, čímž je dosaženo magnetizace výkovku a zároveň je výkovek sprchován vodou s rozptýlenými částicemi kovu. Tyto částice jsou vlivem magnetizmu ulpívány na výkovku. Okem jsou tyto částičky neviditelné. Po této operaci je výkovek uchopen opět magnetickým chapadlem a přepraven do černé místnosti s UV světlem (č. 8), kde jsou kontrolovány defekty na výkovku. Výkovek je jen spuštěn po šikmé ploše, kde je přebrán obsluhou a celý proces přepravy výkovku pomocí magnetického chapadla je mezitím opakován. Současně jsou pod UV světlem kontrolovány vady, trhliny a vměsky. Kontrola je prováděna vizuálně pomocí lidského oka. Pokud je výkovek označen jako vyhovující, je umístěn do velké bedny a poté bude odvážen na další zpracování. V opačném případě je výkovek označen za zmetek a je uložen do malé bedny.



Obr. 21 Vizualizace nového pracoviště

Na této lince bude pracováno s osmi různými výkovky o hmotnosti od 2,22 do 16,26 kg. Už v prvopočátku tedy bylo zavrženo mechanické chapadlo, které není schopno pokrýt množství rozdílných výkovků, ale je uvažováno nad magnetickým chapadlem. Tady se nabízí možnost použít jak elektromagnetické, tak uchopovače s permanentními magnety. Elektromagnetické uchopovače byly zavrhnuty z důvodu nutnosti přívodu napětí. Do úvahy tedy padly uchopovače s permanentními magnety. Zde byla možnost vybírat mezi mechanicky ovládanými a pneumaticky ovládanými. Jelikož se v kovárně Viva používají pneumaticky ovládané mechanismy, následná oblast vyhledávání vhodného řešení se odvíjela tímto směrem.

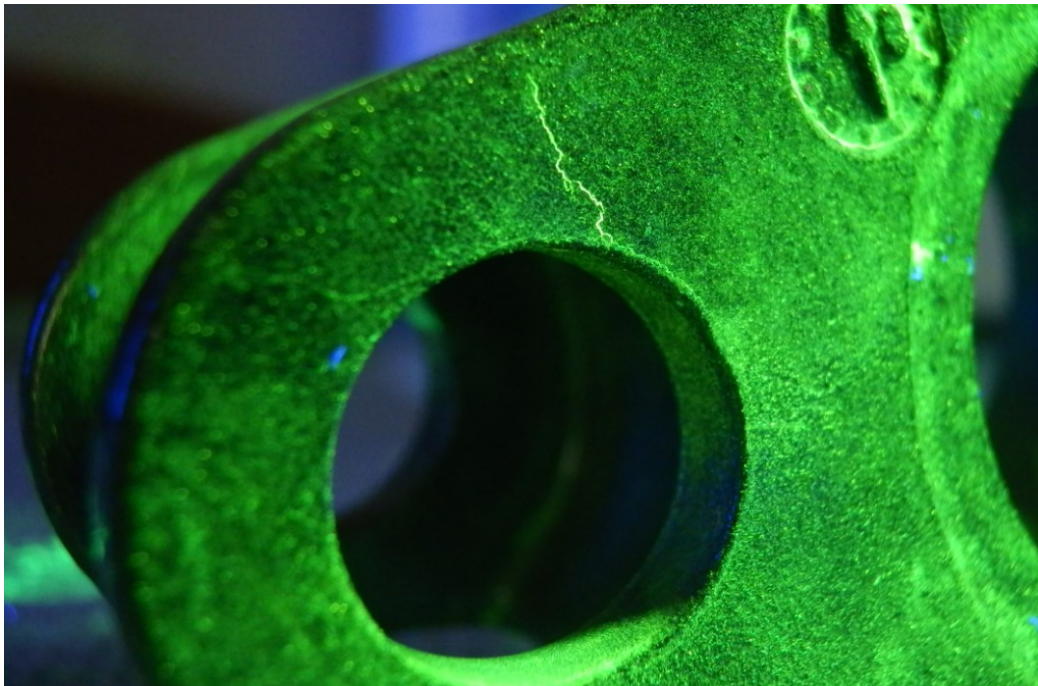
Ze složitosti tvaru výchozích výkovků bylo usouzeno, že magnetické chapadlo musí být adaptivní. Jelikož magnet magnetického chapadla je jedno těleso a nelze v něm nastavit vůle. Nabízí se zde možnost použití silentbloku, odpruženého mezikusu nebo výkyvné součásti, pomocí kterých by byla zajištěna výkyvnost magnetického chapadla při uchopování výkovku, ale současně musí být zachována dostatečně tuhá konstrukce celého magnetického chapadla po odebrání výkovku a při samotné manipulaci. Samotná studie magnetického chapadla bude rozebrána v následujících částech.

7.4 Nedestruktivní defektoskopie

Nedestruktivní test (NDT), nazýván také jako defektoskopie je souborem metod, pomocí kterých je možno odhalit vady výrobku bez poškození, nebo porušení samotného výrobku. Díky této vlastnosti je tato metoda velmi oblíbená a hojně využívána. Pomocí měřitelných jevů a fyzikálních jevů, které jsou sledovány, můžou být odhaleny vady na výrobku, aniž by byl výrobek jakkoliv porušen nebo poškozen. Pokud je výrobek vyhodnocen jako kus bez vad, lze jej ihned použít. [30], [34]

Samotná zkouška je složena z několika částí. Na začátku je výrobek očištěn a zbaven okují, poté je vložen do přístroje, kde dochází k jeho magnetizaci díky průchodu elektrického proudu. Nevadí zde tedy ani případná zbytková magnetizace od magnetického chapadla. Poté je výrobek sprchován kapalinou s mikroskopickými částičky kovu, které jsou silně zachytávány v místech vad, prasklin a deformací. V místech vad je tvořeno silné magnetické pole neboli takový lokální magnet. Nad defekty je tak tvořena indikace. Poté je výrobek přesunut do temné místnosti, kde je pod UV světlem prohlížen. Pod UV světlem jsou zvýrazněny všechny defekty a velikost defektů je posouzena pracovníkem. Podle struktury a

velikosti defektu je výrobek vyhodnocen buď jako vyhovující nebo nevyhovující a je vložen do příslušné bedny. [31], [34]



Obr. 22 Vada na výrobku [30]

7.5 Robot ABB IRB 4600-60/2.05

Jelikož kovárna Viva používá roboty od firmy ABB, je výběr robota zaměřen tímto směrem. Z dlouholetých zkušeností zadavatele byl doporučen pro další práci robot ABB IRB 4600-60/2.05.

Firma ABB je jednou ze světových společností, které působí v oblasti automatizace a energetiky. Pomocí výrobků firmy ABB je zákazníkům z oblasti distribuce energií a průmyslu umožněno zvýšit výkonnost výroby a zároveň snížit dopad na životní prostředí. [26]

Robot IRB 4600-60/2.05 je produktivním univerzálním robotem, který je optimalizován pro krátké cykly. S těmito roboty lze vytvářet pracoviště s vysokou hustotou robotů.



Obr. 23 Robot ABB IRB 4600-60/2.05 [26]

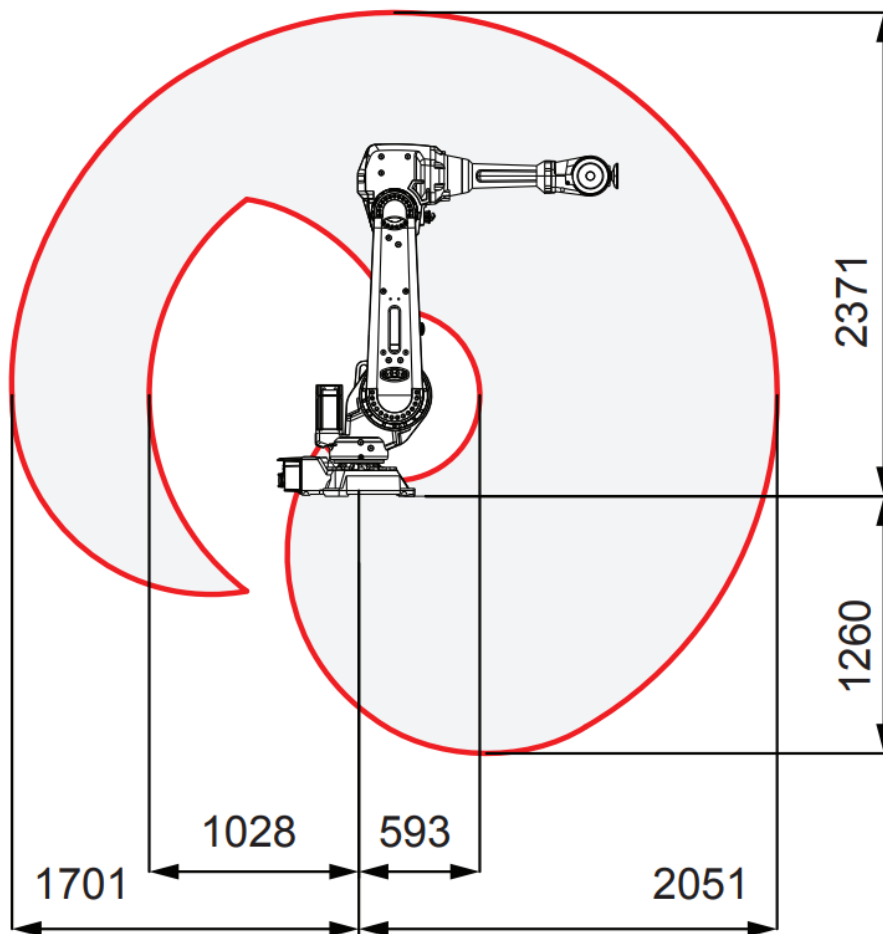
7.5.1 Parametry robota

IRB 4600-60/2.05 je obdařen novým kompaktním a optimalizovaným designem, který je charakterizován nízkou hmotností. Je mu tak umožněno zkrátit dobu každého cyklu benchmarku až o 25 % oproti předchozímu modelu. Je dosažena nejvyšší akcelerace ve své třídě. Díky vysokému zrychlení je možno vyhnout se překážkám, nebo monitorovat trajektorii. Výhodou je zvýšená výrobní kapacita a vyšší produktivita.

Rozměry robotu jsou malé, je vybaven otočnou základnou s nejmenším možným poměrem. IRB 4600-60/2.05 je chráněn dle normy IP 67, povrch je ošetřen odolným nátěrem, antikorozií ochranou a tepelnou ochranou.

Tab. 3 Technické parametry robotu IRB 4600-60/2,05

Dosah	2,05 m
Užitečné zatížení	60 kg
Zatížení ramena	20 kg
Opakovatelnost polohy RP	0,06 mm
Opakovatelnost dráhy RT	0,46 mm

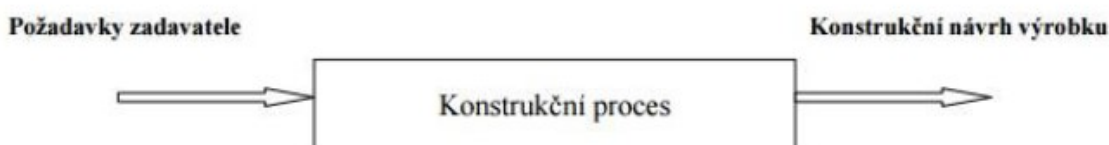


Obr. 24 Pracovní rozsah IRB 4600-60/2,05 [26]

Příruba na konci ramene, kde bude namontováno magnetické chapadlo, má průsečík os v bodě 0. V tomto bodě je maximální nosnost tohoto robotu. Vzdálenosti těžiště budou zaneseny do grafu. Svislá osa Z je v jedné rovině s osou příruby robota a značí délku ramene. Vodorovná osa L značí vzdálenost těžiště od osy Z. Tyto osy jsou navzájem kolmé. Tam, kde se tyto osy protnou je vyznačen průsečík maximální nosnosti robota vzhledem k těžišti. Jelikož je maximální tlačná síla robota 350 N, je zadavatelem doporučena síla pro stlačení pružiny v ose Z v rozmezí 200–300 N. Tento požadavek je zapsán do požadavkového listu.

8 KONSTRUKČNÍ PROCES

Konstrukční návrh magnetického chapadla je navrhován podle obecného konstrukčního procesu. Základní vstupní požadavky pro návrh byly zadány zadavatelem. Všechny vstupní podmínky a parametry jsou zařazeny do požadavkového listu. Požadavkový list je doplňován i během návrhu z důvodu nových poznatků a požadavků. Na základě tohoto požadavkového listu je navrženo několik řešení a výsledkem je finální návrh magnetického chapadla.



Obr. 25 Vstupy a výstupy konstrukčního procesu [16]

8.1 Požadavkový list

Zadáním úkolu je navrhout robotické magnetické chapadlo pro účely kovárny Viva. Pro správné řešení konstrukčního procesu je sepsán požadavkový list, ve kterém jsou zapsány návrhy a požadavky zadavatele. Dále jsou zde také doporučení a přání, které však nemusí být při konstrukčním návrhu splněny na 100 %. Viz. Tab. 4.

Tab. 4 Požadavkový list

Požadavkový list		
Specifikace požadavku	Podmínka	Přání
Funkce a funkční parametry		
Odebrat polotovar z pásového dopravníku	x	
Vložit polotovar do zařízení NDT	x	
Odebrat polotovar z NDT zařízení a předat do tmavé komory	x	
Permanentní magnet	x	
Pneumatický pohon	x	
Umožnění výkyvu chapadla 15° při uchopování výkovku	x	
Dilatace v ose Z 5–15 mm	x	
Tuhost po uchopení výkovku	x	
Síla nutná ke stlačení pružiny 200-300 N		x
Max hmotnost chapadla 40 kg	x	
Výroba konvenčními metodami		x
Snadná vyrobiteľnosť		x
Přesnost	x	

Životnost a odolnost		
Vysoká četnost použití	x	
Požadovaná vysoká životnost	x	
Minimální údržba	x	
Žádná údržba		x
Maximální průhyb jednotlivých částí max 1 mm	x	
Ergonomie		
Snadná montáž chapadla		x
Univerzální použití pro více polotovarů	x	
Snadný přístup pro údržbáře		x
Vyvarovat se ostrým rohům		x
Ekonomie		
Maximální výrobní náklady 140 000 Kč	x	
Nízké provozní náklady		x

8.2 Výkovky

Svémi rozměry a hmotnostmi jsou výkovky zařazeny kategorie středně těžkých výkovků. Jejich váha je v rozmezí 2,22–16,26 kg. Magnetické chapadlo bude namontováno na robot ABB IRB 4600-60/2.05, celková hmotnost výkovku a chapadla, která nesmí být překročena je 60 kg.

Celkem je chapadlo navrhováno pro 8 různých výkovků. Výkovky jsou včetně hmotnosti uvedeny v následující tabulce.

Tab. 5 Seznam výkovků

Č. výkovku	Materiál	Hmotnost [kg]	Potřebný výkyv [°]
1	ocel	7,67	12,3
2	ocel	6,67	4,7
3	ocel	16,11	4,1
4	ocel	16,11	4,1
5	ocel	9,85	5,6
6	ocel	2,22	0,4
7	ocel	14,98	0
8	ocel	14,8	0

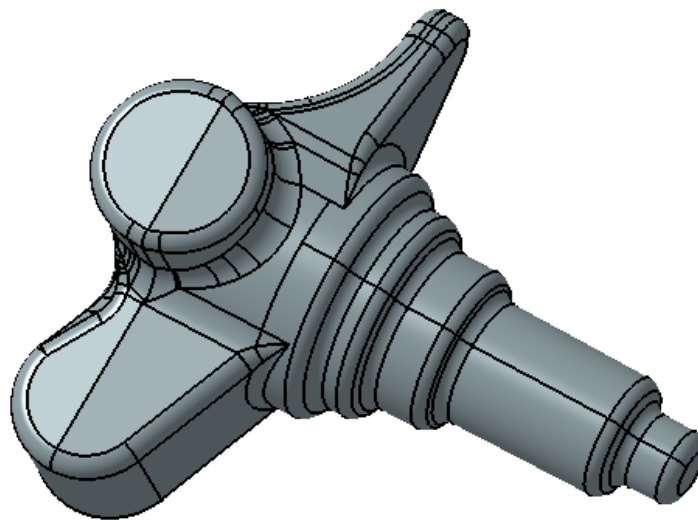
Výkovky jsou označeny pouze čísly, záměrně není uváděno jejich interní označení, které je používáno v kovárně Viva. kvůli ochraně zákazníka.

Rozdíl mezi rozměry a tvarem výkovků je velmi velký. Je potřeba analyzovat výkovky, stanovit, kterou stranou bude výkovek položen na dopravníkovém páse a jak bude

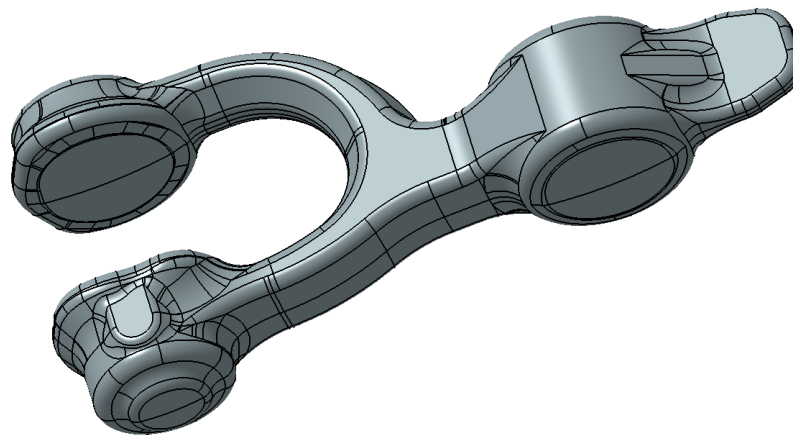
uchopován magnetickým chapadlem. Musí být vybrán, nebo vyroben takový magnet, který bude univerzální a bude odpovídat použití pro všechny uvedené výkovky.

Konstrukce magnetického chapadla musí být vzhledem k váze samotných výkovků co nejlehčí, přitom si musí zachovat svou tuhost. Při návrhu je pomatováno na to, aby se magnetické chapadlo nacházelo co nejblíže k přírubě robota.

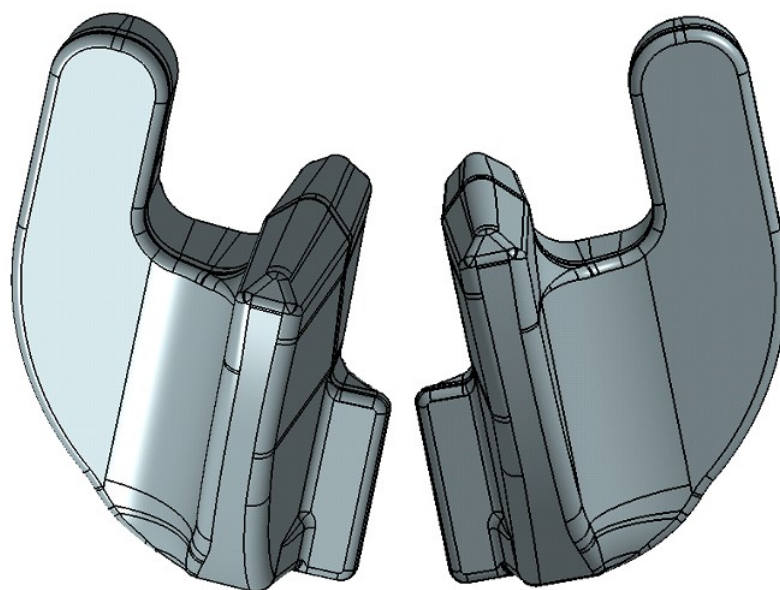
Na následujících obrázcích jsou zobrazeny výkovky.



