

Návrh konstrukčního řešení robotického chapadla pro kovárenské účely v Kovárně VIVA a.s.

Bc. Lukáš Janalík

Diplomová práce
2016



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Lukáš Janalík**
Osobní číslo: **T14533**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Návrh konstrukčního řešení robotického chapadla pro kovárenské účely**

Zásady pro vypracování:

1. Zpracování literární rešerše k problematice návrhu robotických uchopovačů.
2. Analýza současného stavu a zpracování požadavků na navrhované zařízení.
3. Zpracování podkladů pro konstrukční návrh.
4. Zpracování 3D modelu zvoleného řešení včetně výrobní dokumentace.
5. Ověření navrženého řešení pomocí konečno-prvkové analýzy.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. HUBKA, Vladimír. Konstrukční nauka: obecný model postupu při konstruování. Překlad Stanislav Hosnedl. Praha: Konservis, 1991, 104 s. Workshop Design Konstruktion. ISBN 80-901-1350-8.
2. MAŇAS, Miroslav. Základy robotiky. 1. vyd. Brno: VUT, 1991, 99 s. ISBN 8021402792
3. SKAŘUPA, Jiří. Průmyslové roboty a manipulátor, 1. vydání, Skripta VŠB-TU Ostrava, 2007. 260s ISBN 978-80-248-1522-0.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Ondřej Bílek, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

8. ledna 2016

Termín odevzdání diplomové práce:

20. května 2016

Ve Zlíně dne 13. dubna 2016



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.
děkan



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

Příjmení a jméno: Javalič Lukáš

Obor: Výrobní inženýrství

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 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 4.5.2016



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 nevyjádřeně 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 díla vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).*

⁴⁾ *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 jim 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 přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.*

ABSTRAKT

Cílem této práce je zkonstruovat robotické chapadlo, které bude manipulovat s polotovarem a pěchem v procesu kování. Je nutné navrhnout řešení s ohledem na maximální možnou zatížitelnost vztáženou k přírubě robotu a odklonit tepelné sálání. Manipulační rozsah chapadla musí pokrýt všechny přenášené objekty.

Základem chapadla je nosník osazený přírubovou deskou. Pohon, montovaný shora chapadla, zajišťuje pneumatický válec a posuv lineární vedení, jehož součástí je upínací blok, na kterém je montováno rameno. Pohyblivá čelist se nachází na konci ramene a pevná čelist je upevněná na stavitelném držáku. Pneumatický pohon je chráněn ocelovým krytováním.

Konstrukce vhodně řeší umístění těžiště s možností velkého uchopovacího rozsahu. Výsledek této práce byl použit ve firmě Kovárna VIVA, a.s.

Klíčová slova: kovárenství, objemové, tváření, výkovek, robot, čelist, efektor

ABSTRACT

The aim of this thesis is to construct the robot gripper that will manipulate with stock and upset forging in forging process. It is necessary to design the solution with regards to the maximum possible payload, relative to the robot flange, and to divert thermal radiation. The handling range of the gripper must be able to manipulate all transferred objects.

The base of gripper is a beam fitted by a flange plate. Drive, mounted on top of gripper, is secured by a pneumatic cylinder. The linear guide provides a motion of an arm connected with a piston rod. The movable jaw is located at the end of the arm and a fixed jaw is mounted on an adjustable holder. The pneumatic drive is protected by steel covers.

This construction suitably solves center of mass of the gripper as well as the ability to manipulate wide clamping range.

The result of this thesis was applied in the company Kovárna VIVA a.s.

Keywords: forgings, volume forming, forging, robot, jaw, effector

Rád bych poděkoval Ing. Ondřeji Bílkovi Ph.D. za odborné vedení, ochotu a trpělivost při studiu a především vedení diplomové práce. Zároveň si vážím jeho podpory při svých rozhodnutích a krocích, které mi zajistili kvalitní start do pracovního života. Věřím, že ukončením studia naše setkání nekončí.

V neposlední řadě patří velké poděkování pracovnímu kolegovi a kamarádovi Ing. Františkovi Tomečkovi Ph.D. za podporu v oblasti robotů. Vážím si jeho trpělivosti a ochoty věnovat velké úsilí mojí diplomové práci.