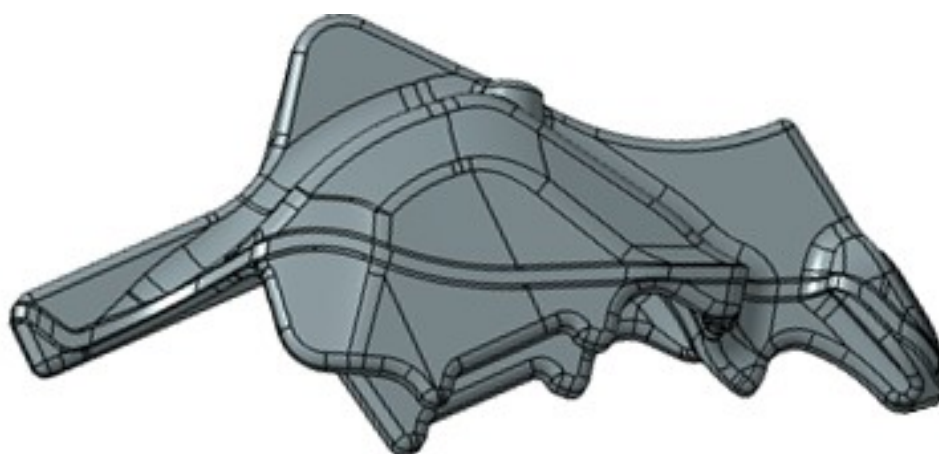
Obr. 26 Výkovek č. 1



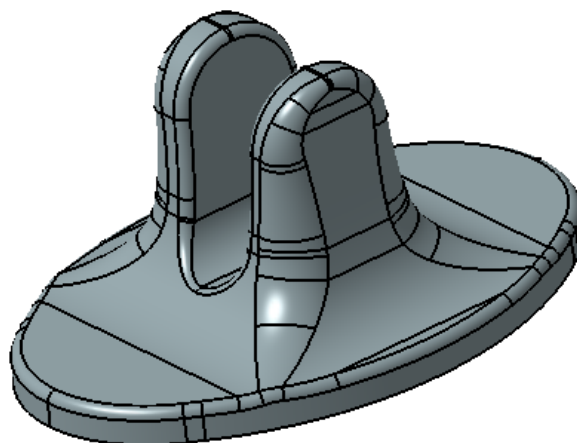
Obr. 27 Výkovek č. 2



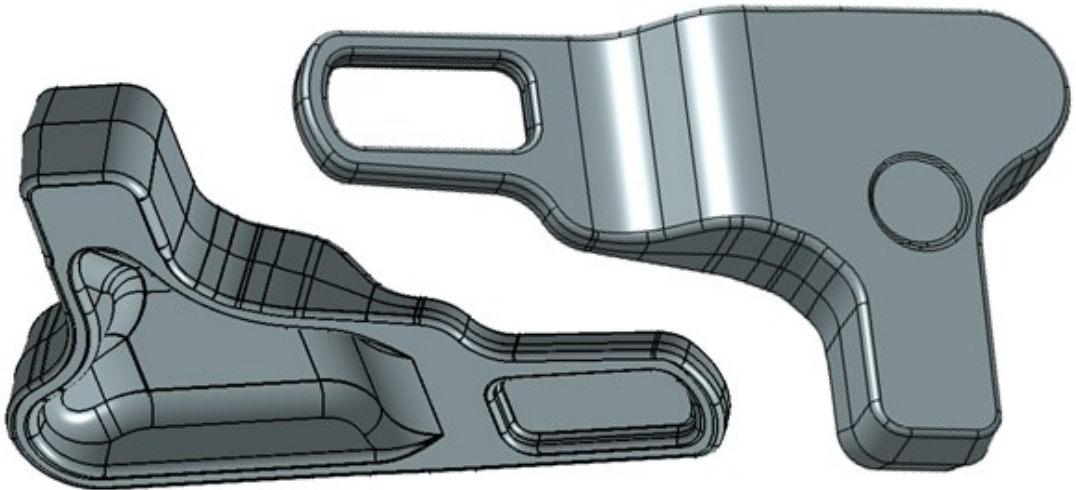
Obr. 28 Výkovek č. 3 a 4



Obr. 29 Výkovek č. 5



Obr. 30 Výkovek č. 6



Obr. 31 Výkovek č. 7 a 8

8.3 Magnet

Pro další práci je nutno vybrat konkrétní typ magnetu. Je prozkoumán trh z důvodu nalezení vhodného magnetu použitelného pro magnetické chapadlo. Na trhu je nalezena spousta výrobců magnetů, nicméně všechny magnety jsou tvarově velmi podobné a rozdíl je v jejich velikosti a vlastnostech. Po konzultaci se zadavatelem je doporučeno ohledně výběru magnetu spolupracovat s výrobcem IXTUR, který se specializuje na magnety pro průmysl a s nímž kovárna Viva již v minulosti spolupracovala. Firmou IXTUR jsou nabízeny dva základní tvary magnetických uchopovačů.

První magnet je řady MAP. U tohoto magnetu lze spatřit podobnost ve tvaru s konkurencí. Aktivní plocha je kruhového tvaru, a pro námi danou aplikaci je tento tvar zvolen jako nevhodný.



Obr. 32 IXTUR MAP-30 [28]

Druhý typ magnetu, který je firmou IXTUR nabízen, je magnet řady MRP. Už na první pohled je zřejmé, že tento magnet je svým tvarem zvýhodněn oproti konkurenci. Zatímco konkurenční magnety jsou tvořeny rovnou čtvercovou nebo obdélníkovou aktivní plochou, u magnetu firmy IXTUR je znatelný tvar aktivní plochy do písmene U. Díky tomuto tvaru je magnet schopen uchopit i tvarově složité výkovky, a hlavně výkovky tyčovitého a oválného tvaru.

Po oslovení firmy IXTUR byl zadávaný problém popsán a po konzultaci s danou firmou a zadavatelem projektu byl zvolen jako vhodný typ magnet IXTUR MRP-46.



Obr. 33 IXTUR MRP-46 s vyobrazením magnetických siločar [28]

Tab. 6 Technická data magnetu [28]

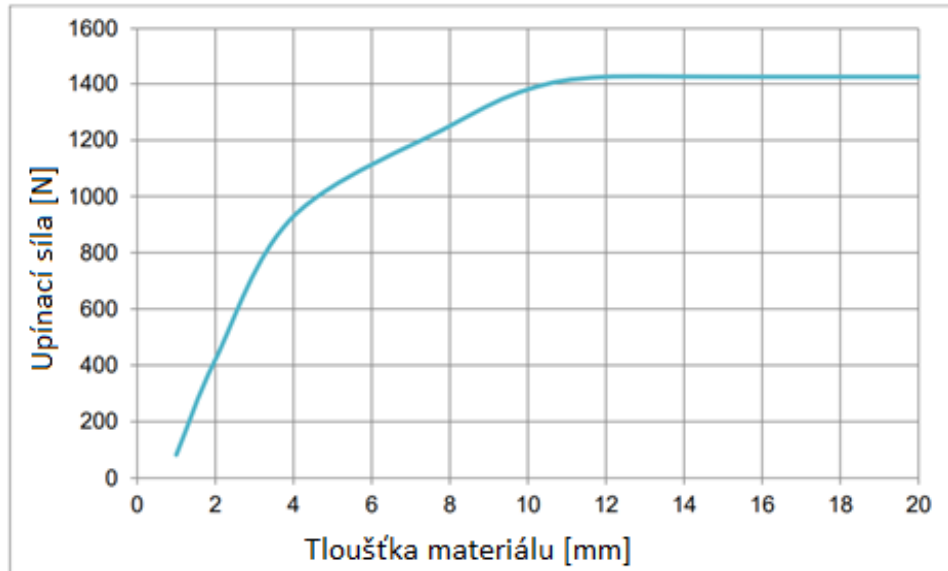
	deska $S \geq 12$ mm	válec $\varnothing \geq 120$ mm
Přídržná síla pro ocel	1354 N	833 N
Bezp. faktor 3	46 kg	30 kg
Zbytkový magnetismus max	1,2 kg	
Provozní teplota	0-50 °C	
Provozní vlhkost	0-90 %	
Ochrana	IP67	
Funkční rozsah tlaku	5-8 bar	
Doporučený tlak	6 bar	
Hmotnost	1,86 kg	
Rozměry	82,5x80x54,8	

Ačkoliv je u tohoto typu magnetu udávána veliká nosnost, je to magnet kompaktních rozměrů. Veliká nosnost při malých rozměrech je dána použitím neodymových magnetů. U magnetu je vyžadován velmi čistý stlačený vzduch, o ideálním pracovním tlaku 6 bar. Je důležité, aby z pneumatické soustavy byla odloučena voda pro jeho správné chování a bezporuchový chod.

Upínací síla a jmenovitá nosnost magnetu MRP-46 je využita pouze tehdy, když jsou síly kolmé k povrchu magnetu. Následujícími faktory je ovlivňována upínací síla tohoto magnetu:

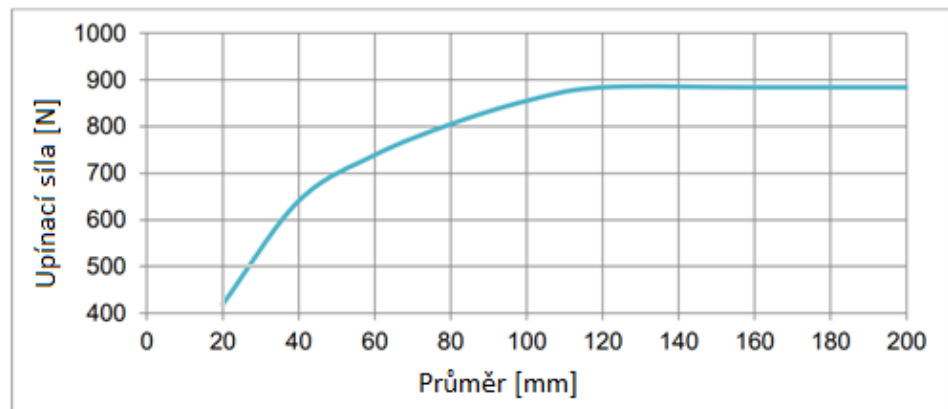
- Vlastnosti materiálu
- Tloušťka materiálu
- Vzdálenost mezi uchopovacím povrchem a obrobkem (vzduchová mezera)
- Průměr objektu při zvedání válcové části

Schopnost materiálu vést magnetické pole je podmíněna jeho tloušťkou. Čím je tenčí materiál, tím je pozorována menší kapacita ve srovnání s tlustším materiálem. Zvýšením tloušťky materiálu je zvýšena schopnost materiálu vést magnetické pole, dokud není dosažena specifická maximální hodnota magnetu. Na Obr. 34 lze vidět závislost přídržné síly na tloušťce materiálu desky, nicméně stejný princip je uplatňován i pro tyčový materiál.



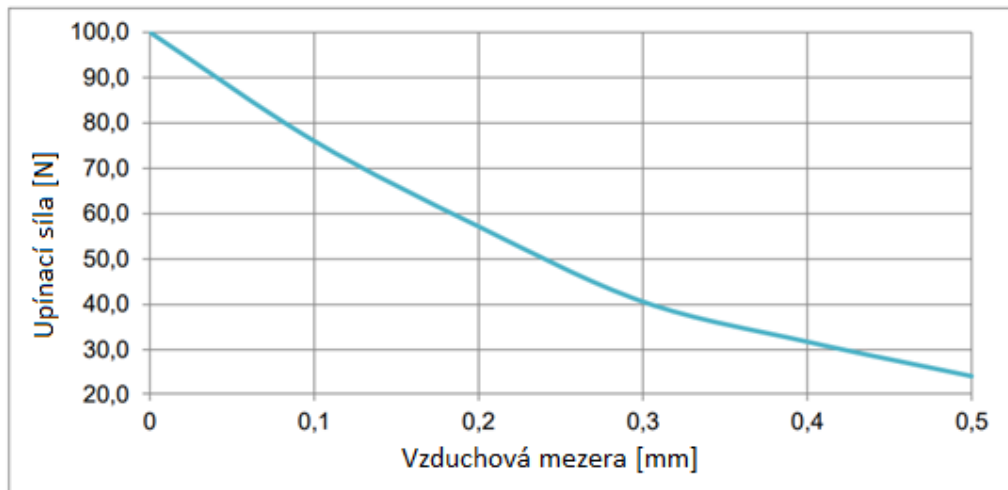
Obr. 34 Závislost upínací síly na tloušťce materiálu [28]

V případě tyčového materiálu je závislost velikosti upínací síly vztahována na průměr upínaného materiálu. Z grafu na Obr. 35 je patrné, že jmenovitou upínací sílu lze dosáhnout u $\varnothing \geq 120$ mm.



Obr. 35 Závislost upínací síly na průměru materiálu [28]

Jakýkoliv materiál, kterým je oddělen upínací povrch magnetu od povrchu výkovku, snižuje celkovou magnetickou upínací sílu. Může to být způsobeno nemagnetickými materiály nebo materiály se slabými magnetickými vlastnostmi. Je sem zařazen například zinek, barva nebo podobný povlak, rez, námraza nebo vzduch.

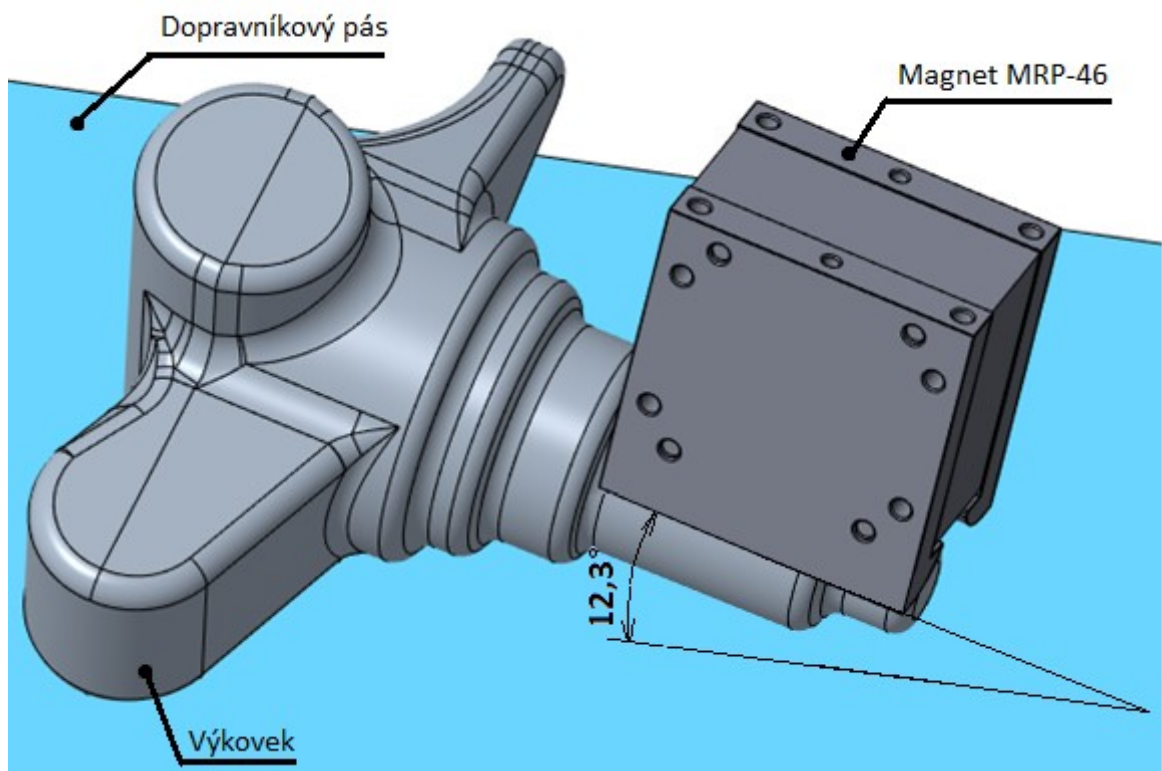


Obr. 36 Závislost upínací síly na vzduchové mezeře [28]

Když je magnet MRP-46 zapnut, je vytvořeno magnetické pole. Díly, kterými jsou spojeny ocelové desky magnetu MRP-46, musí být vyrobeny z nemagnetického materiálu, jako je například hliník nebo nerezová ocel. Na magnetu jsou umístěna dvě pneumatická šroubení pro přívod vzduchu. Zapnutí a vypnutí magnetu je způsobeno rozdílem tlaku 6 bar. Pokud dojde k poruše a stane se, že je tlak v obou stranách stejný, je udržována aktuální poloha magnetu. To samé platí, i pokud dojde ke ztrátě tlaku.

8.4 Úhel výkyvu magnetického chapadla

Nyní je nutno zjistit potřebný výkyv magnetického chapadla pro uchopení výkovků. Každý výkovek je tedy v 3D vizualizaci položen na dopravníkový pás do obecné polohy a poté je pomocí vazeb nakonfigurován magnet a změřen největší úhel výkyvu. Jako příklad je na následujícím obrázku použit výkovek č. 1, u kterého je potřebný největší výkyv. Výkyv je $12,3^\circ$. Po konzultaci se zadavatelem je počítáno s rezervou a do požadavkového listu je zapsán požadavek výkyvu 15° . Hodnoty výkyvu pro všechny výkovky jsou zapsány v Tab.5.



Obr. 37 Úhel výkyvu pro výkovek 1

9 NÁVRH MAGNETICKÉHO CHAPADLA

Před samotným návrhem magnetického chapadla je důležité navrhnout několik řešení a vybrat z nich to nejlepší pro danou problematiku, ze kterého je nadále vycházeno. Tento návrh je pak dále upravován a vylepšován, až je navržena jeho finální verze. Styčná plocha magnetu magnetického chapadla nesmí být znečištěna a ideálně bez vzduchových mezer. Závislost upínací síly na vzduchové mezeře je zobrazena na Obr 36. Celý návrh magnetického chapadla je navrhován tak, aby byl navrhnout co nejjednodušeji a nejefektivněji.

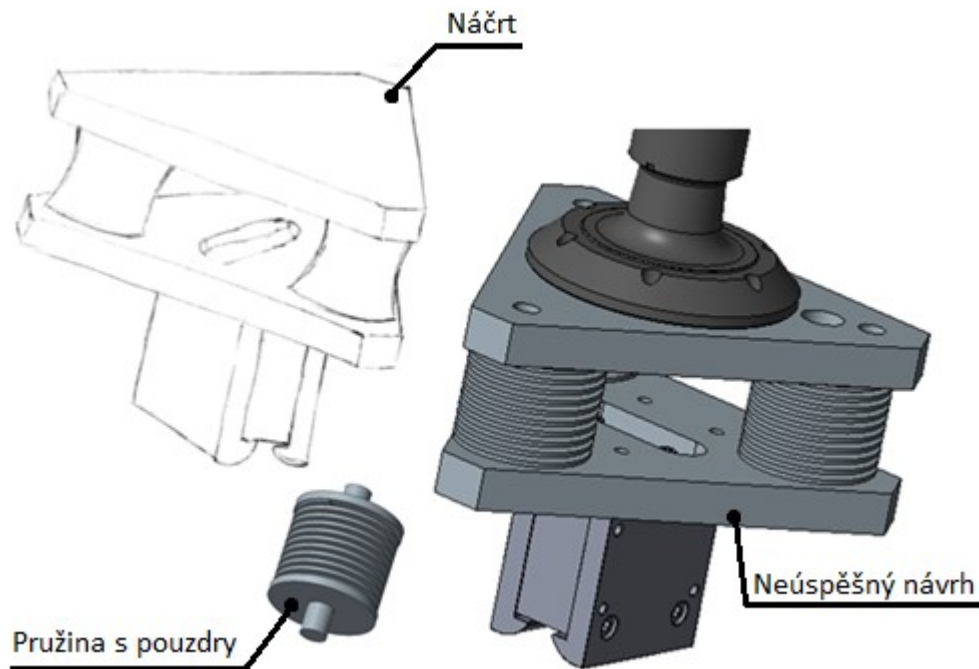
Dle předchozí podkapitoly je vybrán nejvhodnější magnet pro konstrukci od výrobce IXTUR. Model je vybrán MPR-46. V této kapitole je očekáváno, že bude navrženo a vybráno hrubé řešení uložení magnetu na přírubě ramene. Vzhledem k tomu, že je vyžadována dilatace v ose Z 5-15 mm a výkyvnost 15° , je uvažováno nad mezikusem v podobě dvou desek, mezi kterými budou funkční členy, které jsou schopny zajistit tuto funkci. Musí však být zachována tuhost chapadla. Se zadavatelem je provedena konzultace na toto téma, a jako nejvhodnější tvar desek je vybrána deska s trojúhelníkovou podstavou z důvodu výkyvu ve třech rovinách.

Při návrhu je vycházeno z předchozích konzultací se zadavatelem. Před samotným návrhem modelu jsou načrtnuty jednoduché náčrty komponent a celku magnetického chapadla, pro lepší představivost. Jak už je tedy zřejmé, základní tvar desky je trojúhelníkový. Rozměry jsou voleny úměrně velikosti uchopovaných výkovků, velikosti použitého magnetu, nosnosti a rozměrům zvoleného robota. Při navrhování je postupováno spíše experimentálně, protože není známo podobné zařízení, které by sloužilo jako inspirace. Při takovém návrhu je spoléháno také na konstruktérské zkušenosti, které jsou při tomto návrhu hojně využity.

9.1 První návrh chapadla

Prvním řešením je náčrt magnetického chapadla s trojúhelníkovými deskami a silentbloky v rozích desek, nicméně při konstrukci modelu jsou místo silentbloků použity pružiny, protože silentblok není schopen velkého stlačení. Je tedy navrženo magnetické chapadlo s trojúhelníkovými deskami, mezi které jsou vloženy dostatečně tuhé pružiny, jenž je možno mírně stlačit silou v rozmezí 200–300 N. Náčrt včetně modelu je zobrazen na Obr. 38. Příruba robota je přišroubována k vrchní desce a síle 20 mm a magnet je přišroubován ke spodní

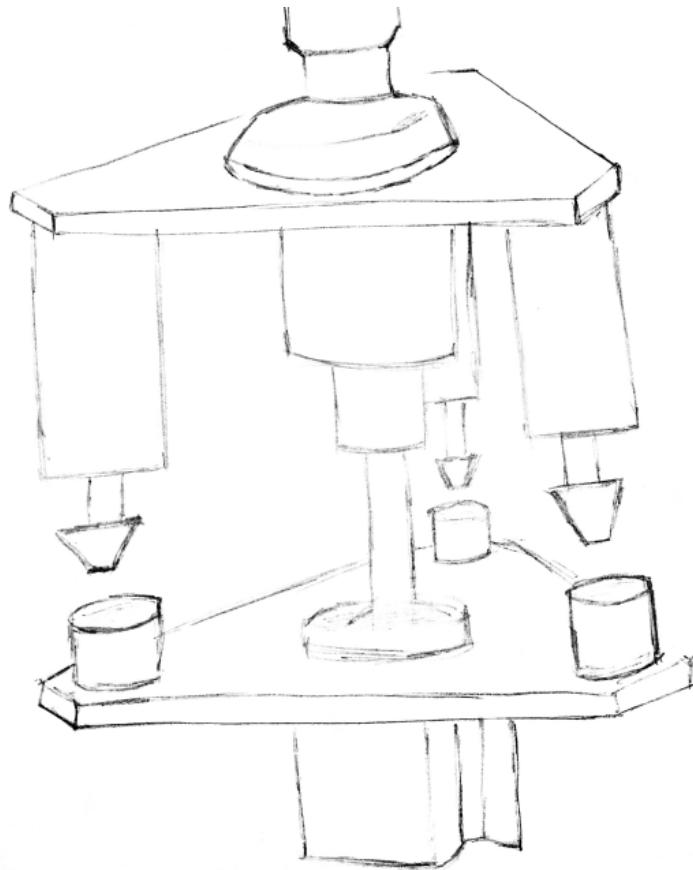
desce o síle rovněž 20 mm. V této desce je otvor pro přívod pneumatických hadic k ovládání magnetu. Dále je řešeno uchycení pružin, kde je jako nejvhodnější řešení použito přídržné pouzdro, které je z obou stran pružiny a na koncích je opatřeno vnějším závitem. Zajištění pružin je uvažováno šrouby procházejícími v ose pružin tak, aby bylo zajištěno vhodným utažením předpětí pružin. Nicméně tato koncepce je pro další pokračování shledána jako nevhodná z důvodu křížení šroubů v deskách magnetického chapadla.



Obr. 38 Pružina s přídržnými pouzdry

9.2 Zvolené konstrukční řešení

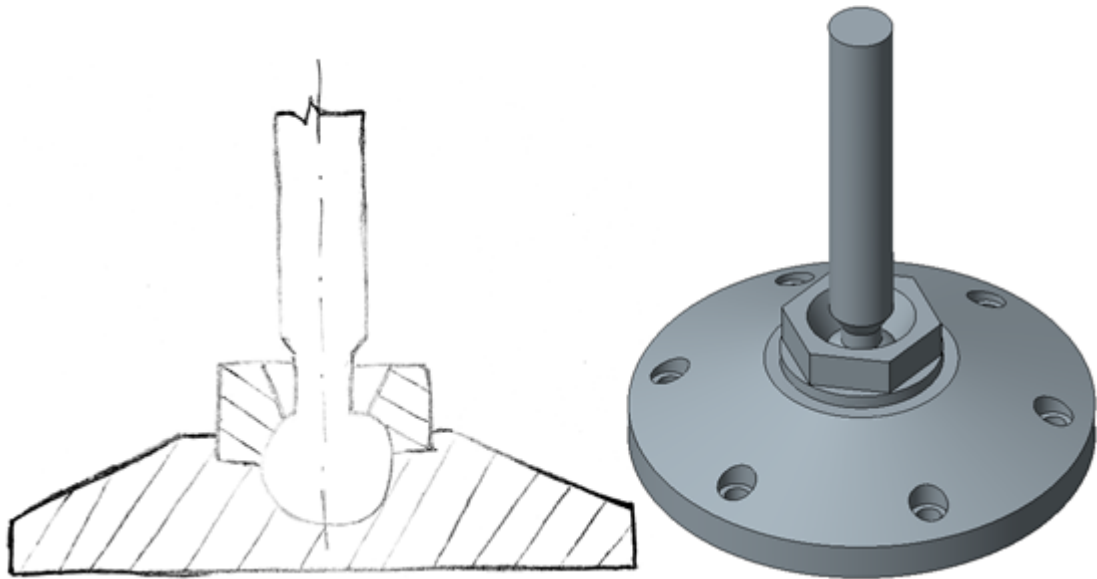
Při konzultaci daného problému se zadavatelem je vnuknuta myšlenka zajištění polohy pomocí pneumatického válce, nicméně vyvstává otázka, jak bude dosaženo zajištění výkyvu v rozmezí 15° a rovnoměrnosti zajištění. Je načrtnut základní návrh se třemi pneumatickými válci v rozích trojúhelníkových desek. Pro výrovu desek je volena konstrukční ocel S235J, která je nejběžněji používána pro obdobné aplikace ve strojírenství.



Obr. 39 Náčrt nového návrhu

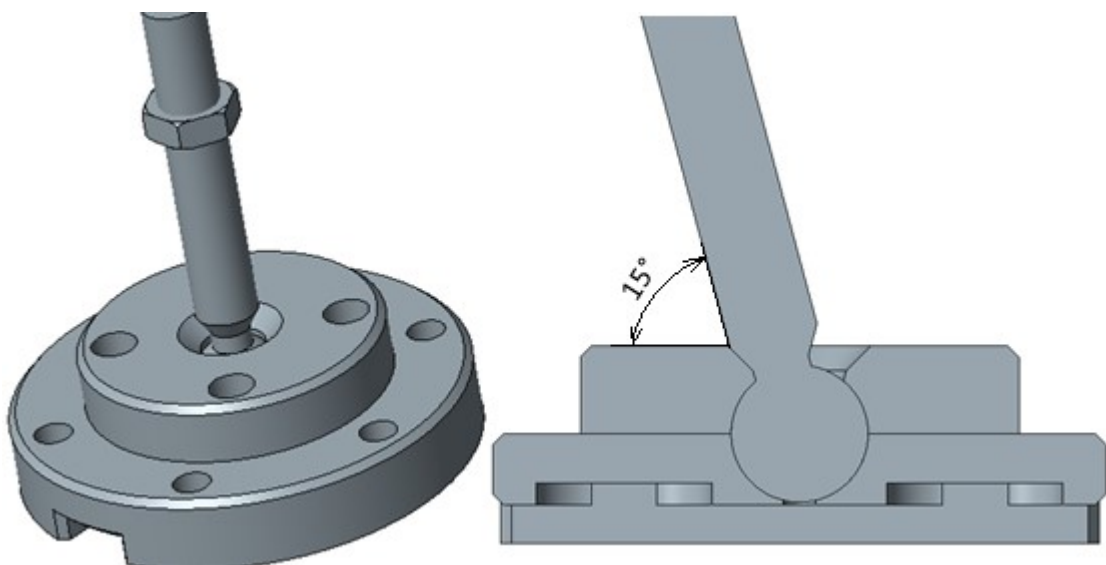
Protože není výkyv definován jen v jedné nebo ve dvou osách, nelze použít klasický výkyvný kloub. V tomto případě je brána inspirace z automobilového průmyslu, konkrétně z kulového čepu, kterým je zajištěna na nápravě automobilu obdobná funkce. Při hledání vhodného normalizovaného dílu je objevena stavěcí noha, která je používána v těžkém průmyslu, nicméně je schopna odolávat jen zatížení tlakem, nikoliv však tahem.

Kombinací těchto dvou výrobků je vytvořen náčrt vlastního řešení a poté vymodelován model kloubového mechanismu. Kloubový mechanismus je složen ze spodního uložení o průměru 120 mm, s roztečí šroubů 100 mm a převlečné matice. Materiálem pro výrobu je zvolena ocel 16MnCr5, protože je vhodná k cementování a kalení třecích ploch mechanismu.



Obr. 40 Kloubový mechanismus

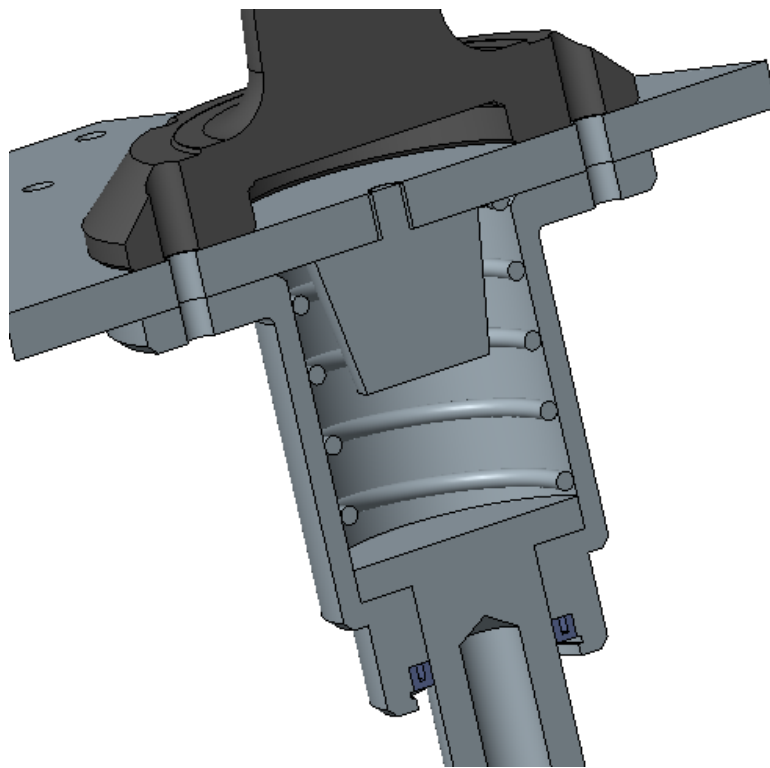
Po konzultaci a předložení prvotního návrhu kloubového mechanismu je zadán požadavek šroubového spojení dílů. Na Obr. 41 je zobrazen upravený kloubový mechanismus. Ve spodním uložení kulového čepu je vytvořena drážka pro vedení pneumatických hadic k magnetu. Aby nebyl překročen maximální výkyv 15° , jsou plochy kulového čepu a horního uložení upraveny tak, že přesně zapadají do sebe a není tak dovoleno většího výkyvu.



Obr. 41 Vylepšený návrh kloubového mechanismu

Je zřejmé, že základní koncept je skoro hotov, nicméně je nutno vyřešit dilataci v ose Z (je brán v úvahu souřadný systém robota), o kterou je magnetický uchopovač připraven

absencí pružin oproti předchozímu návrhu. Pro dilataci je uvažováno taktéž o použití pružiny. Oproti předchozímu návrhu je použita jen jedna pružina, a to uprostřed v pohyblivém pouzdru. Dle požadavkového listu je požadována dilatace v rozmezí 5-15 mm, čímž je tato podmínka splněna. Jako doraz je uvažován silentblok. Ve spodní části je uvažováno gufero, se zajištěním pojistným kroužkem. Rozměry jsou zatím pouze orientační a výpočet pružiny je proveden při pozdější úpravě. Tento mechanismus je umístěn ze spodní strany horní desky, je zde uvažováno, že bude přišroubován spolu s horní deskou magnetického chapadla do příruby robota. Je použita normalizovaná pružina od firmy HENNLICH.

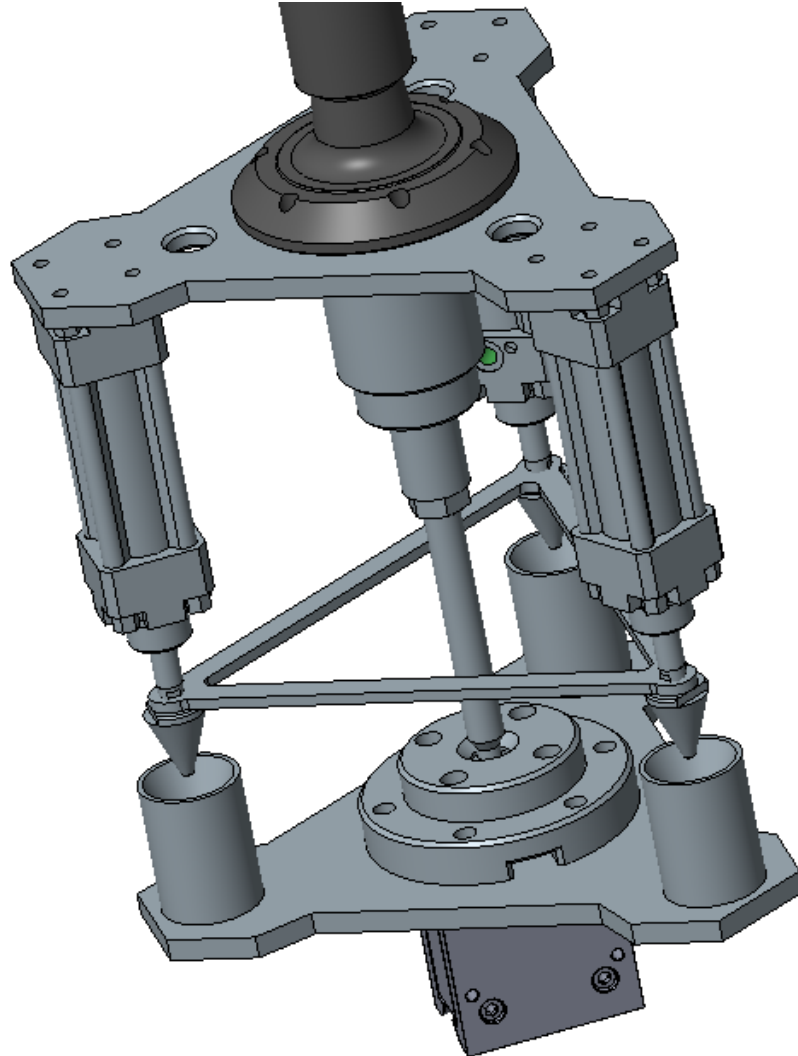


Obr. 42 Mechanismus dilatace v řezu

Z náčrtu řešení lze rozpoznat, že k zajištění polohy a tuhosti magnetického uchopovače jsou použity pneumatické válce. Je nutno tedy navrhnout ještě zajišťovací trn, který je našroubován na pístnici pneumatického válce a západku, která je umístěna na spodní desce magnetického chapadla. Do této západky poté zajíždí zajišťovací trn. Pro trn i západku je volena ocel 16MnCr5 z důvodu následného cementování a kalení.

Jelikož je nutno zajistit, aby pístnice vyjížděly a zajížděly současně, je nutno je synchronizovat. Lze to řešit čidly pro polohu pneumatického válce, nicméně tato metoda vyžaduje dvě čidla pro každý válec a je zde možnost drobných odchylek. Z tohoto důvodu je

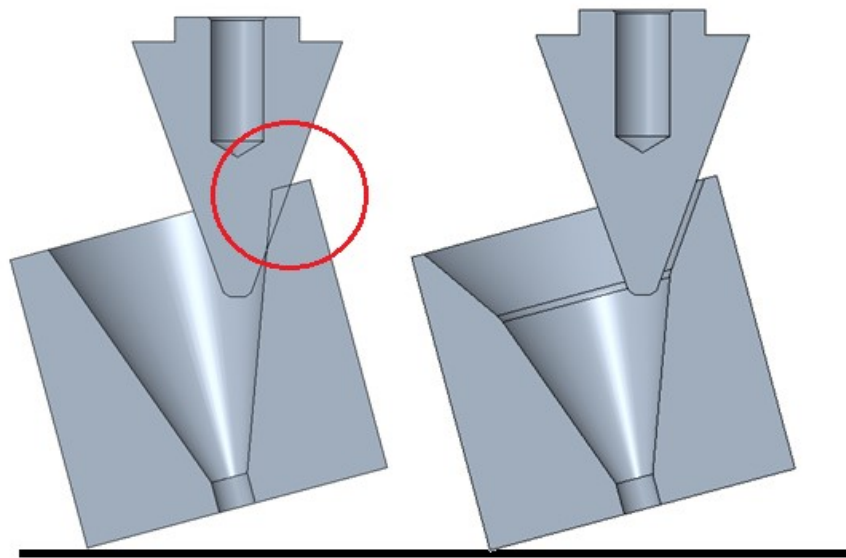
navržena výztuha o síle materiálu 5 mm, která je upevněna nad trny na pístnicích pneumatických válců. Materiál je volen S235J. Zároveň je také upraven základní tvar trojúhelníkových desek odebráním přebytečného materiálu a je tak dosaženo snížení váhy.



Obr. 43 Základní konstrukční koncept

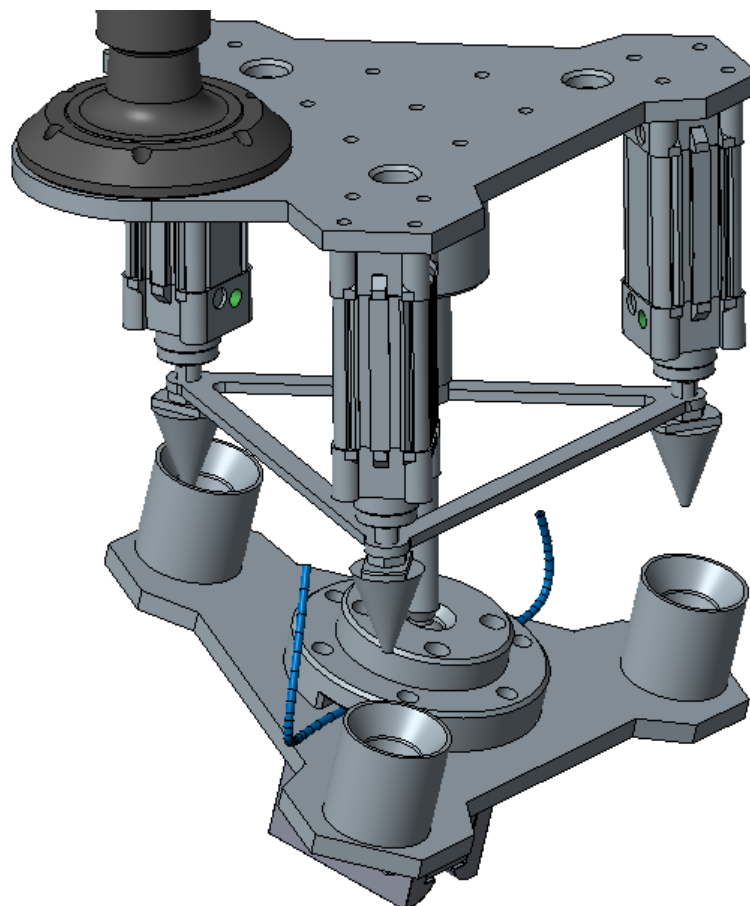
Tento koncept je probrán se zadavatelem, je odsouhlasen jako zdařilý a je doporučeno pokračovat tímto směrem. Nicméně jsou zadavatelem vzneseny i nějaké výhrady ohledně montáže a demontáže magnetického chapadla, vedení mechanismu pro dilataci a tuhosti celého magnetického chapadla.

Základní tvar západky je upraven tak, aby při maximálním náklonu spodní desky 15° byly stěny západky a trnu rovnoběžné. Touto úpravou je dosaženo lepší kompatibility trnu a západky. Výhody úpravy lze porovnat na Obr. 44. Je zřejmé, že před úpravou dochází ke kolizi.



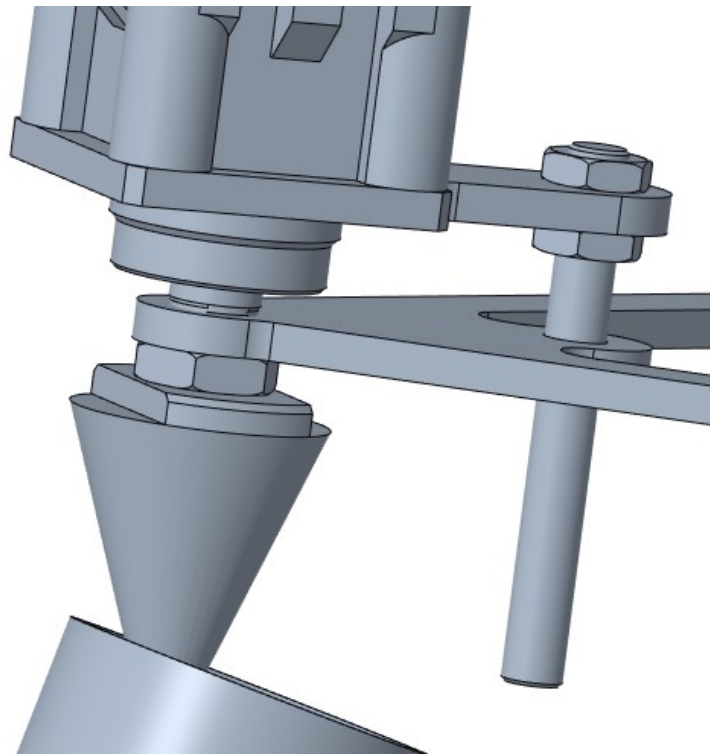
Obr. 44 Zápádka před úpravou a po úpravě

Je také prověřena montáž magnetického chapadla. Montážní místo pro přírubu je tak přesunuto mimo samotné magnetické chapadlo pro snazší montáž. Základní koncept, ze kterého je nadále vycházeno lze vidět na následujícím obrázku.