Zároveň chci poděkovat všem kolegům ve společnosti VIVA a.s., kteří mě plně podporovali. Těším se na další společné pracovní roky.

Mé motto:

„Cíle jsou našim životním pohonem“

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 KOVÁNÍ	12
1.1 VOLNÉ KOVÁNÍ	12
1.2 ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ	13
1.2.1 Polotovar, ohřev a pēchování	13
1.2.2 Předkování a kování	14
1.2.2.1 Předkovek	15
1.2.2.2 Výkovek.....	15
1.2.2.3 Kovací zápusky.....	16
1.3 DĚROVÁNÍ A OSTRĚH	16
2 ÚVOD K ROBOTICE	18
2.1 HISTORIE ROBOTŮ	18
2.2 ZÁKLADNÍ PARAMETRY A ČÁSTI ROBOTA	20
2.2.1 Nosnost.....	20
2.2.2 Velikost pracovního prostoru	21
2.2.3 Rychlost a zrychlení	22
2.2.4 Kinematika, tuhost a přesnost polohování	22
2.2.5 Části robotu	24
3 KLASIFIKACE ROBOTŮ A MANIPULAČNÍCH ZAŘÍZENÍ	25
3.1 GENERAČNÍ ROZDĚLENÍ	26
3.1.1 Roboty 1. Generace – jednoduché průmyslové roboty	26
3.1.2 Roboty 2. Generace – průmyslové roboty.....	26
3.1.3 Roboty 3. Generace – kognitivní roboty	26
3.2 KLASIFIKACE PODLE KRITÉRIÍ	27
3.2.1 Podle stupňů volnosti robotu.....	27
3.2.2 Podle kinematické struktury.....	27
3.2.3 Podle typu pohonu.....	27
3.2.4 Podle vykonávaných činností a oblastí nasazení	27
3.2.5 Podle kompaktnosti konstrukce a funkční autonomnosti.....	28
3.2.6 Podle geometrie pracovního prostoru	28
4 EFEKTORY A JEJICH ROZDĚLENÍ	29
4.1 ROZDĚLENÍ EFEKTORŮ	29
4.2 EFEKTORY PRO VÝROBU – TECHNOLOGICKÉ HLAVICE.....	30
4.2.1 Dělení	30
4.2.2 Obrábění	30
4.2.3 Povrchová úprava	31
4.2.4 Spojování materiálu	31
4.3 EFEKTORY PRO KONTROLU SOUČÁSTÍ	31
4.4 EFEKTORY PRO MANIPULACI – CHAPADLA	32
4.4.1 Pasivní úchopové prvky	32
4.4.1.1 Mechanické prvky.....	32
4.4.1.2 Magnetické prvky	33

4.4.1.3	Podtlakové prvky	33
4.4.2	Aktivní úchopové prvky.....	34
4.4.2.1	Mechanické prvky.....	34
4.4.3	Kombinované	37
5	POHON EFEKTORU	38
5.1	PNEUMATICKÝ POHON.....	38
5.1.1	Vlastnosti stlačeného vzduchu	38
5.1.2	Výroba a úprava stlačeného vzduchu.....	40
5.1.3	Druhy kompresorů	40
5.2	PNEUMATICKÉ MOTORY	41
5.2.1	Jednočinné pneumatické válce	41
5.2.1.1	Pístové motory	41
5.2.1.2	Membránové motory.....	42
5.2.1.3	Motory s odvalující se membránou	42
5.2.2	Dvojčinné pneumatické válce	43
5.2.2.1	Pístové motory s tlumením v koncových polohách	43
5.2.3	Zvláštní provedení dvojčinných přímočarých motorů	44
5.2.3.1	Motor s průchozí pístnicí	44
5.2.3.2	Tandemový motor.....	44
5.2.3.3	Vícepolohový motor	44
5.2.3.4	Pístový motor s úderným účinkem	45
5.3	UPNUTÍ PNEUMATICKÝCH MOTORŮ	45
5.4	SYMBOLIKA PRO KRESLENÍ PNEUMATICKÝCH MOTORŮ.....	46
6	NÁVRH CHAPADLA – ANALÝZA.....	47
6.1	OBJEKT MANIPULACE	48
6.2	VÝPOČET ÚCHOPOVÉ SÍLY	49
6.2.1	Bod působení úchopné síly	50
II	PRAKTICKÁ ČÁST	51
7	ÚVOD DO PROBLEMATIKY	52
7.1	O FIRMĚ.....	52
7.2	SOUČASNÝ STAV L12 – LVH 2500	53
7.3	POŽADAVEK ZADAVATELE NA NOVÉ ŘEŠENÍ	55
8	PRACOVNÍ PROSTORY	56
8.1	LVH 2500.....	56
8.2	ROBOT ABB IRB 4600-40/2.55	57
8.2.1	Parametry robotu	58
9	KONSTRUKČNÍ PROCES.....	60
9.1	POŽADAVKOVÝ LIST.....	60
9.1.1	Výkovky.....	62
9.1.2	Nosnost robotu	62
9.1.3	Pracovní prostory linky	64
9.1.3.1	Kompaktní středofrekvenční ohřívač KSO 800/1,5-C20	64
9.1.3.2	Pěchovací list LU 400.....	65
9.1.3.3	Kovací lis LVH 2500.....	66
9.1.4	Shrnutí	66