Obr. 45 Úprava polohy montážní příruby

Dle zkušeností zadavatele není pístnice pneumatického válce velmi dobře vedena ve své ose a při radiálním zatížení může být vychýlena. Pod každý pneumatický válec je tak přidána příruba válce z materiálu S235J o síle 5 mm. Vodící čepy jsou poté vedeny skrz výztuhu. Pomocí těchto vodících čepů je dosaženo zvýšené tuhosti. Čep je zvolen délky 70 mm a průměru 10 mm, na jednom konci je vyřezán závit M10 o délce 20 mm. Vodící čep je poté připevněn pomocí dvou matic M10 k přírubě válce. Z důvodu kalení a cementace je volen materiál čepu 16MnCr5.



Obr. 46 Detail vodícího čepu

Je nutno přepracovat i návrh mechanismu pro dilataci v ose Z. Z důvodu nedostatečného vedení. Je zcela odstraněn silentblok, a jsou upraveny jak rozměry posuvníku, tak rozměry příruby pružiny. Poté je dle rozměrů mechanismu orientačně navržena pružina a síla potřebná pro její stažení ověřena pomocí výpočtu na webu e-konstrukter.cz. (Obr. 47) Dle požadavkového listu je síla pro stlačení pružiny v rozmezí 200–300 N. Dle výpočtu je tato podmínka splněna.

Vstupní parametry

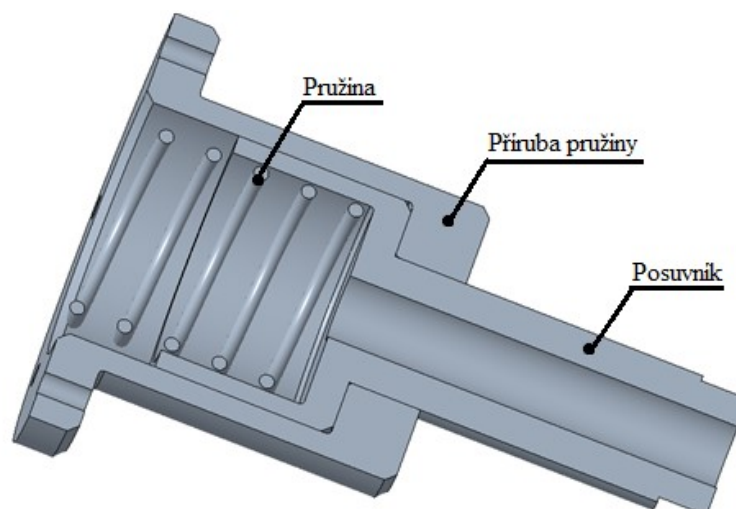
L_0 volná délka pružiny	55	mm
L_1 pracovní délka pružiny	30	mm
d průměr drátu	3	mm
D_1 vnější pr. pružiny	45	mm
k tuhost pružiny	10	N/mm

Výstupní hodnoty

F_1 síla pružiny při stlačení na délku L_1	250	N
T_{max} smykové napětí v drátu	1161.37	MPa

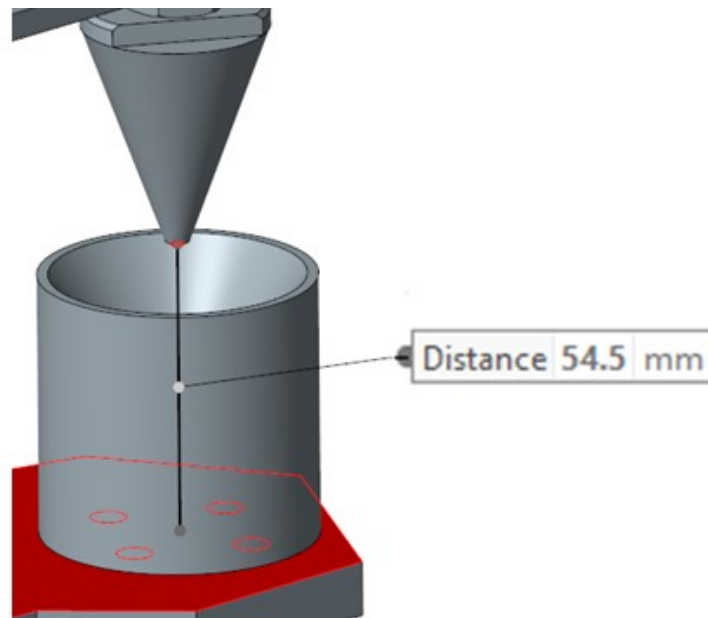
Obr. 47 Orientační výpočet [8]

Je tedy navržen posuvník s vnitřním průměrem 47 mm a vnějším průměrem 55 mm a kontaktní plochy pro posuv 37 mm. Délka osazení pro našroubování kulového čepu je uvažována 75 mm. Na konci tohoto osazení je navržena šestihranná montážní plocha pro klíč. Skrz celý posuvník je vyřezán závit M16 pro kulový čep. Zašroubováním čepu lze regulovat vzdálenost horní a spodní desky od sebe. Dále je navržena příruba o vnitřním průměru 55 mm a vnějším průměru 65 mm a kontaktní plochou pro posuv 57 mm. Připevnění příruby pružiny k horní desce je šesti šrouby M6 s roztečí 80 mm. Z rozdílu obou kontaktních ploch plyne, že maximální dilatace je 20 mm, čímž je splněna zadaná podmínka dilatace. Materiál příruby pružiny i posuvníku je volen 16MnCr5 z důvodu cementace a kalení kluzných ploch.



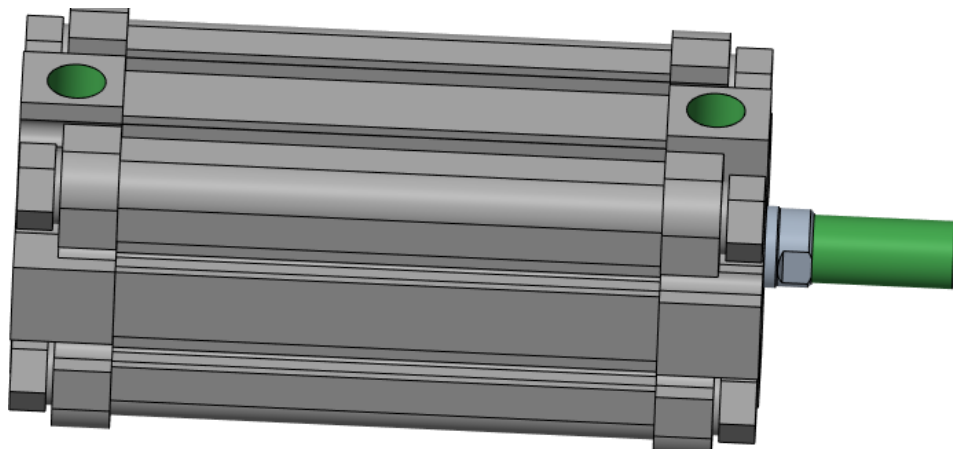
Obr. 48 Mechanismus pro dilataci v ose Z

Následující krok je zaměřen na to, že jsou zvoleny pneumatické válce se správným zdvihem. Je zapotřebí zjistit, jaká je vzdálenost mezi spodní deskou a spodní hranou trnu, když je pneumatický válec zatažen. Z následujícího obrázku je zřejmé, že tento rozměr je 54,5 mm. Je nutno také počítat s mírnou rezervou.



Obr. 49 Vzálenost mezi spodní deskou a hranou trnu

Jelikož prioritou je dosažení velikého zdvihu při malých rozměrech pneumatického válce, je z tohoto důvodu vybrán kompaktní dvojčinný pneumatický válec od firmy Stránský a Petržík se zdvihem 65 mm při délce pneumatického válce 110 mm. Stěny válce jsou opatřeny dvěma drážkami pro polohová čidla. Charakteristika válce viz. Tab. 7.

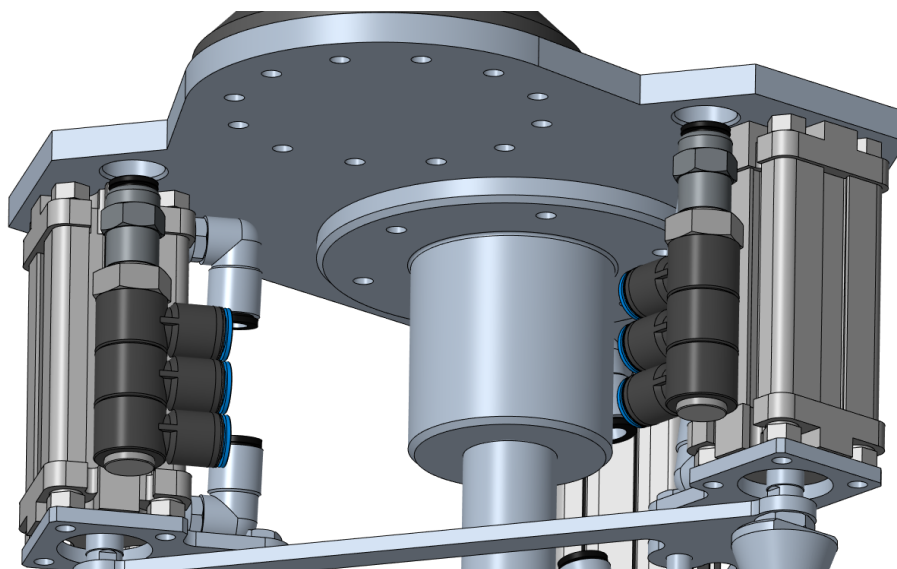


Obr. 50 Pneumatický dvojčinný válec [34]

Tab. 7 Charakteristika pneumatického válce

Charakteristika pneumatického válce	
Pracovní tlak	6 bar
Vysouvací síla	482 N
Zasouvací síla	415 N
Maximální rosný bod vody	3 °C
Maximální koncentrace oleje	25 mg/m ³
Maximální koncentrace nečistot	10 mg/m ³
Maximální velikost nečistot	40 μm
Kritická vzpěrová pevnost pístnice	5000 N
Tolerance zdvihu	DIN ISO 6431

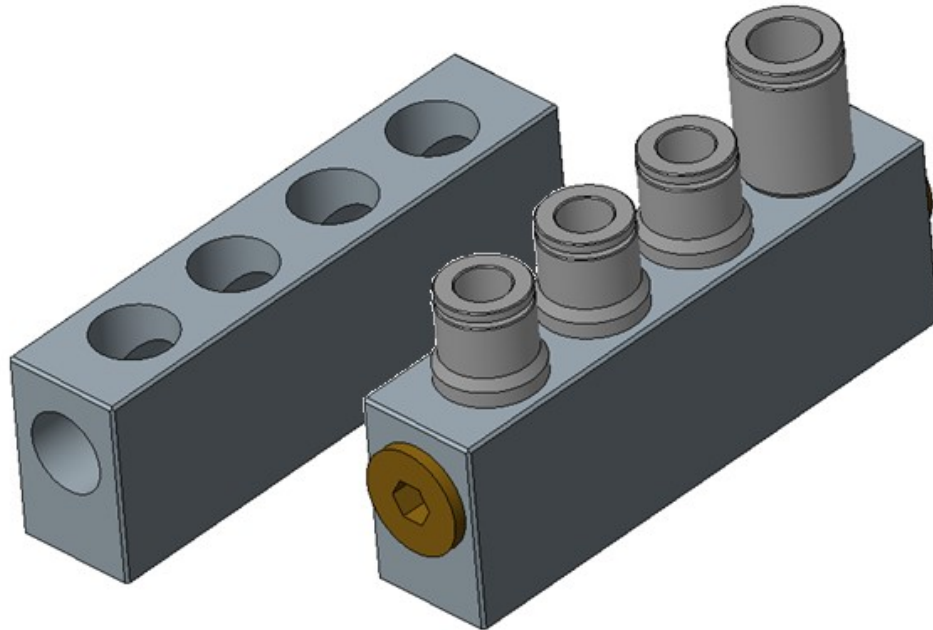
V dalším kroku je uvažováno nad rozvodem pneumatického vedení. Jelikož všechny tři válce mají vždy stejnou funkci, je už od začátku uvažováno nad dvěma hlavními přívody vzduchu k rozvaděčům, které rozdělují vzduch do všech válců. Ve snaze použít co nejvíce normalizovaných dílů je vybrán rozvodný blok Festo QSLV3-G1/4-10. Blok je opatřen jedním vstupem se závitem G1/4 a třemi výstupy hadice o průměru 8 mm. Nicméně po zástavbě do modelu je shledán jako nevhodný z důvodu velkých rozměrů a nesnadného upevnění.



Obr. 51 Použití rozvodných bloků Festo

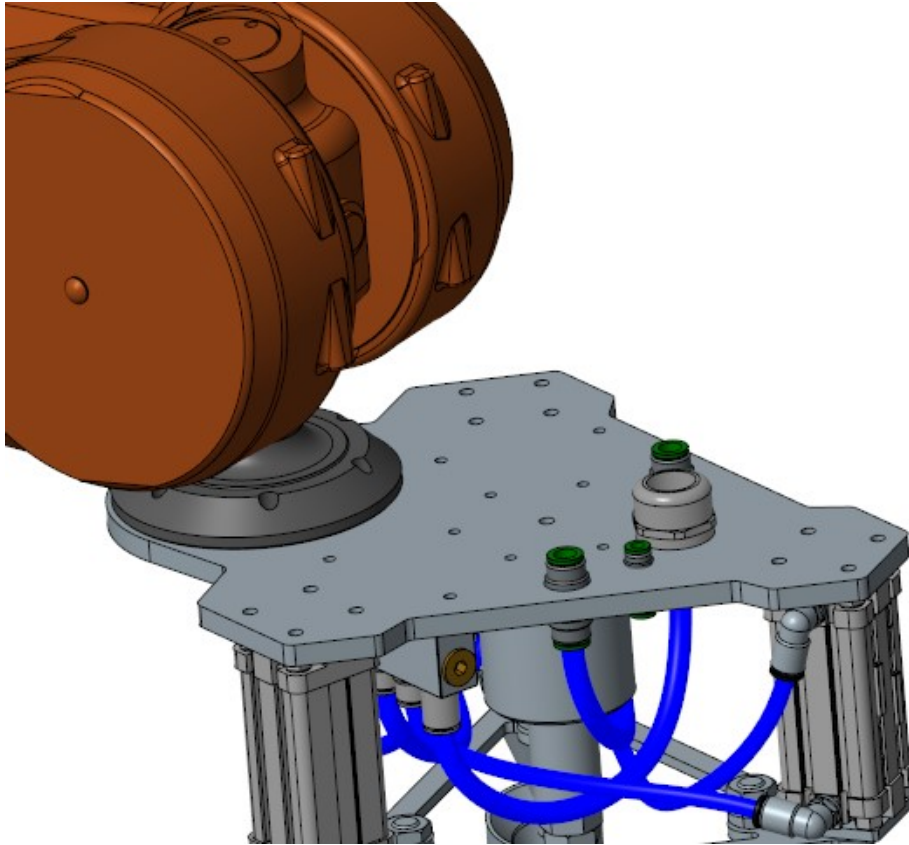
Jelikož není v současné době na trhu rozvodný blok s vyhovujícími rozměry, je tedy přistoupeno k návrhu vlastního rozvodného bloku. Je navržen rozvodný blok s rozměry podstavy 90x20 mm a výškou 30 mm z materiálu S235J. Blok je opatřen závity G1/4. Rozvodný blok je osazen nástrčným šroubením Festo NPQH s vnitřním šestihranem

pro snadnou montáž. Na doporučení zadavatele je pro přívodní hadici zvolen průměr 10 mm a pro rozvodné hadice jsou voleny průměry 8 mm. Na čelních stranách rozvodného bloku jsou zašroubovány zátky. Rozvodné bloky jsou poté umístěny ze spodní strany horní desky. Model rozvodného bloku je zobrazen na Obr. 52.



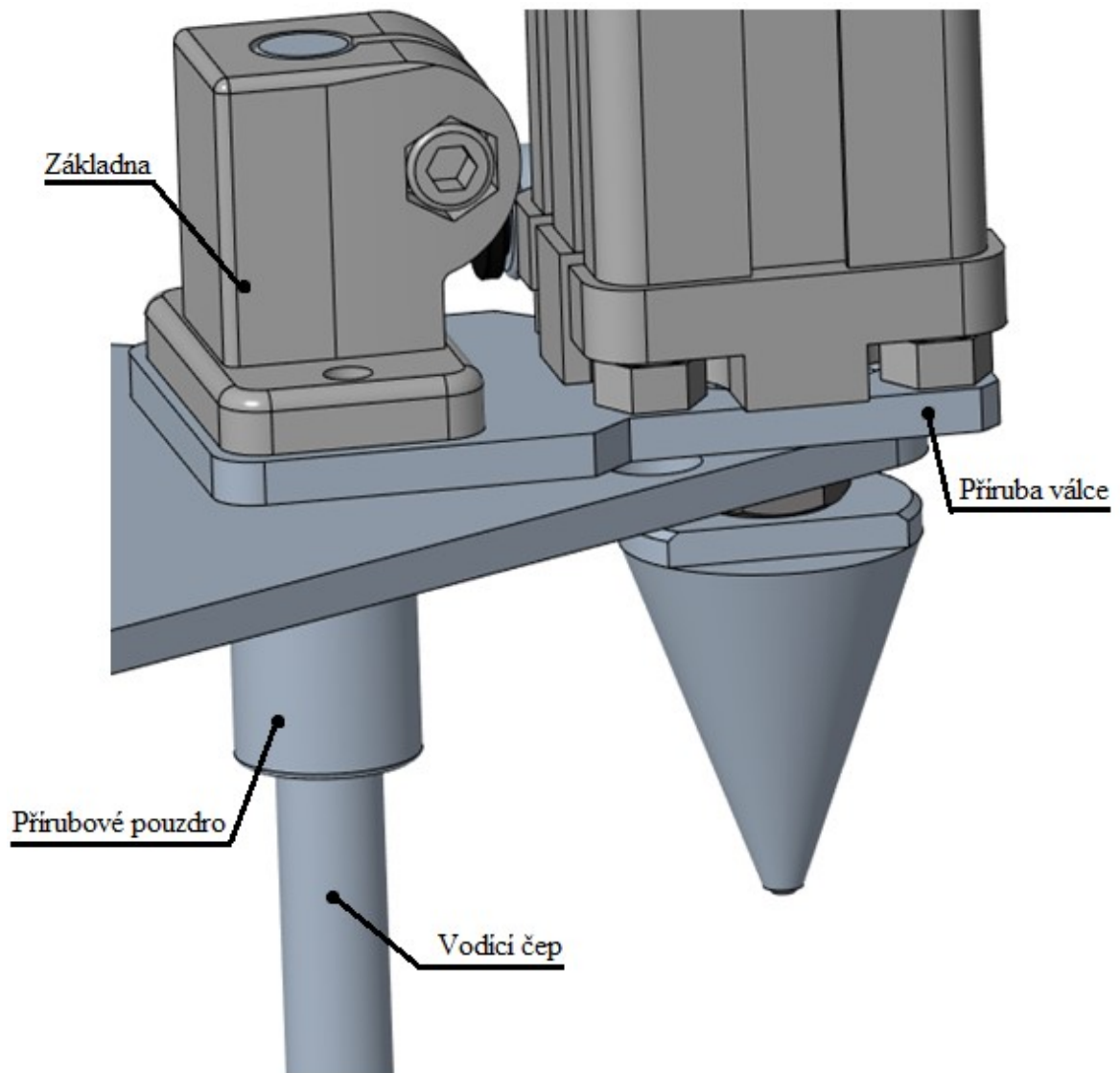
Obr. 52 Rozvodný blok osazen nástrčným šroubením

Pro lepší přístup při montáži hadic jsou pneumatické válce otočeny o 90°, tak aby byl přívod stlačeného vzduchu umístěn z boční strany. Zároveň pro snazší montáž magnetického chapadla je horní deska opatřena nástrčným šroubením ve formě průchodek pro pneumatické hadice od firmy Stránský a Petržík. Průchodky o průměru 10 mm jsou pro přívod k pneumatickým válcům a pomocí průchodek o průměru 6 mm je zajištěno přívodu stlačeného vzduchu k permanentnímu magnetu. Vedle průchodek pro pneumatické hadice je dále přidána kabelová průchodka typu EMC od firmy RITTAL. Jsou vymodelovány hadice od rozvodných bloků k válcům a k průchodkám pro lepší představu celkové koncepce modelu. Zároveň je model magnetického chapadla umístěn na paži robota pro kontrolu případné kolize některé části magnetického chapadla.



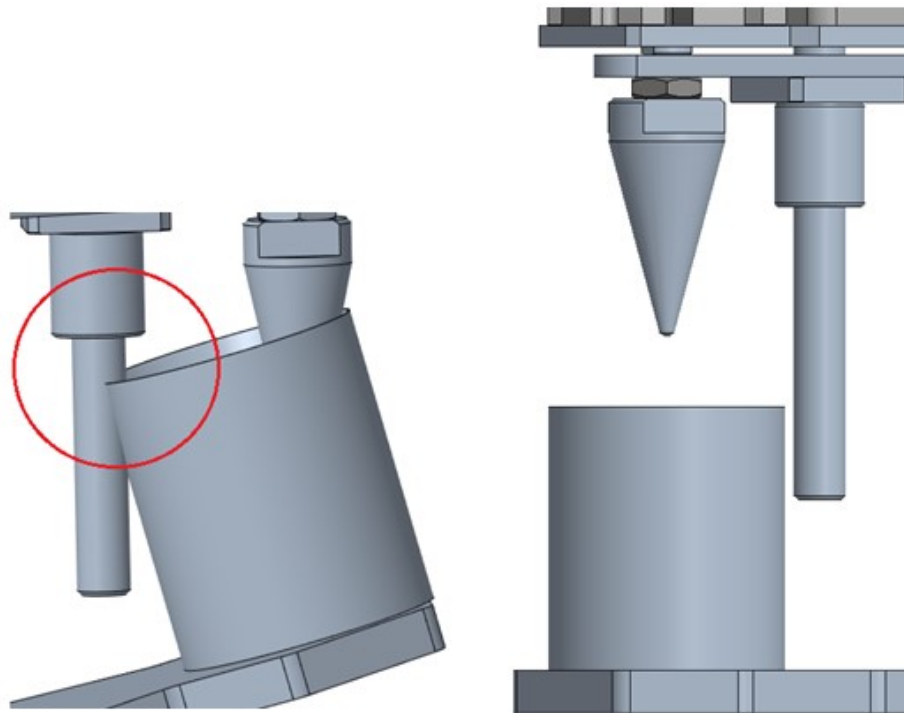
Obr. 53 Magnetické chapadlo umístěno na robotu

Po konzultaci se zadavatelem je postup shledán jako správný, nicméně je podána výhrada ohledně výztuhy a vodících čepů pneumatických válců. Na přání zadavatele je tato část přepracována. Původním upevněním vodícího čepu pomocí matic není zajištěna dostatečná tuhost. Je hledán vhodný prvek s dostatečnou tuhostí pro upevnění vodícího čepu. Proto je na přírubu válce přišroubována základna GN 162.3 z nerezové oceli od firmy ELESA+GANTER s vnitřním průměrem 12 mm. Základna je upevněna pomocí dvou šroubů M5x12. Do této základny je poté umístěn vodící čep o průměru 12 mm a délce 150 mm který je vyroben z polotovaru vodící tyče od firmy Hiwin. Samotná výztuha je zvětšena, čímž se stává robustnější a je na ní umístěno přírubové kuličkové pouzdro JBK s vnitřním průměrem 12 mm, délkou 30 mm a rozměry základny 32 x 32 mm. Celou sestavu lze vidět na následujícím obrázku.



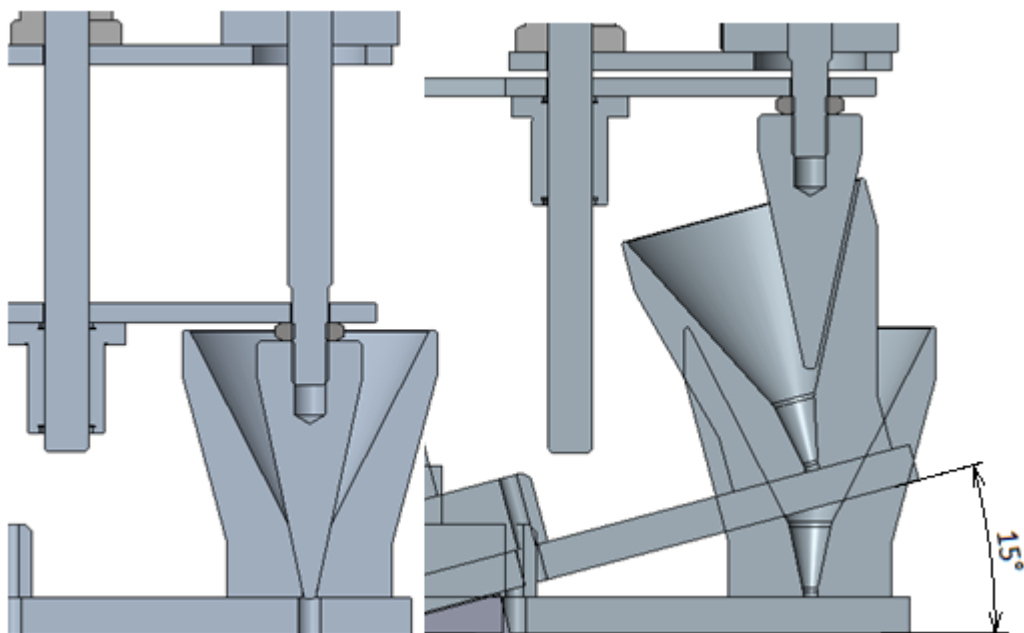
Obr. 54 Přepracované vedení vodícího čepu

Při testech funkčnosti magnetického chapadla je zjištěno, že při maximálním náklonu 15° dochází ke kolizi vodícího čepu a západky a při úplném zasunutí válců a uvolnění magnetického chapadla může dojít k otočení v kolem osy Z. V případě otočení je znemožněno opětovné zajištění trnu do západky. Celé chapadlo se tak stává nefunkčním. Oba tyto nedostatky jsou zobrazeny na následujícím obrázku.



Obr. 55 Kolize vodícího čepu se západkou a přesah trnu

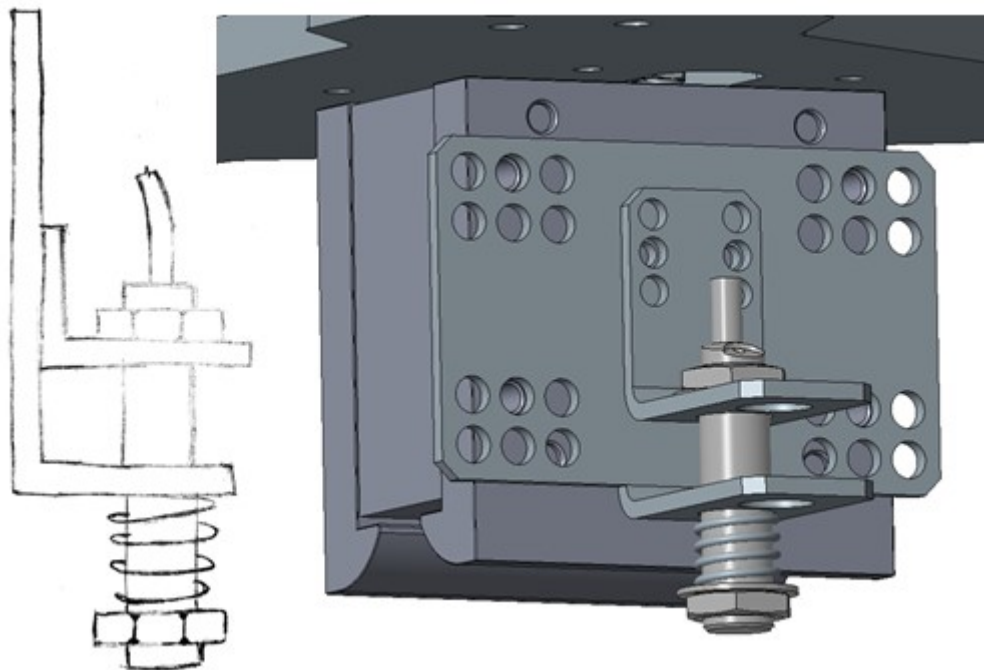
Kolize je vyřešena posunem vodícího čepu od západky směrem ke středu magnetického chapadla. Dále je řešen problém špatné geometrie západky a zajišťovacího trnu. Pro lepší představu je pracováno přímo v sestavě. Sérií pokusů a testování je dosaženo výsledného tvaru západky a trnu, který lze vidět na Obr. 56.



Obr. 56 Výsledný tvar trnu a západky

V tomto stádiu je provedena konzultace se zadavatelem. Dosavadní práce je hodnocena kladně, nicméně je podán zadavatelem požadavek o vybavení magnetického uchopovače indukčními čidly, pomocí kterých je zaznamenána přítomnost výkovku a dilatace v ose Z. K dilataci v ose Z dochází, když je magnetický uchopovač zapřen o výkovek nebo o dopravníkový pás. Dále je požadováno, aby čidlo, pomocí kterého je zaznamenávána přítomnost výkovku, bylo odpružené a nedošlo tak k jeho poškození v případě nárazu výkovku do čidla. Je doporučeno použití pozitivně spínaných indukčních čidel.

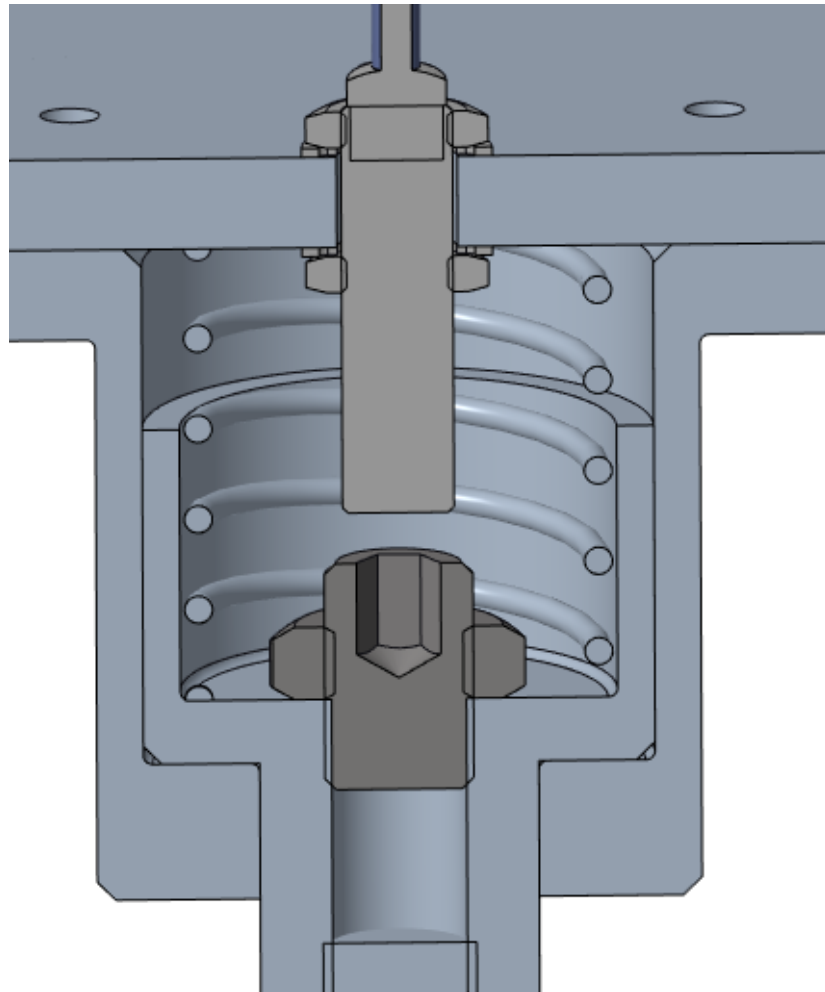
Před samotným návrhem držáku pro čidlo, pomocí kterého je snímána přítomnost výkovku je načrtnut návrh a poté je dle návrhu vymodelován držák, který je osazen indukčním čidlem TURCK BI6U-M12-AP6X. K přišroubování držáku je použito šroubů M6x12 a jsou využity díry, které jsou v magnetu připraveny od výroby. Držák je sestaven ze dvou částí, které jsou k sobě sešroubovány, v obou částech se nachází více děr z důvodu lepší nastavitelnosti polohy čidla. Samotné čidlo lze ještě nastavovat nahoru a dolů pomocí polohy matic. K odpružení čidla je zde využita pružina od firmy HENNLICH.



Obr. 57 Náčrt a model držáku čidla na magnetu

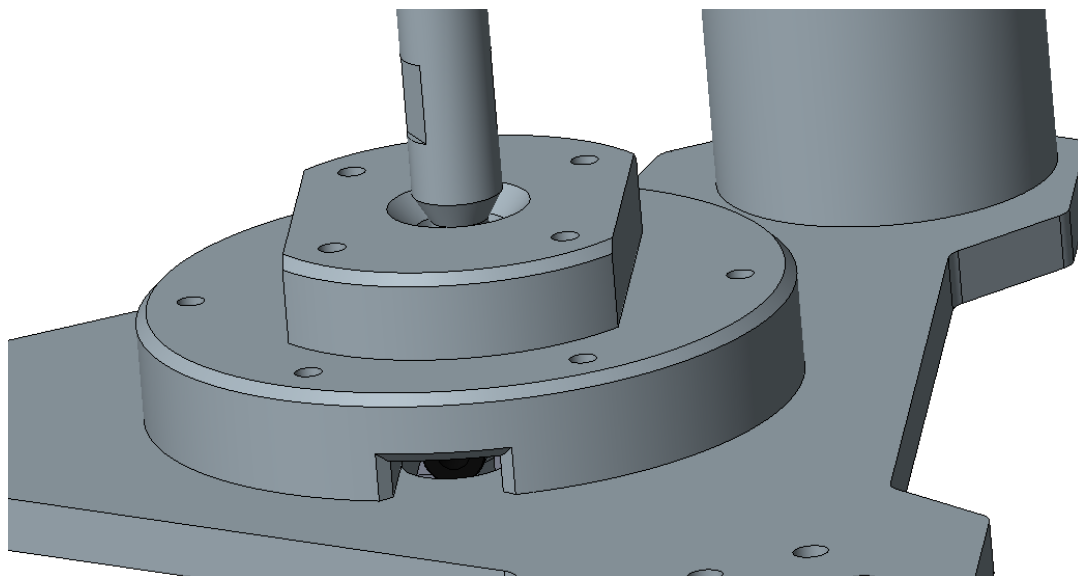
Pro zjištění dilatace v ose Z je použito shodné čidlo od firmy TURCK, které je umístěno do horní desky, čidlo je seřiditelné v ose Z. Proti čidlu je osazen stavěcí šroub M16x25,

který je zašroubován do posuvníku a zajištěn maticí. Lze tak kombinací zašroubování stavěcího šroubu a čidla regulovat, při jaké hodnotě dilatace v ose Z je čidlo sepnuto.



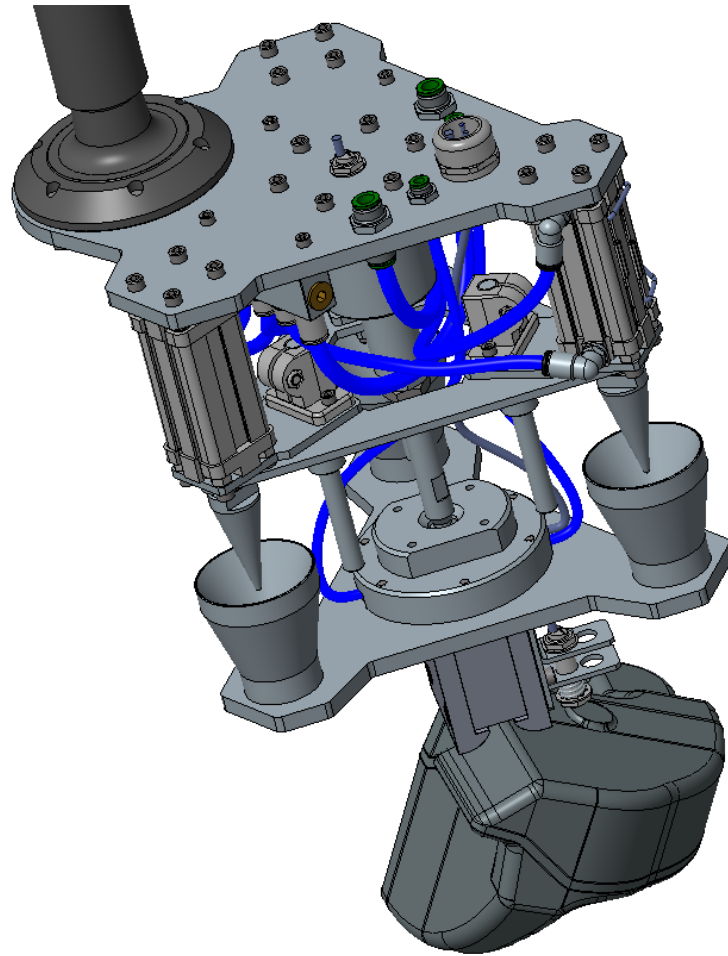
Obr. 58 Stavěcí šroub a čidlo

S ohledem na montáž je upravena sestava kloubového mechanismu. Na kulovém čepu je dodělána ploška pro klíč, na horním uložení kulového čepu je taktéž dodělána plocha pro klíč. Navíc je ještě upraveno pořadí sestavení kloubového mechanismu a to tak, že se první prostrčí kulový čep horním uložením kulového čepu a poté se přes spodní uložení kulového čepu zašroubují šrouby do horního uložení kulového čepu. Celá tato sestava je poté přišroubována šrouby ze spodní strany spodní desky.

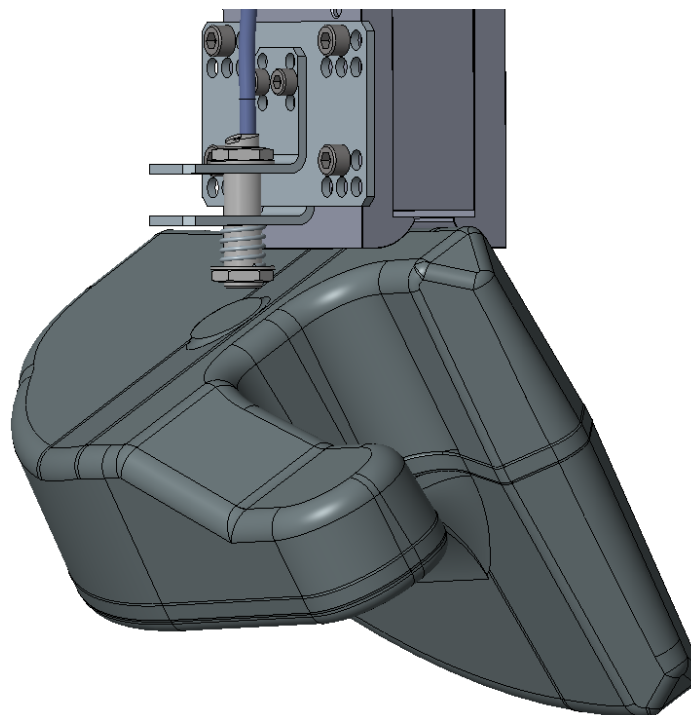


Obr. 59 Upravený kloubový mechanismus

Takto hotový model je osazen odpovídajícími šrouby, na pneumatický válec jsou přidány čidla polohy, jsou domodelovány hadice pneumatického systému pro pneumatické válce i pro permanentní magnet. Dále jsou domodelovány kabely k čidlům. Do hotového modelu je vložen největší a zároveň nejtěžší výkovek o hmotnosti 16,11 kg, se kterým je dále pracováno při testech a analýzách magnetického chapadla.