9.2	KONCEPT ŘEŠENÍ.....	69
9.3	VÝPOČTY	78
9.4	NAKUPOVANÉ KOMPONENTY	81
9.4.1	Pneumatický válec FESTO	81
9.4.2	Lineární vedení.....	83
10	VYTVOŘENÍ MODELŮ A SESTAVY CHAPADLA.....	84
11	OVĚŘENÍ ŘEŠENÍ POMOCÍ METODY KONEČNÝCH PRVKŮ.....	92
11.1	POSUNUTÍ RAMENE.....	92
11.2	TEPELNÉ ZATÍŽENÍ	93
12	POUŽITÍ V PRAXI.....	95
	ZÁVĚR	97
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	99
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	102
	SEZNAM OBRÁZKŮ	103
	SEZNAM TABULEK.....	107
	SEZNAM PŘÍLOH.....	108

ÚVOD

Robotika se na počátku třetího tisíciletí stává opravdovým pojmem a začíná pronikat do oblasti, kde bychom si to dříve představovali spíše jako součást vědeckofantastické literatury, než všedního života. Robotické aplikace se nicméně rychle rozšiřují a podle zjevných signálů z průmyslu už nejsme daleko od chvíle, kdy robot bude spolupracovat s člověkem bok po boku, bez potřeby zavírat jej do bezpečnostních klecí. Bouřlivému rozvoji se dočkají roboty díky vnitřní inteligenci a autonomnímu chování a rozhodování.

V úvodu práce bych ale rád rozvinul oblast robotizace v kovárenství. Kování je proces objemového tváření materiálu. Provádí se za vysokých kovacíh teplot okolo 1250°C a působení síly na polotovar. Tím dojde ke změně tvaru. Produktem kování jsou výkovky. Pracovní podmínky v kovárenském průmyslu jsou vysoce náročné. Pracovníci jsou vystaveny hluku, prašnosti a vysokým teplotám. S rozvojem kovárenství a přibývajícím výrobky z oceli, které nelze nahradit jinými materiály nebo způsoby zpracování, zároveň ubývá kovářů. Pracovní pozice jsou těžce nenaplněny. Ti, kteří stále dělají tuto náročnou práci, si zaslouží pomoc a robotizací linek je jim dopřána. Nahrazení některých operací robotem se zvyšuje rychlost procesu, a náročnost klesá. Kovář nemusí přetahovat až 30kg výkovky ručně z dopravníku do kovacího nářadí, ale robot mu práci usnadní a polotovar či výkovek usadí. Běžně se ale setkáváme s kovacími linkami, které mají plně automatizovanou výrobu pomocí robotů. Zde je ovšem kladen velký důraz na náročné programování a odladění celého procesu.