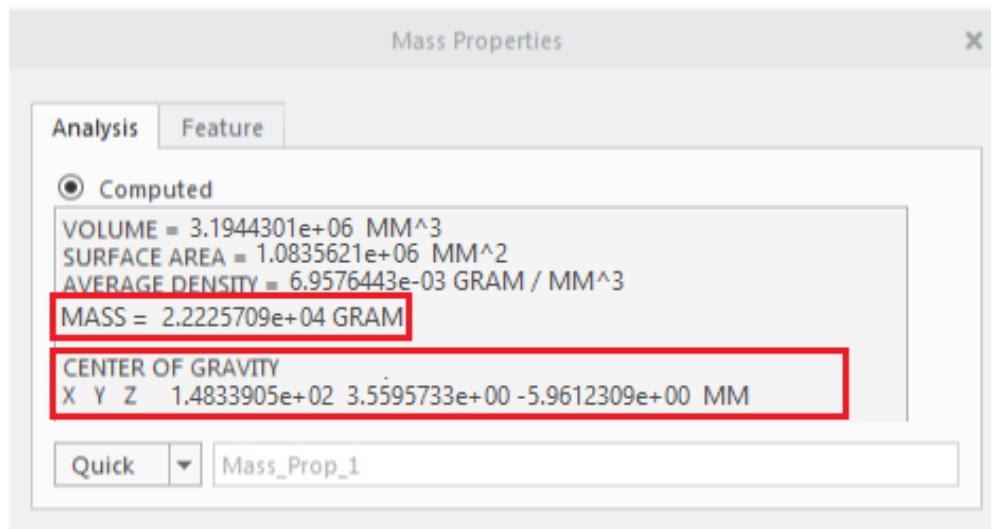
Obr. 60 Finální sestava magnetického chapadla



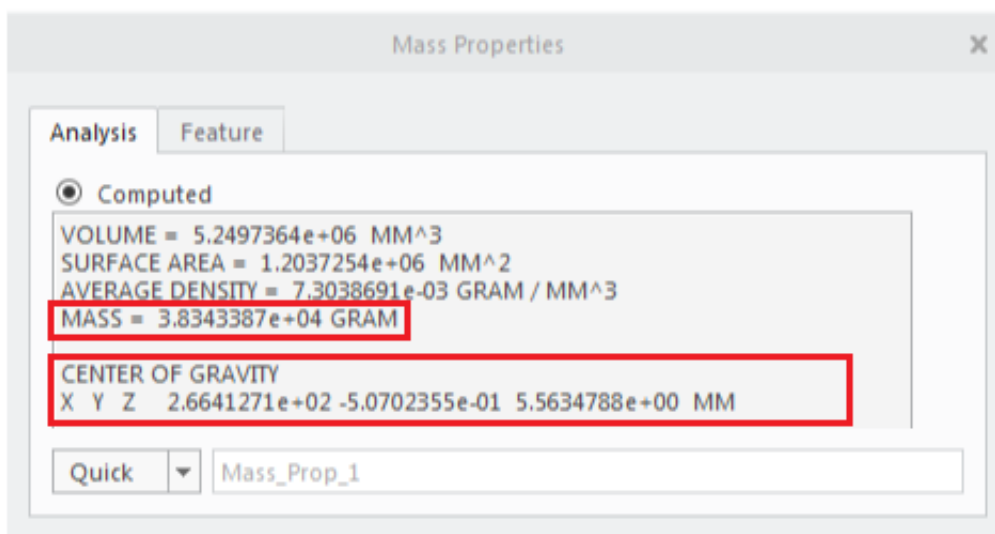
Obr. 61 Detail uchopeného výkovku

9.3 Výpočty, analýzy a ověření

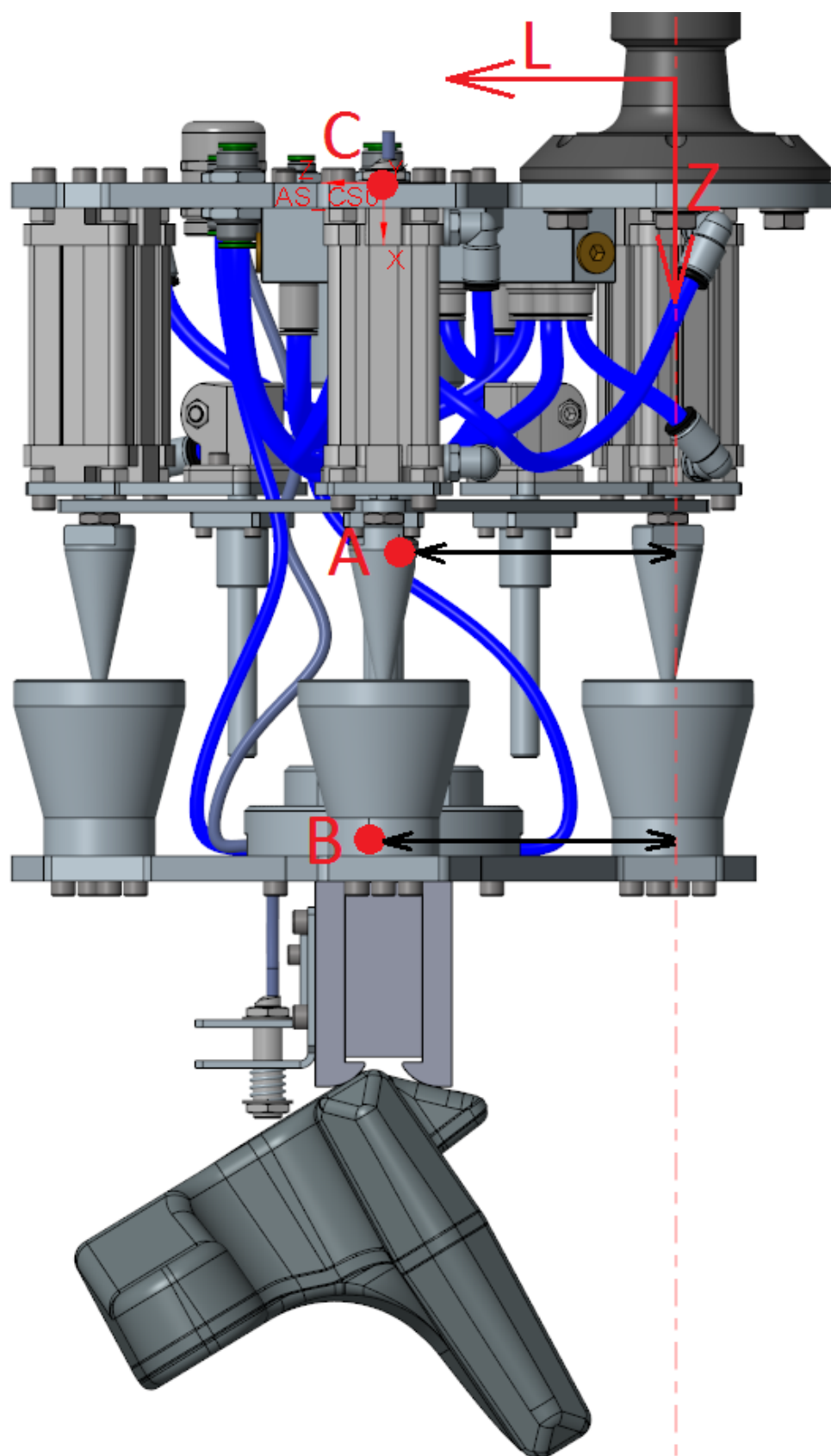
Zátěžový diagram robota je zadán dvěma osami Z a L. Osa Z je v ose příruby robota a odpovídá vzdálenosti na ose x souřadného systému sestavy. Osa L je kolmá na přírubu robota. Těžiště sestavy magnetického chapadla je vztaženo k základnímu souřadnému systému. Na Obr. 64 je souřadný systém označen bodem C. Pro zjištění, jestli je splněna podmínka nosnosti robota je vzdálenost těžiště přeměřena od osy příruby robota k bodu těžiště v sestavě. Bodem A je vyznačeno těžiště bez výkovku a bodem B je vyznačeno těžiště s výkovkem č. 3. Do těžiště není započítána příruba robota. Hodnoty polohy a hmotnosti těžiště jsou uvedeny v Tab. 8. Dle předpokladu je nejvzdálenější bod těžiště u výkovku č. 3.



Obr. 62 Hmotnost a poloha těžiště magnetického chapadla bez výkovku



Obr. 63 Hmotnost a polohy těžiště magnetického chapadla včetně výkovku

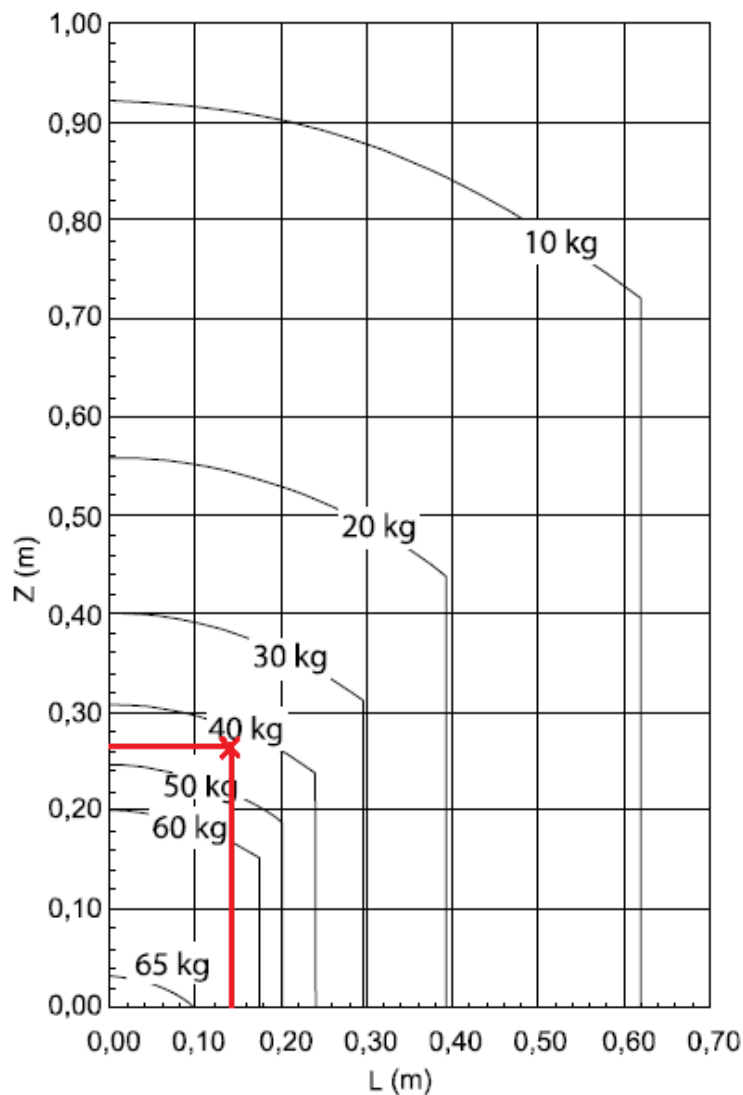


Obr. 64 Těžiště magnetického chapadla

Tab. 8 Poloha těžiště a hmotnost

Chapadlo	x [mm]	y [mm]	z [mm]	Z [mm]	L [mm]	Hmotnost [kg]
Bez výkovku	148,3	3,5	-6	148,3	128,2	22,23
S výkovkem č. 1	207,7	-6,8	-6,4	207,7	133,6	29,9
S výkovkem č. 2	192,9	7,8	-6,4	192,9	125,9	28,9
S výkovkem č. 3	266,4	-50,7	5,6	266,4	140,1	38,34
S výkovkem č. 4	263,7	12,6	4,6	263,7	133,5	38,34
S výkovkem č. 5	220,1	-2,9	-9,6	220,1	128,1	32,08
S výkovkem č. 6	166,6	4,5	-4,9	166,6	128,4	24,45
S výkovkem č. 7	235,9	-3,3	-2,8	235,9	133,9	37,21
S výkovkem č. 8	237,4	19,8	9,7	237,4	135,5	37,03

Do zátěžového diagramu jsou zakresleny vzdálenosti v ose Z a L. Z grafu je zřejmé, že průsečík je mezi hodnotami 40 a 50 kg, odhadem kolem 44 kg. Tímto je splněna podmínka nosnosti robota, protože hmotnost magnetického chapadla včetně výkovku s největší hmotností je 38,34 kg.



Obr. 65 Zátěžový diagram

Před samotnou analýzou je nutno ještě ověřit šroubové spojení. Pro přišroubování příruby pružiny, spodního uložení kulového čepu a dolního kulového čepu jsou použity šrouby M6 třídy pevnosti 8.8. Tato šroubová spojení jsou namáhána na tah a jsou to nejvíce namáhané šroubové spoje na magnetickém chapadle. Nejkritičtější je spojení mezi spodním uložením kulového čepu a horním uložením kulového čepu, protože je zajištěno nejmenším počtem šroubů. Šroubové spojení je provedeno pomocí čtyř šroubů M6x25.

Dovolené tahové napětí pro šroub třídy pevnosti 8.8 $\sigma_{Dt} = 800 \text{ MPa}$

Při výpočtu šroubů na tah platí podmínka $\sigma_t < \sigma_{Dt}$

Je počítáno dle vzorce:

$$\sigma_t = \frac{F_c}{S} = \frac{F_c}{n \cdot \left(\frac{\pi \cdot d_3^2}{4} \right)} \quad (3)$$

Je uvažována hmotnost celého magnetického uchopovače včetně výkovku při bezpečnosti $K = 3$.

$$g = m \cdot K \cdot g \quad (4)$$

$$F_g = 38,34 \cdot 3 \cdot 10 = 1150,2 \text{ N}$$

Dále je uvažována vysouvací síla válců. Pracovní tlak je 6 Bar, což je 0,6 MPa. Dle tabulky je vysouvací síla jednoho válce 482 N pro píst o průměru 32 mm. Tato síla je započítána třikrát, protože je magnetické chapadlo osazeno třemi pneumatickými válci.

Tab. 9 Hodnoty vysouvací síly pneumatického válce [33]

Průměr pístu [mm]	32
Vysouvací síla při 6 bar [N]	482
Zasouvací síla při 6 bar [N]	415

$$F_2 = 482 \cdot 3 = 1446 \text{ N}$$

$$F_c = F_g + F_2 \quad (5)$$

$$F_c = 1150,2 + 1446 = 2596,2 \text{ N}$$

Malý průměr šroubu: $d_3 = 4,596 \text{ mm}$

$$\sigma_t = \frac{2596,2}{4 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 4,596^2}{4} \right)} = 39,1 \text{ MPa}$$

$\sigma_t < \sigma_{Dt}$ podmínka je splněna

Jako další je kontrolován kulový čep v nejužším místě. Na kulový čep je použit materiál 16MnCr5. Dovolené napětí v tahu tohoto materiálu je $\sigma_{Dt} = 735 \text{ MPa}$

Zatěžovací síly jsou použity stejné jako pro předchozí výpočet šroubů. Průměr čepu v nejužším místě $d = 10,5 \text{ mm}$

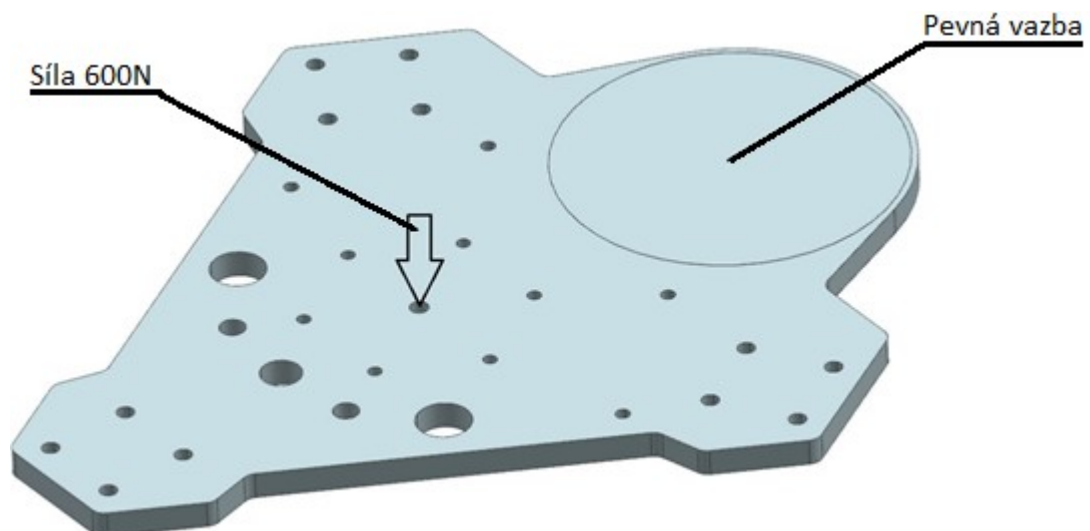
$$\sigma_t = \frac{F_c}{S} = \frac{F_c}{n \cdot \left(\frac{\pi \cdot d^2}{4}\right)}$$

$$\sigma_t = \frac{2596,2}{1 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 10,5^2}{4}\right)} = 33 \text{ MPa}$$

$\sigma_t < \sigma_{Dt}$ podmínka je splněna

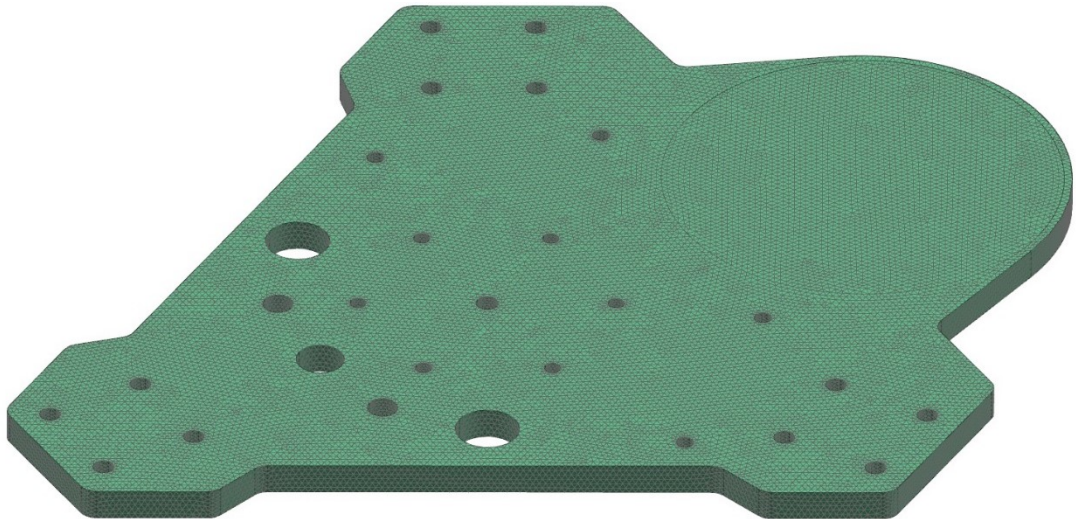
Poté, co jsou provedeny jednoduché kontrolní výpočty, jsou nejvíce namáhané části podrobeny počítačové analýze. Při výběru částí pro analýzu je nutno zapojit konstruktérské zkušenosti z jiných projektů.

První analýze je podrobena horní deska, a to z důvodu zjištění ohybu při zatížení (posun bodu). Materiál je konstrukční ocel S235J s dovoleným napětím v tahu $\sigma_{Dt} = 400 \text{ N}$. Jsou nastaveny okrajové podmínky. V místě příruby robota je nastavena pevná vazba a v místě osy kulového čepu je deska zatížena silou 600 N. Tato síla je stanovena z celkové nosnosti robota, což je 60 kg.



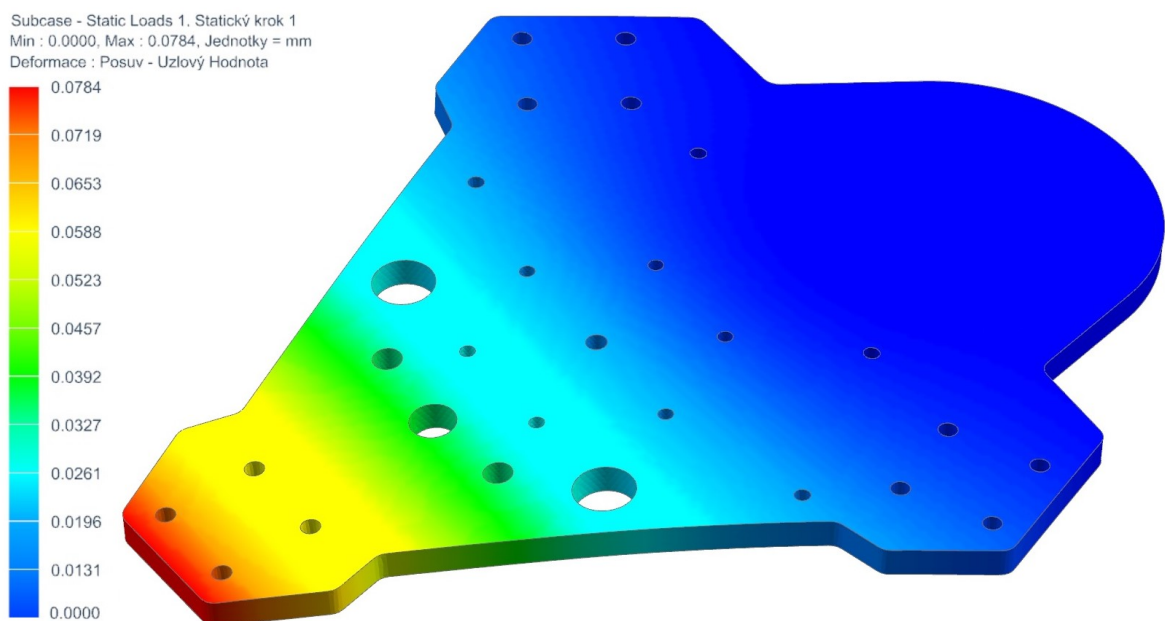
Obr. 66 Okrajové podmínky

Poté je deska vysítována rovnoramenným čtyřstěnem o velikosti hrany 2 mm, případné vady v síti jsou opraveny manuálně. Vysítovaou desku lze vidět na následujícím obrázku.



Obr. 67 Vysíťovaná deska

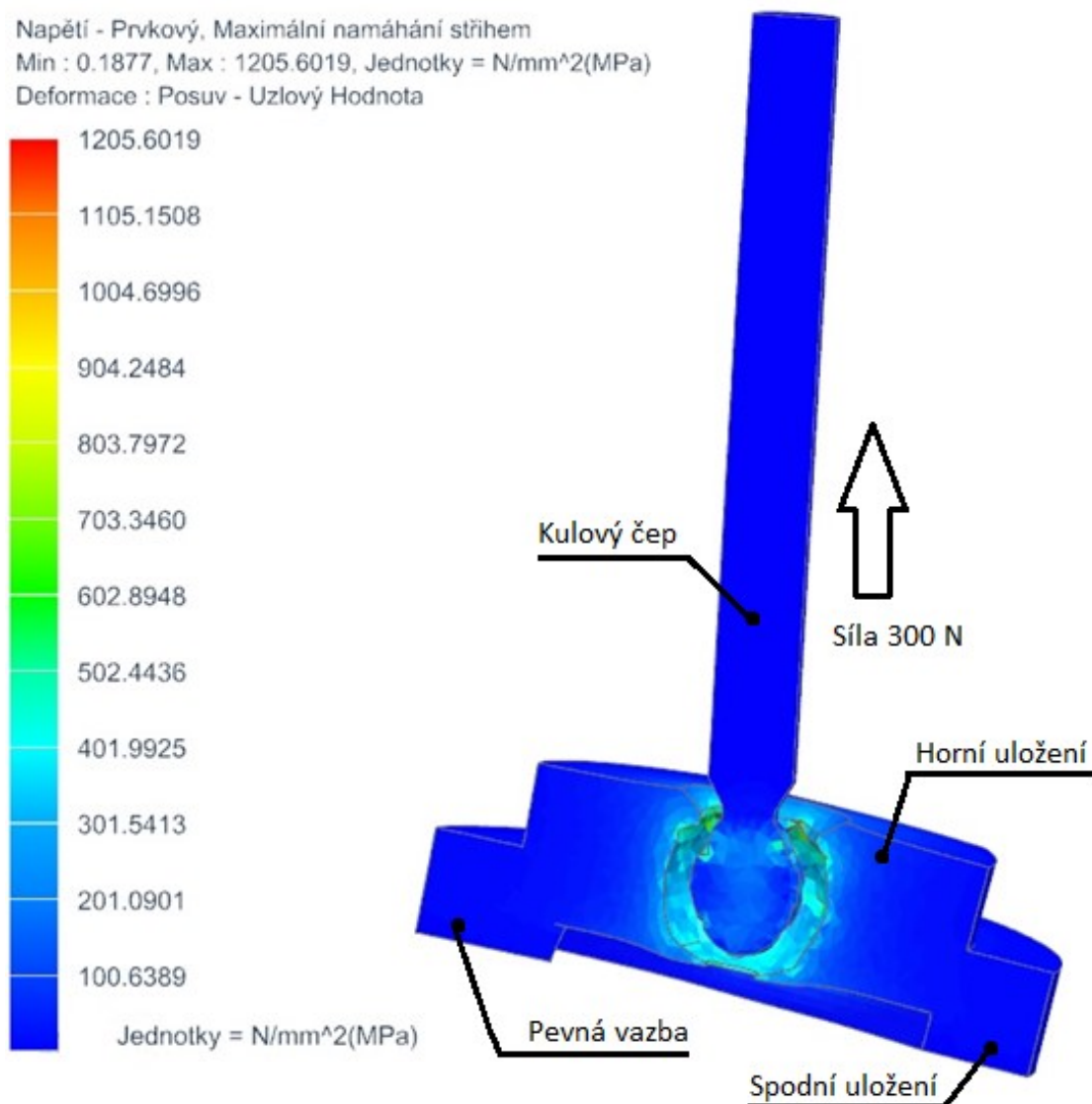
Z výsledků analýzy je zřejmé, že maximální průhyb je dle předpokladu v nejvzdálenějším bodě od umístění příruby robota. Maximální zjištěný průhyb (posun bodu) je 0,0784 mm, čímž je splněna podmínka zadavatele na tuhost jednotlivých částí magnetického cha-padla. Maximální možný průhyb akceptovaný zadavatelem je 1 mm.



Obr. 68 Výsledek analýzy horní desky

K další analýze je zvoleno uložení kulového čepu. Materiál je ušlechtilá konstrukční ocel 16MnCr5 cementováno a kaleno na 50 ± 2 HRC, $\text{CHD} = 0,5 \pm 0,1$ s dovoleným napětím ve stříhu $\sigma_{Ds} = 1030 - 1375$ MPa. V této analýze je namáháno horní uložení kulového čepu na stříh. Vysíťování je provedeno rovnoramenným čtyřstěnem o velikosti hrany 2 mm. Horní uložení a spodní uložení je pro zjednodušení zobrazeno jako jeden pevný díl, protože

v sestavě jsou tyto části pevně spojeny šrouby. Na spodní plochu spodního uložení je nakonfigurována pevná vazba a v ose kulového čepu je nastavena síla 300 N. Při velikosti síly je vycházeno z celkové hmotnosti kloubové sestavy a nejtěžšího výkovku, kterou je toto uložení zatěžováno. Tato hmotnost je 25,7 kg. Je zde počítáno i s rezervou a následná hmotnost je tedy stanovena 30 kg. Z následujícího obrázku je zřejmé, že maximální namáhání je 1205,6 MPa, nicméně tato hodnota je jen lokální extrém, který se nepodařilo odfiltrovat. Přesto prvek vyhovuje, protože v okolí kulového čepu je napětí v rozmezí 500-600 Mpa a není překročeno maximální povolené napětí 1375 MPa.



Obr. 69 Namáhání horního uložení

Dle provedených výpočtů a analýz je zřejmé, že tento návrh magnetického chapadla je považován za konečný a je předán zadavateli diplomové práce. Pro sestrojení magnetického chapadla je zadáno do výroby celkem čtrnáct výrobků. Horní deska a spodní deska jsou

vypáleny z polotovaru plechu o síle 10 mm z materiálu S235J. Výztuha a příruba válce jsou vypáleny z polotovaru plechu o síle 5 mm z materiálu S235J. Držák snímače a L-profil jsou vypáleny z polotovaru plechu o síle 3 mm z materiálu S235J a jsou ohnuty do příslušného tvaru dle výkresové dokumentace. Rozvodný blok je vyroben z materiálu S235J. Příruba pružiny je vyrobena z materiálu S235J. Posuvník je taktéž vyroben z materiálu S235J. Trny a západky jsou vyrobeny z materiálu 16MnCr5 a jsou cementovány a kaleny na 50 ± 2 HRC, CHD = $0,5\pm 0,1$. Vodící čepy jsou vyrobeny z polotovaru Hiwin, který je povrchově upraven už z výroby. Horní a dolní uložení kulového čepu je vyrobeno z materiálu 16MnCr5 a jsou cementovány a kaleny na 50 ± 2 HRC, CHD = $0,5\pm 0,1$. Kulový čep je vyroben z materiálu 16MnCr5 a je cementován a kalen na 50 ± 2 HRC, CHD = $0,5\pm 0,1$.

9.4 Analýza rizik

Při prezentaci hotového modelu magnetického chapadla zadavateli bylo vzneseno několik dotazů ohledně analyzování rizik předtím, než je návrh odsouhlasen a je spuštěna jeho výroba. Následující dotazy jsou sepsány níže včetně příslušného řešení.

- Jak je zabráněno pootočení spodní desky magnetického chapadla při zasunutí pneumatických válců?

Trn, který slouží k zajištění při vysunutí pneumatických válců a zajišťuje poté tuhost celého magnetického chapadla je spolu se západkou vyroben tak, že i při zasunutí pneumatických válců je zajištěn přesah trnu i západky.

- Jak je zajištěno nepřekročení maximálního povoleného výkyvu 15° ?

Horní uložení kulového čepu a samotný dřík kulového čepu jsou vyrobeny tak, že plochy obou těchto součástí na sebe při maximálním výkyvu přesně dosedají a horní uložení tak slouží jako zarážka.

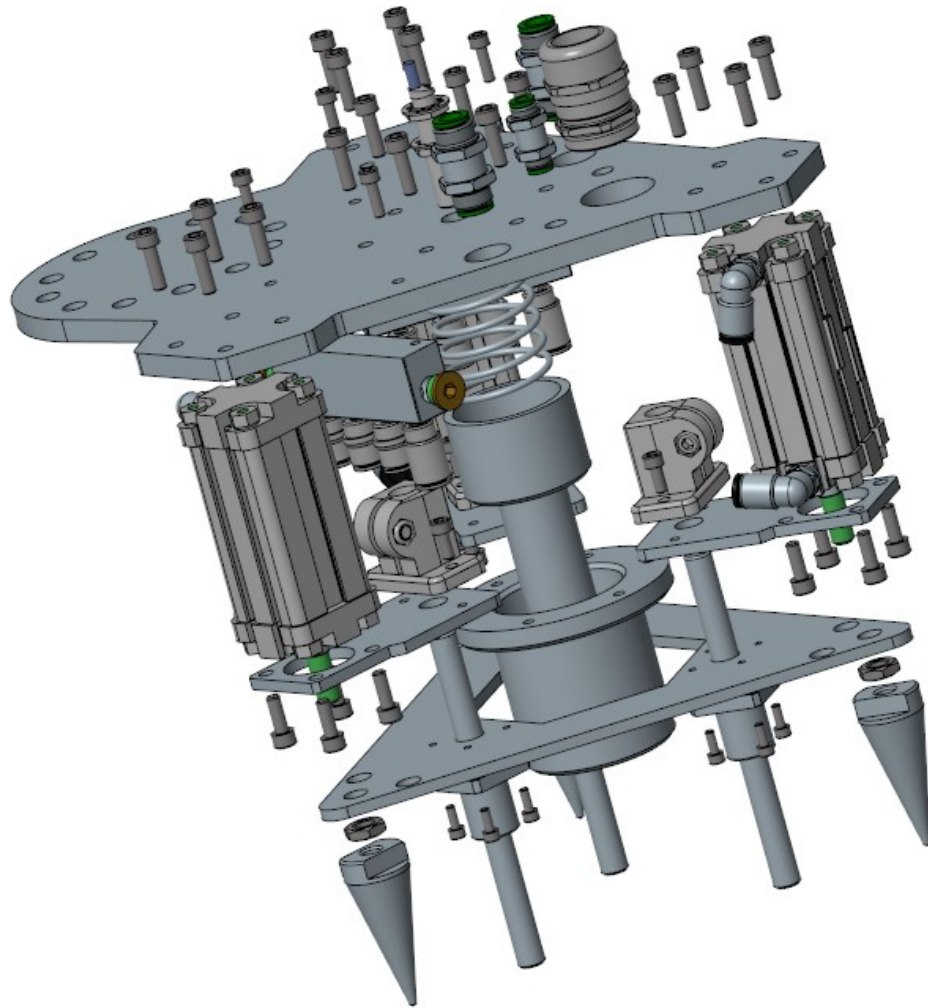
- Jak je zajištěno, pokud není indukčním snímačem zaznamenán výkovek, aby se robot stále nesnažil tlačit na dopravníkový pás a tím nedošlo k poškození magnetického chapadla, případně dalších součástí?

Jako jistění je zde mechanismus pružiny, který je namontován na horní desce magnetického chapadla. Mechanismus je složen z příruby pružiny, posuvníku, pružiny se silou 250 N, stavěcího šroubu a čidla. V momentě, kdy dojde nárazu magnetického chapadla na pevnou podložku, je stlačována tato pružina, dochází k dilataci a ta je následně zaznamenána indukčním čidlem. Dle naprogramování je poté zajištěno zastavení chodu robota, nebo odjetí robota.

9.5 Technická zpráva postupu montáže

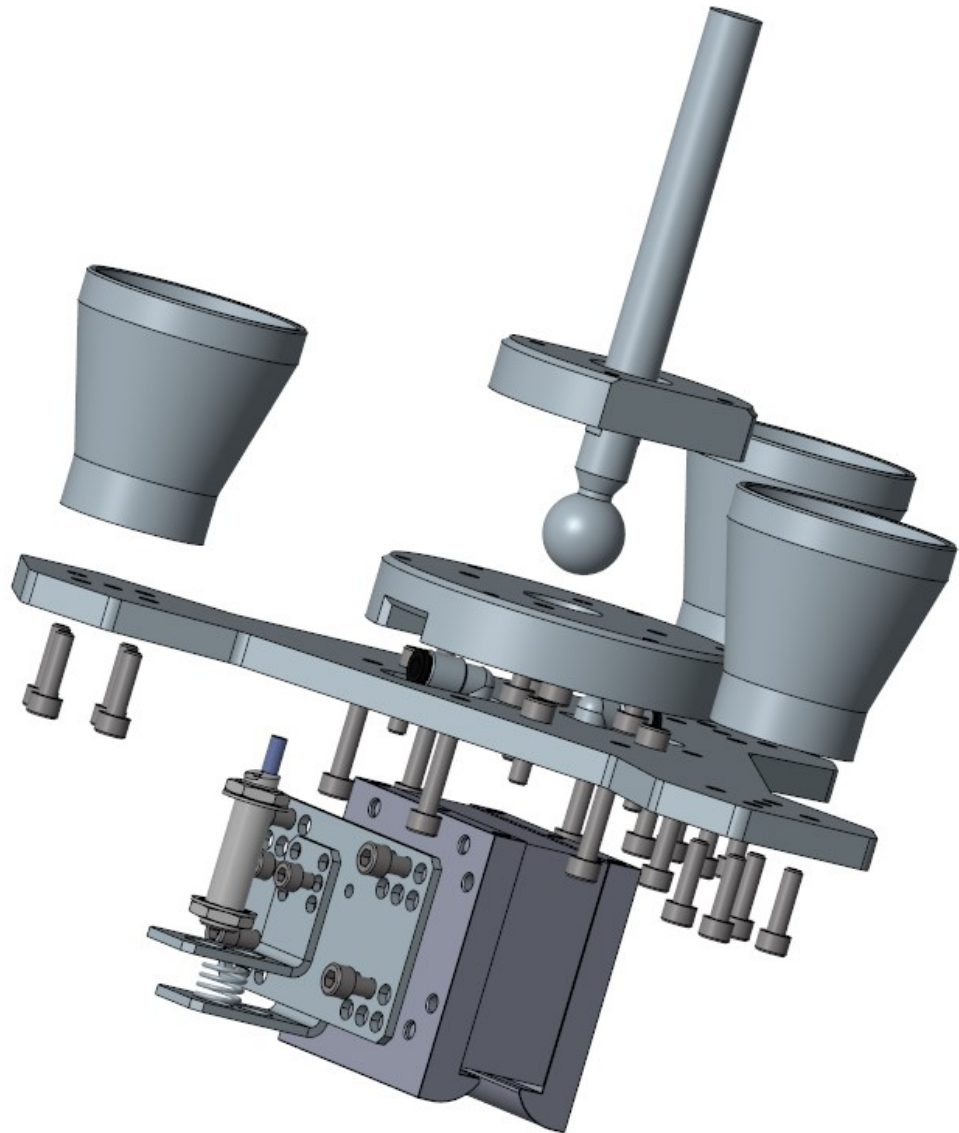
Magnetické chapadlo je složeno ze dvou základních sestav, kterými jsou sestava dilatace (horní část) a kloubová sestava (spodní část).

První je sestavena sestava dilatace. Do horní desky jsou umístěny průchodky a indukční čidlo. Poté je přišroubován mechanismus příruby, který je složen z příruby pružiny, posuvníku, stavěcího šroubu a pružiny. Do příruby pružiny je vložen posuvník spolu se stavěcím šroubem a pružinou. Celý tento mechanismus je poté přišroubován šrouby M6x20. Dále jsou k horní desce přišroubovány rozvodné bloky, které jsou osazeny příslušným nástrčným šroubením a jsou přišroubovány šrouby M6x16. Poté je sestaven mechanismus příruby válce, který je složen z příruby válce, základny a vodícího čepu a celý tento mechanismus je přišroubován ke každému pneumatickému válci ze strany pístnice šrouby M6x16. Poté jsou samotné pneumatické válce přišroubovány k horní desce pomocí šroubů M6x20. Poté jsou pístnice válců osazeny výztuhou a tato výztuha je na pístnicích zajištěna maticí M10. Zároveň je výztuha osazena vodícími pouzdry pro vodící čep. Poté jsou na pístnici ještě přišroubovány zajišťovací trny. Schéma sestavy lze vidět na následujícím obrázku.



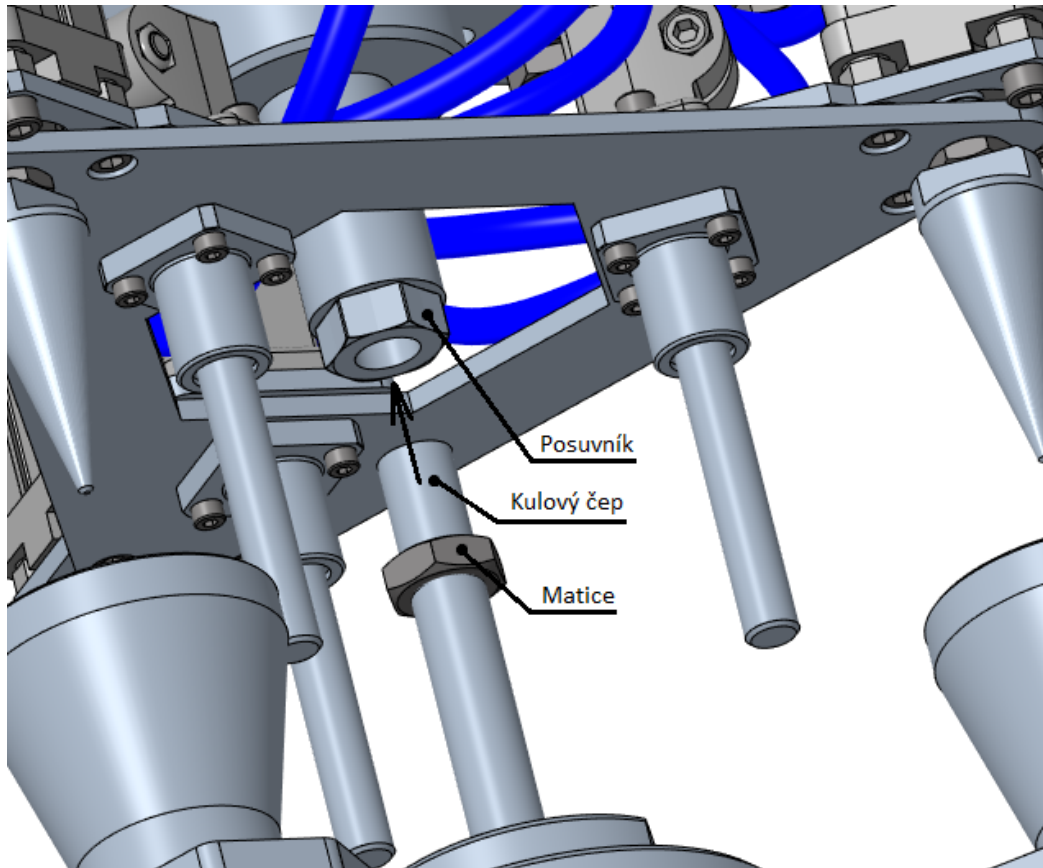
Obr. 70 Sestava horní části chapadla

Kloubová sestava je sestavena v následujícím pořadí. Nejprve jsou na spodní desku přišroubovány tři západky pomocí šroubů M6x20. Poté je přišroubován ze spodní strany spodní desky magnet IXTUR MRP-46 šrouby M6x20, který je osazen sestavou držáku snímače. Tato sestava je složena z držáku snímače, L profilu, pružinu a indukčního snímače TURCK. L profil je přišroubován k držáku snímače šrouby M5x6 a celá sestava je k magnetu upevněna pomocí šroubů M6x12. V tomto kroku jsou protaženy hadice od magnetu a kabeláž od čidla otvorem ve spodní desce. Poté je ke spodní desce přišroubován mechanismus kulového čepu šrouby M6x30, který je složen tak, že je nejprve protažen kulový čep horním uložením a k hornímu uložení je přišroubováno spodní uložení šrouby M6x25.



Obr. 71 Schéma kloubové sestavy

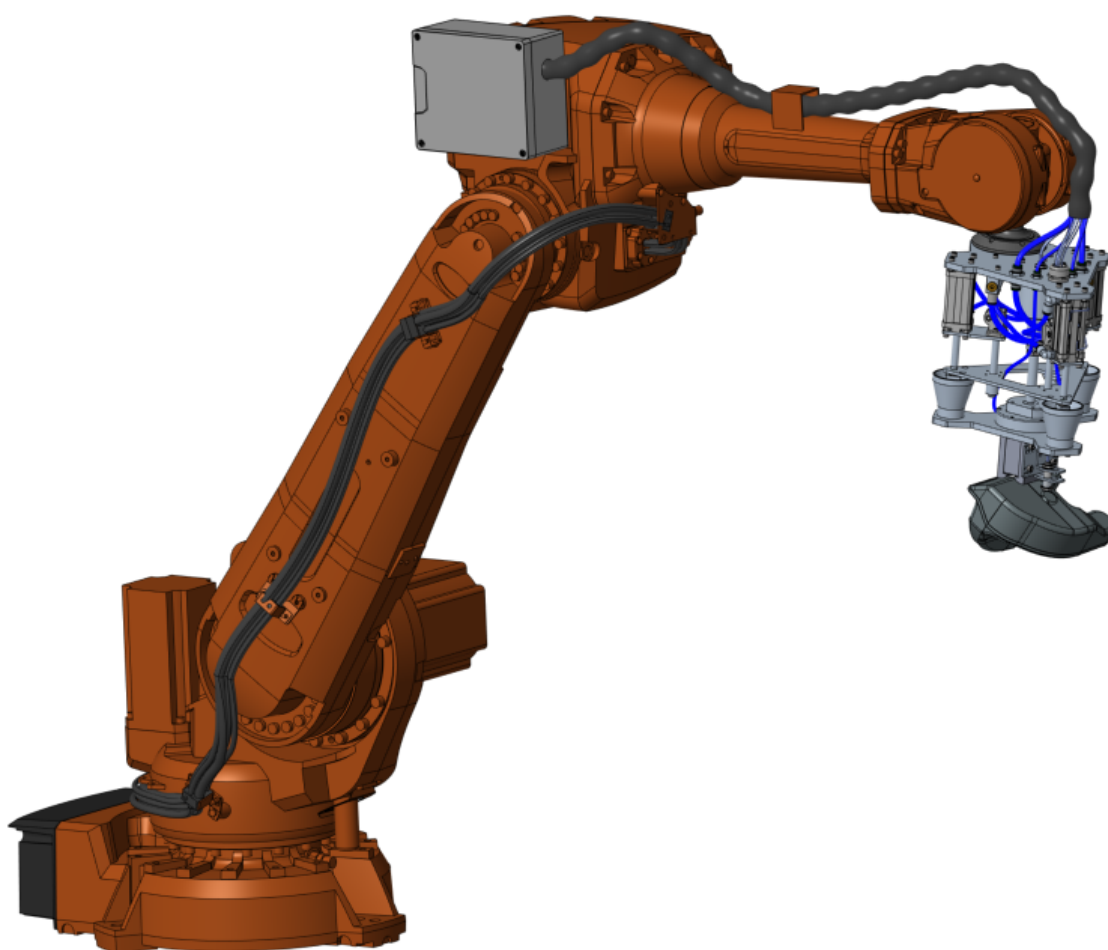
Tyto dvě základní sestavy jsou k sobě připevněny tak, že je kulový čep zašroubován do posuvníku a proti vyšroubování je zajištěn maticí M16. Výchozí vzdálenost Horní a spodní desky 260 mm. Tuto vzdálenost je v budoucnu možno upravit vyšroubováním, nebo zašroubováním kulového čepu v posuvníku. Posledním krokem je montáž hadic.