Cílem praktické části diplomové práce je zkonstruovat robotické chapadlo, které bude použito v kovárenském provozu ve firmě Kovárna VIVA a.s. Při navrhování budou zpracovány různé koncepční návrhy, které mohou být myšlenkou na vhodné řešení. To bude nutné ověřit výpočtem a přesným sestavením modelu sestavy s následnou konečně prvkovou pevnostní analýzou.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 KOVÁNÍ

Kování je způsob objemového tváření za tepla (případně i za studena), které je prováděno působením vnější síly na tvářený materiál, a to rázem (ruční kování, buchary) nebo postupným působením síly (kování na lisu). Jedná se o přetržitý způsob tváření kovových materiálů a jejich slitin. Při kování se dosahuje celkem přesných rozměrů výkovku, ale především se zlepšují mechanické vlastnosti materiálu. Kování se provádí do oblasti austenitu, což je nejtvárnější složka oceli. Teplota ohřevu se volí podle druhu oceli, nesmí však překročit maximální mez, aby se ocel nepřehřála nebo nespálila. Čím vyšší bezpečná teplota, tím menší jsou odpory proti deformaci. Nástroje, které udělují výslednému produktu tvar, se nazývají kovací zápustky. [1]

1.1 Volné kování

Je to způsob kování, při kterém se používá jednoduchých kovářských nástrojů, přípravků a základních operací k dosažení přibližného tvaru hotové součásti. Úchylky rozměrů jsou velké, povrch hrubý a nerovný. Přídavek na obrábění musí být dostatečně velký, aby bylo dodrženo předepsaných rozměrů při obrábění. Volné kování se dělí na ruční a strojní. S ručním se můžeme setkat při kusové výrobě v rámci oprav, údržby a uměleckého kovářství. Naopak strojní kování je prováděno pro velké výkovky. [1],[3]



Obr. 1 Volné strojní kování obřích výkovků [25]

1.2 Zápustkové kování

Princip zápustkového kování je v ohřátí materiálu na jeho tváření v dutině zápustky, jejíž tvar je shodný s tvarem výkovku. Mezi hlavní přednosti této technologie patří vysoká výkonnost, jednoduchá obsluha zápustky, kvalitní povrch a vysoká přesnost výrobku. Používá se pro sériovou a hromadnou výrobu. Výkovky se dále obrábí a to buď celé, nebo jen částečně na funkčních plochách. [1]



Obr. 2 Zápustkové kování [18]

1.2.1 Polotovary, ohřev a pēchování

Oceli jsou dodávány z hutních závodů jako tyčoviny, nebo sochory. Polotovarem rozumíme nadělenou tyčovinu na váleček určitých rozměrů. Dělení tyčoviny se provádí na pásové pile nebo na dělicích nůžkách.



Obr. 3 Tyčovina

- Pásová pila - pomalejší způsob dělení materiálu, při kterém je nutné uvažovat nad vyšším odpadem, který odpovídá přibližně objemu průměru polotovaru a tloušťce pilky. Při tomto způsobu ale dostáváme velice kvalitní plochu po dělení a to se

využívá především tam, kde jsou kladeny vysoké nároky na ustavení pěchu do zápustky. Při pěchování nedochází k odklonění polotovaru od roviny kolmé ke stolové desce lisu. Výsledný pěch je tedy symetrický;

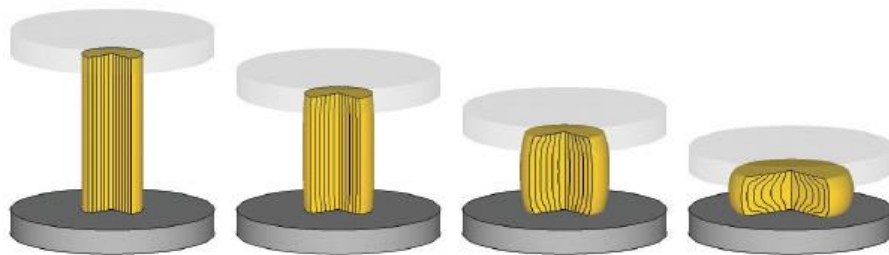
- Nůžky – dělení na nůžkách je vysoce produktivní proces, při kterém nevzniká odpad. Nevýhodou je nerovná plocha po ostříhu.

Délka a průměr přířezu by měl být v určitém poměru, aby nedocházelo ke vzpěru při pěchování.