Obr. 72 Zašroubování kulového čepu do posuvníku

Takto připravené magnetické chapadlo je poté přišroubováno pomocí šroubů M10x25 k přírubě robota. Poté jsou zapojeny přívodní hadice a kabeláž k čidlům.

Poté je magnetické chapadlo osazeno na robot ABB IRB 4600. Robot je vybaven rozvaděčovou skříní. Rozvaděčová skříň je osazena řídicím ventilem FESTO CPE pro řízení pneumatických válců a magnetu. Chapadlo je prostřednictvím kabelů a hadic propojeno s rozvaděčovou skříní, ve které jsou uloženy ovládací ventily (pro pneumatiku) a svorkovnice (pro řízení a monitorování). Ovládací ventily jsou dvoucívkové (tzv. impulzní). Chapadlo je pak ovládáno i monitorováno digitálními signály s binární logikou (logická 0 = otevřeno, logická 1 = zavřeno), přičemž stav chapadla je monitorován snímači (tzv. přibližovacími čidly), která jsou umístěna na jednom ze tří pneumatických válců.



Obr. 73 Magnetické chapadlo na robotu IRB 4600

10 FINANČNÍ ZHODNOCENÍ

Posledním krokem je finanční náročnost výroby magnetického chapadla. Normalizované díly jsou naceněny dle aktuální ceníku. Náklady na zakázkové díly jsou naceněny nástrojárnou kovárny Viva. Ceny za souhrn normalizovaných a zakázkových dílů jsou uvedeny v Tab. 10.

Tab. 10 Finanční zhodnocení

Normalizované díly	41 279,50 Kč
Zakázkové díly	19 352,00 Kč
Celkové náklady	60 631,50 Kč

Celkové náklady na výrobu magnetického chapadla činí 60 631,50 Kč. Je tak splněna podmínka z požadavkového listu na maximální výrobní náklady do 140 000 Kč.

ZÁVĚR

V mé diplomové práci byla řešena problematika uchopení tvarově složitých výkovků pomocí magnetického chapadla. V teoretické části byla provedena rešerše zabývající se problematikou magnetických chapadel. Při rešerši trhu dostupných, nebo již sestrojených magnetických chapadel pro tyto účely v kovárenském průmyslu bylo zjištěno, že je téměř nulová dostupnost informací s touto specifickou kombinací, jelikož bylo nutno navrhnout magnetické chapadlo, kde je umožněn výkyv při uchopení výkovku a následně musela být zajištěna tuhost při samotné manipulaci výkovku.

V praktické části bylo nejprve krátké seznámení se starým pracovištěm, které je v současné době obsluhováno pouze manuálně pomocí lidské síly. Následně byla spolu se zadavatelem sestavena předpokládaná 3D vizualizace nového robotizovaného pracoviště, které by výrazně usnadnilo práci obsluze. Poté byl na doporučení zadavatele zvolen vhodný robot, který byl použit pro konstrukční návrh magnetického chapadla. Byl zvolen robot ABB IRB 4600-60/2.05.

Vzhledem k rozmanitosti výkovků byl zvolen magnet IXTUR MRP-46, který se vyznačuje stykovou plochou ve tvaru písmene U a je schopen uchopit jak tyčovitě, tak i ploché objekty. Po analyzování výkovků byl změřen potřebný výkyv magnetického chapadla pro uchopení jakéhokoliv výkovku. Největší výkyv byl změřen u výkovku č. 1, a to $12,3^\circ$. Po konzultaci se zadavatelem byl včetně rezervy zvolen maximální výkyv magnetického chapadla 15° . Před samotným návrhem byly vytvořeny náčrty navrhovaného řešení a poté byl v softwaru CREO 4 parametricky postupně vytvářen model, který byl v tomto softwaru v průběhu práce analyzován a testován. Jelikož byl samotný návrh jedinečný a nebyla možnost inspirovat se již funkčním zařízením, byl návrh přijatelného řešení velmi obtížný. Bylo třeba dbát na řadu faktorů, jako tuhost celého magnetického chapadla, zajištění proti otočení v ose Z a v neposlední řadě zajištění již zmiňovaného výkyvu 15° .

I přes počáteční neúspěch byl především při usilovné spolupráci se zadavatelem zhotoven funkční návrh magnetického chapadla. Magnetické chapadlo je složeno ze dvou hlavních částí, kterými je sestava horní části magnetického chapadla a kloubová sestava magnetického chapadla. Sestava horní části magnetického chapadla je připevněna k přírubě robota a obsahuje mechanismus pro dilataci magnetického chapadla v ose Z, tři pneumatické válce se zajišťovacími trny, výztuhu, s vodíci čepy, která zajišťuje stejný chod pneumatických válců a rozvodné bloky pro vedení stlačeného vzduchu (Obr. 70). Kloubová sestava obsahuje

kloubový mechanismus, magnet s indukčním snímačem a tři západky pro zajišťovací trny (Obr. 71). Sestava magnetického chapadla je složena z těchto dvou částí. Spojení je zajištěno zašroubováním kulového čepu do posuvníku. Kulový čep je následně proti vyšroubování zajištěn maticí (viz. Obr. 72).

U kritických částí byly provedeny kontrolní výpočty, případně počítačová analýza pro zjištění napětí v tahu a stříhu. Dle výpočtů a analýz byly kritické části shledány jako vyhovující. K hotovému návrhu magnetického chapadla byla zhotovena výkresová dokumentace (viz. Příloha PI) a v současné době je magnetické chapadlo ve výrobě. Je naplánováno testování chapadla v praxi a současně je realizována nová robotizovaná linka nedestruktivní defektoskopie v Kovárně Viva a.s. V závěru práce bylo vypracováno finanční zhodnocení. Celkové náklady na výrobu magnetického chapadla činí 60 631,50 Kč, čímž je splněna podmínka zadavatele maximální možné částky 140 000 Kč.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ŠOLC, CSC., Doc. Ing. František a Ing. Luděk ŽALUD, PH.D. ŠOLC, František, ŽALUD, Luděk. Robotika, učební text [online]. Brno, 2002 [cit. 2018-10-02]. Dostupné z: <http://media1.wgz.cz/files/media1:5100dca52f8f1.pdf.upl/Robotika.pdf>. Učební text. VUT Brno.
- [2] Historie robotů sahá až do řecké mytologie. Factoryautomation.cz [online]. [cit. 2018-10-06]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/historie-robotu-saha-az-do-recke-mytologie/>
- [3] ČAPEK, Karel. R.U.R.: Rossum's Universal Robots : kolektivní drama o vstupní komedii a třech dějstvích. 18. Praha: Dobrovský, 2013. Omega (Dobrovský). ISBN 978-80-7390-062-5.
- [4] Man's Best Friend: A Brief History of Robots [online]. 2005 [cit. 2018-10-08]. Dostupné z: <http://discovermagazine.com/2005/dec/robot-robot>
- [5] Antikythera Mechanism [online]. University of Macedonia, 2011 [cit. 2018-10-20]. Dostupné z: <http://etl.uom.gr/mr/Antikythera/price.htm>
- [6] Biography of Blaise Pascal [online]. ThoughtCo, 2018 [cit. 2018-11-02]. Dostupné z: <https://www.thoughtco.com/biography-of-blaise-pascal-1991787>
- [7] On Jacques de Vaucanson and his Duck [online]. Smarthmore, 1999 [cit. 2018-11-07]. Dostupné z: <http://www.swarthmore.edu/Humanities/pschmid1/essays/pynchon/vaucanson.html>
- [8] E-konstrukter [online]. ČR: web, c2019 [cit. 2019-03-012]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/technicke-vypocty/137-vypocet-pruzin/138-pruzina-vinuta-tlacna/147-sila-pruziny-a-max-smykove-napeti-v-dratu>
- [9] Zákony robotiky. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2018 [cit. 2018-11-09]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Z%C3%A1kony_robotiky
- [10] WILSON, Mike. Implementation of robot systems. 1. Boston, MA: Elsevier, 2014. ISBN 978-0-124-04733-4.
- [11] International Federation of Robotics [online]. Frankfurt – Germany: IFR, 2018 [cit. 2018-11-10]. Dostupné z: <https://www.ifr.org/robot-history>

- [12] A brief history of robotics [online]. TechWorld, 2018 [cit. 2018-11-12]. Dostupné z: <https://www.techworld.com/picture-gallery/apps-wearables/brief-history-of-robotics-timeline-of-key-achievements-in-field-since-1941-3645131/>
- [13] KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie. Brno: Vysoké učení technické v Brně – nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.
- [14] PISKAČ, Luděk. Průmyslové roboty. 2. přeprac. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2004. ISBN 80-704-3278-0.
- [15] KOLÍBAL, Zdeněk. Průmyslové roboty. 1., Konstrukce průmyslových robotů a manipulátorů (PRaM). Brno: Vysoké učení technické, 1993. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-0526-0.
- [16] JANALÍK, Lukáš. Návrh konstrukčního řešení robotického chapadla pro kovárenské účely v Kovárně VIVA a.s. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2016, 108 s. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/39291>. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická, Ústav výrobního inženýrství. Vedoucí práce Bílek, Ondřej.
- [17] Humanoidní robot [online]. ČR: Technology Evolution, 2015 [cit. 2018-11-13]. Dostupné z: <http://www.techevo.cz/alpha-2-prvni-humanoidni-robot-urceny-pro-rodinu/>
- [18] CHVÁLA, Břetislav, Robert MATIČKA a Jaroslav TALÁCKO. Průmyslové roboty a manipulátory. Praha: SNTL, 1990. ISBN 80-030-0361-X.
- [19] Sticking with Magnetic Grippers [online]. Fremont, Ohio: Motion Controls, 2018 [cit. 2018-12-02]. Dostupné z: <https://motioncontrolsrobotics.com/sticking-with-magnetic-grippers/>
- [20] Magnetické upínání obroubků [online]. ČR: Techlan, 2017 [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: <https://www.techlan.cz/magneticke-upinani-obroubku-uvod>
- [21] Robot magnetic grippers [online]. USA: RB, 2016 [cit. 2018-12-07]. Dostupné z: <http://www.roboticsbible.com/robot-magnetic-grippers.html>
- [22] Magsy [online]. ČR: -, c2018 [cit. 2018-12-07]. Dostupné z: <https://www.magsy.cz/24815-rucni-manipulator-plechu>
- [23] Elektromagnety [online]. ČR: -, c2018 [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: <http://www.magcentrum.cz/elektromagnety-nad-5t.html>

- [24] SKAŘUPA, Jiří. Průmyslové roboty a manipulátory. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, [2008]. ISBN ISBN978-80-248-1522-0.
- [25] Kovárna Viva a.s. historie a současnost [online]. Zlín: Viva, c2018 [cit. 2018-12-16]. Dostupné z: <https://www.viva.cz/o-firme/nase-soucasnost-a-historie>
- [26] ABB IRB 4600 [online]. -: Asea Brown Boveri, c2018 [cit. 2018-12-17]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/cs/prumyslove-roboty/irb-4600>
- [27] HAVRLANT, Oldřich. Konstruktivní řešení uchopovacích prvků průmyslového robotu v Kovárně VIVA a.s. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2014, 90 s. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/28583>. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická, Ústav výrobního inženýrství. Vedoucí práce Sámek, David.
- [28] Ixtur magnets [online]. Kaarina, Finland: IXTUR, c2019 [cit. 2019-01-05]. Dostupné z: <http://www.ixtur.com/index.php/products>
- [29] The Mars Exploration [online]. USA: Planetary Society, 2019 [cit. 2019-02-16]. Dostupné z: <http://www.planetary.org/explore/space-topics/space-missions/mer-updates/2019/02-mer-update-opportunity-complete.html>
- [30] Nedestruktivní defektoskopie. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, c2019 [cit. 2019-02-17]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Defektoskopie>
- [31] Krejča, Josef; Roxer, Miroslav, Magnetická metoda prášková stupeň I, II, podklady pro školení dle ISO9712, SNT-TC-1A a EN4179 / NAS410, Praha: ATG - Advanced Technology Group s.r.o., 2012.
- [32] Stanovení přídržné síly u trvalých magnetů [online]. ČR: -, c2019 [cit. 2019-02-19]. Dostupné z: <http://www.supermagnety.cz/cz/64/stanoveni-pridrzne-sily-u-trvalych-magnetu/>
- [33] Pneumatická spojovací technika [online]. ČR: Festo, c2019 [cit. 2019-03-02]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/products_QS_V
- [34] KOPEC, Bernard. Magnetická prášková metoda: studijní příručka. V Brně: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství ve spolupráci s Českou společností pro NDT, 2018. ISBN 978-80-214-5669-3.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

EU	[-]	Evropská Unie
CE	[-]	Evropská značka shody
ES	[-]	Prohlášení o shodě
R.U.R	[-]	Rossumovi univerzální roboti
F	N	Přídržná síla
F_v	N	Upínací síla
F_h	N	Kluzná síla
f_c	[-]	Koeficient tření
F_m	N	Magnetomotorická síla
S	mm ²	Styčná plocha magnetu s podložkou
μ_0	[H/m]	Permeabilita vakua
x	mm	Vzdálenost magnetu od podložky
H_C	kA/m	Koercivita
B_r	mT	Remanence
B_S	T	Hodnota indukce nasycení
B_m	T	Skutečná indukce na povrchu magnetu
B_0	T	Teoretická indukce podle hysterzní smyčky
J	T	Magnetická polarizace
B_{Hmax}	kJ/m ³	Maximální energetický součin
K_d		Demagnetizační faktor
t_C	°C	Curierova teplota
t_p	°C	Provozní teplota
B_R	%/°C	Teplotní koeficient remanence
3D	[-]	Trojrozměrný

NDT	[-]	Nedestruktivní defektoskopie
UV	nm	Ultrafialové záření
IP	[-]	Stupeň ochrany před nebezpečným dotykem
L_0	mm	Volná délka pružiny
L_1	mm	Pracovní délka pružiny
d	mm	Průměr drátu pružiny
D_1	mm	Vnější průměr pružiny
K	[-]	Bezpečnost
F_c	N	Celková síla
F_g	N	Gravitační síla
F_2	N	Tlační síla válců
g	N/kg	Gravitační konstanta
k	N/mm	Tuhost pružiny
F_1	N	Síla pružiny při stlačení
π	[-]	Pí
T_{max}	MPa	Smykové napětí v drátu
σ_{Dt}	MPa	Dovolená pevnost v tahu
σ_D	MPa	Pevnost v tahu

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Měděný obr Talos [2]	13
Obr. 2 Mechanický počítač [5]	13
Obr. 3 Pascaline [6]	14
Obr. 4 Mechanická kachna	15
Obr. 5 Android - Písař Piera a Henry Drozů [1]	15
Obr. 6 Robot IRB 6 [11]	18
Obr. 7 Spirit a Opportunity [29]	19
Obr. 8 AlphaGo vs Lee Sedol [12]	20
Obr. 9 Rozložení manipulačních zařízení [13]	27
Obr. 10 Inteligentní robot Alha 2 [17]	28
Obr. 11 Působení síly	33
Obr. 12 Manipulae trubek [23]	36
Obr. 13 Manipulace železného šrotu [23]	36
Obr. 14 Ruční manipulátor plechů [22]	38
Obr. 15 Permanentní břemenový uchopovač [22]	38
Obr. 16 Posloupnost návrhu koncového efektoru [16]	40
Obr. 17 Možnosti uspořádání pólů magnetů [32]	42
Obr. 18 Závislost přídržné síly na velikosti vzduchové mezery [33]	43
Obr. 19 Závislost reálné povrchové indukce na tvaru magnetu [33]	45
Obr. 20 Současný stav zařízení nedestruktivní defektoskopie	51
Obr. 21 Vizualizace nového pracoviště	52
Obr. 22 Vada na výrobku [30]	54
Obr. 23 Robot ABB IRB 4600-60/2.05 [26]	55
Obr. 24 Pracovní rozsah IRB 4600-60/2,05 [26]	56
Obr. 25 Vstupy a výstupy konstrukčního procesu [16]	57
Obr. 26 Výkovek č. 1	59
Obr. 27 Výkovek č. 2	59
Obr. 28 Výkovek č. 3 a 4	60
Obr. 29 Výkovek č. 5	60
Obr. 30 Výkovek č. 6	60
Obr. 31 Výkovek č. 7 a 8	61
Obr. 32 IXTUR MAP-30 [28]	61

Obr. 33 IXTUR MRP-46 s vyobrazení magnetických siločar [28].....	62
Obr. 34 Závislost upínací síly na tloušťce materiálu [28]	64
Obr. 35 Závislost upínací síly na průměru materiálu [28]	64
Obr. 36 Závislost upínací síly na vzduchové mezeře [28].....	65
Obr. 37 Úhel výkyvu pro výkovek 1	66
Obr. 38 Pružina s přídržnými pouzdry.....	68
Obr. 39 Náčrt nového návrhu	69
Obr. 40 Kloubový mechanismus	70
Obr. 41 Vylepšený návrh kloubového mechanismu.....	70
Obr. 42 Mechanismus dilatace v řezu	71
Obr. 43 Základní konstrukční koncept	72
Obr. 44 Západka před úpravou a po úpravě.....	73
Obr. 45 Úprava polohy montážní příruby.....	73
Obr. 46 Detail vodícího čepu.....	74
Obr. 47 Orientační výpočet [8]	75
Obr. 48 Mechanismus pro dilataci v ose Z.....	75
Obr. 49 Vzálenost mezi spodní deskou a hranou trnu	76
Obr. 50 Pneumatický dvojčinný válec [34]	76
Obr. 51 Použití rozvodných bloků Festo	77
Obr. 52 Rozvodný blok osazen nástrčným šroubením	78
Obr. 53 Magnetické chapadlo umístěno na robotu	79
Obr. 54 Přepracované vedení vodícího čepu	80
Obr. 55 Kolize vodícího čepu se západkou a přesah trnu.....	81
Obr. 56 Výsledný tvar trnu a západky	81
Obr. 57 Náčrt a model držáku čidla na magnetu	82
Obr. 58 Stavěcí šroub a čidlo.....	83
Obr. 59 Upravený kloubový mechanismus	84
Obr. 60 Finální sestava magnetického chapadla.....	85
Obr. 61 Detail uchopeného výkovku	85
Obr. 62 Hmotnost a poloha těžiště magnetického chapadla bez výkovku	86
Obr. 63 Hmotnost a polohy těžiště magnetického chapadla včetně výkovku	86
Obr. 64 Těžiště magnetického chapadla	87
Obr. 65 Zátěžový diagram	88

Obr. 66 Okrajové podmínky	90
Obr. 67 Vysíťovaná deska	91
Obr. 68 Výsledek analýzy horní desky	91
Obr. 69 Namáhání horního uložení.....	92
Obr. 70 Sestava horní části chapadla	95
Obr. 71 Schéma kloubové sestavy	96
Obr. 72 Zašroubování kulového čepu do posuvníku	97
Obr. 73 Magnetické chapadlo na robotu IRB 4600	98

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Typové řady bývalých československých robotů [13]	31
Tab. 2 Vlastnosti magnetů [20].....	35
Tab. 3 Technické parametry robotu IRB 4600-60/2,05	55
Tab. 4 Požadavkový list.....	57
Tab. 5 Seznam výkovek.....	58
Tab. 6 Technická data magnetu [28]	63
Tab. 7 Charakteristika pneumatického válce	77
Tab. 8 Poloha těžiště a hmotnost	88
Tab. 9 Hodnoty vysouvací síly pneumatického válce [33].....	89
Tab. 10 Finanční zhodnocení.....	99

SEZNAM PŘÍLOH

PI – VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE

- UTB_001 – Horní deska
- UTB_002 – Spodní deska
- UTB_003 – Horní uložení
- UTB_004 – Spodní uložení
- UTB_005 – Kulový čep
- UTB_006 – Trn
- UTB_007 – Západka
- UTB_008 – Příruba pružiny
- UTB_009 – Posuvník
- UTB_010 – Rozvodný blok
- UTB_011 – Výztuha
- UTB_012 – Příruba válce
- UTB_013 – Vodící čep
- UTB_014 – Držák snímače
- UTB_015 – L - profil
- UTB_016 – Sestava

PII – CD – ROM

- Diplomová práce
- Model magnetického chapadla
- Výkresová dokumentace