Při určení polotovaru se stanovuje vsázková hmotnost, která je vyšší než hmotnost výkovku. Důvodem je zajištění kompletního vyplnění dutiny zápustky. Je proto nutné volit objem polotovaru větší, než je objem dutiny. Přebytečný vytečený materiál je odpad a nazývá se výronek.

Ohřev polotovaru probíhá v induktorech. Teploty se různě liší podle jakosti oceli, a pohybují se v rozmezí 800°C – 1300°C.

Připravený polotovar se pěchuje nebo válcuje. V případě, že je nutné už při pěchování dostat určitý tvar, používají se tvarové pěchovací zápustky a mluvíme tedy o tvarovém pěchování. Pěchování pomáhá zbavit nahřátý polotovar okují – oksyločené plátky kovu.



Obr. 4 Pěchování [26]

1.2.2 Předkování a kování

Po operaci pěchování následuje předkování a kování, nebo jen kování. Záleží na tvarové složitosti dílce. Pěch je usazen do předkovací dutiny a za pomoci tlaku je mu udán tvar, který se blíží tvaru výkovku. Výsledkem předkovací operace je předkovek. Dále se pokračuje dokováním, kdy vzniká výkovek.

1.2.2.1 Předkovek

Předkovek je zjednodušený tvar výkovku a provádí se u tvarově složitějších dílů, nebo dílů s obtížným zatékáním materiálu v dutině. Celá technologie kování složitých dílů závisí na předkovku a každá kovárna si přísně chrání jejich konstrukci, protože právě správná technologie a navržení předkovku jsou rozhodujícím faktorem kovatelnosti daného dílce. Na první pohled se dá předkovek od výkovku rozeznat zjednodušeným tvarem – vyšší a užší tvar, větší zaoblení. [2]



Obr. 5 Předkovek

1.2.2.2 Výkovek

Při návrhu výkovku vycházíme z výkresu obrobku. Plochy, které se obrábí, se zvětšují o přídavky na obrábění, které jsou různé podle rozměrů. Dále se určuje dělicí rovina, která je umístěna v místě největšího rozměru, tak aby se výkovek dobře vyjímal ze zápustky. Může být zalomená nebo rovinná, dle tvaru výkovku. Dalším důležitým prvkem návrhu jsou úkosy, které musí každý výkovek obsahovat, aby se dobře vyjímal z dutiny. Velikost úkosu závisí na tvaru výkovku a je dán normou, stejně jako zaoblení rohů. Každá hrana musí být zaoblena, aby nedocházelo k opotřebení zápustky nebo jejímu prasknutí. [1]



Obr. 6 Výkovek

1.2.2.3 Kovací zápustky

Kovací a předkovací zápustky se vyrábějí z nástrojových ocelí soustružením nebo frézováním. Je nutné je tepelně zpracovat, aby snášeli vysoké opotřebování vlivem tření při tváření. Jejich tvrdost se pohybuje okolo 50 HRC.

Dutina, která udává tvar, je zvětšena o hodnotu smrštění výkovku. Po obvodu tvaru vzniká hrana, která je zaoblena tzv. vtokovým rádiusem. Tvar výkovku je vysunutý ze zápustky o hodnotu, kterou stanoví konstruktér. Vzniká tak vůle mezi horní a dolní zápustkou a nazývá se výška můstku. Tloušťku výronku tedy udává výška můstku. Předkovací zápustky mají nižší výšku můstku než kovací z důvodu brzdění materiálu a plného vyplnění dutiny. Naopak u kování se po dosažení tvaru snažíme nechat materiál vytéct ven, aby nedocházelo k přetěžování stroje a opotřebování zápustek vlivem vysokého tlaku. [3]



Obr. 7 Kovací zápustka vyrobená frézováním

Pro snížení tření a tím i docílení lepšího dotečení a vyjímání se po každém zdvihu zápustky mažou. Mazací kapalinou je například grafit s olejem v různých poměrech.

1.3 Děrování a ostříh

Přebytečný materiál, odpad, se odstraní v operaci děrování a ostříhování. Pokud má výkovek blánu, je operace děrování před ostříhem. Výkovek se umístí do děrovací desky - raznice, která částečně kopíruje jeho smrštěný tvar, tak aby došlo ke správnému vystředění a kvalitnímu vyděrování. Samotné děrování zajišťuje razník. Vůle mezi razníkem a raznicí se nazývá střížná a pohybuje se v desetinách milimetru.

Nástroji ostříhu jsou střižnice a střižník. Střižník protlačí výkovek položený do střižnice a dojde k oddělení výronku od výkovku.

Odpady jsou bohužel všude přítomným nežádaným produktem, ale bez nich by technologie nebyla realizovatelná. Výronek nemusí být příliš velký a slouží i kovářovi jako úchopný prvek.

Hotový výkovek může projít prudkým ochlazením v kalici lázni nebo pozvolným chladnutím na vzduchu. V případě, že se v technologii vyskytuje riziko nechtěné deformace, provádí se dokončovací operace kalibrování, kdy je výkovek za studena rovnán. [3]

2 ÚVOD K ROBOTICE

Obor, který se zabývá studiem, konstrukcí robotů a podobných zařízení nazýváme robotikou. Robot je chápán jako stroj, co se snaží vykonávat činnosti jako člověk, především však činnosti pohybové a manipulační. Cílem je vlastně nahradit člověk v místech, kde je práce monotónní a psychicky, popřípadě fyzicky, náročná. Dosud však definice robot a robotika není ustálená, jedná se o multidisciplinární obor, který zahrnuje znalosti mechaniky, teorie zařízení, elektrotechniky, umělé inteligence, měřicí techniky a celé řadě dalších disciplín. [4]

2.1 Historie robotů

Historie „umělého člověka“ se datuje už od dob řecké mytologie, kdy Hefaistos, dvakrát z Olympu shozený a zmrzačený bůh kovářství a syn Dia a Héry, vytvářel mechanické sluhly od inteligentních, zlatých služebných, trojnožek pohybujících se na vlastní pohon, až po robota Talose, který střežil Krétu.

První myšlenky se vinuly z živých organismů, kopie ptáka jako stroje s mávajícimi křídly skončili nezdarem. Ukázalo se, že není nezbytně nutné dodržet podobu s živým organismem, proto se vývoj soustředil spíše na podstaty pohybů a jejich rozložení a realizaci pomocí jednoduchých mechanismů. Jedny z prvních manipulátorů byly vedeny lidskou rukou, takže práce v nebezpečném nebo fyzicky náročném prostředí se snížila, ale přetrvávala monotónnost. V období druhé světové války se s manipulátory pracovalo při sestavování atomové bomby, kdy výzkumní pracovníci museli být odstíněni při práci s radioaktivním materiálem. Ideální podmínky k použití prodloužené ruky člověka, který byl v bezpečí.

Raný automat vytvořil v roce 1738 Jacques de Vaucanson. Jeho mechanický kačer dokázal jíst zrní, mávat křídly či dokonce vyměšovat natrávené zrní.

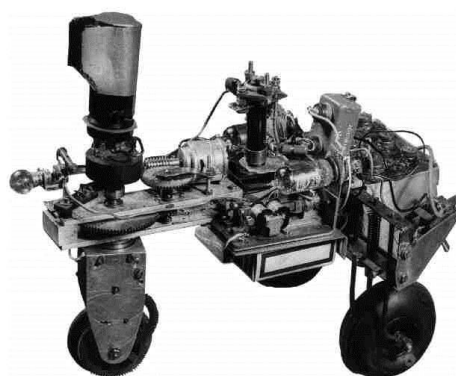
Roku 1920 vzniká slovo **robot**. Poprvé jej použil ve své hře R.U.R (Rossum's Universals Robots) Karel Čapek. Robot je charakterizován jako automatický nebo počítačem řízený systém. Má schopnost vnímání a rozpoznávání, manipulování s předměty, pohybování se v prostředí podle instrukcí od člověka.

Poté se do historie zapsali letopočty 1926, kdy společnost Westinghouse Electric Corporation vytvořila prvního robota vykonávajícího užitečnou práci, dále pak 1928, což je datum zkonstruování prvního japonského robota Gakutensoku.

Teprve při vývoji výpočetní techniky byla snaha nahradit člověka nějakým umělým mozem reálnější. S vývojem prvního počítače v USA v roce 1945 nabral vývoj robotiky rychlé tempo.

Roboti začali být vybaveni řídicím systémem, který vyhodnocoval pomocí systému čidel a kamer polohu manipulovaného předmětu. Z robota netolerujících jakoukoli odchylku od pozice předmětu se stali roboti s inteligentní korekcí dráhy pohybu, tak aby byl předmět bezpečně uchopen. Vznikl tak pojem kognitivní systém robota zahrnující vnímání, chápání, plánování a optimalizaci práce. [5], [6]

V letech 1948 a 1949 vznikl robot Elmer a Elsie, kteří vnímali světlo a používali tyto stimuly k navigaci.



Obr. 8 První robot – Elmer [27]

První robotickou paži vyvinul George C. Devol v roce 1952.

Aplikace robotu do průmyslu představuje graf vývoje počtu nasazených robotů v období 1972 až 2000. Stejně jako vývoj, tak i použití zažívá exponenciální růst. [7]

V současné době máme roboty všude, nejen v průmyslu. Stačí se rozhlédnout kolem sebe. Na zahradách jezdí robotické sekačky na trávu, v domácnostech už nemusí vysávat člověk, nahradit ho může vysavač, který si zmapuje pokoj a vysaje ho sám do posledního smítka. Od domácností až po tisíce kilometrů vzdálené planety ve vesmíru, kde například na Marsu jezdí výzkumné vozítko Curiosity.



Obr. 9 Výzkumné vozítko Curiosity [7]

2.2 Základní parametry a části robota

Základními parametry průmyslových robotů jsou počet stupňů volnosti, nosnost, přesnost, velikost pracovního prostoru, rychlost a rozměry. Určitě nebudeme potřebovat vysoce přesného robota pro tvářecí operace například kování. Zde bude základním kritériem výběru především nosnost, rozsah možných natočení a velikost pracovního prostoru. Naopak u vysoce přesných dílů budeme vyžadovat co nejmenší odchylku, tedy nejpřesnější roboty. V kompletně robotizovaných výrobních halách se volí jisté kompromisy mezi co nejvyšší rychlostí a přesností. [8]

2.2.1 Nosnost

Jedním z prioritně vyhledávaných informací při výběru robota je jeho nosnost. Pro také na internetových stránkách firmy ABB Robots je ihned i každého typu robota vypsána jeho nosnost, která nám pomáhá orientovat se. [8]



*Obr. 10 Největší robot od firmy ABB
- IRB 8700 [28]*

Přibližné rozdělení skupin zatížení se pohybuje dle následující tabulky:

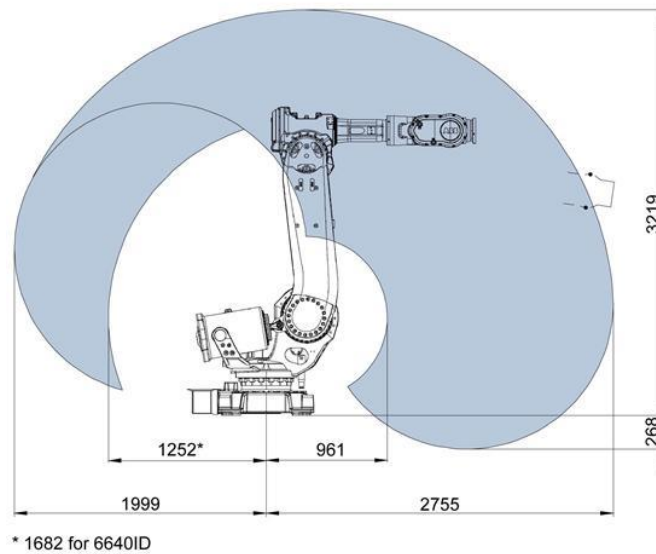
Tab. 1 Skupiny zatížení robotu

Skupina zatížení	Nosnost [kg]
Lehké	3.12
Střední	15-60
Vysoké	100-235
Těžký provoz	250-800

2.2.2 Velikost pracovního prostoru

Dalším důležitým parametrem je pracovní prostor. Grafické znázornění nám pomáhá určit, zda je požadovaná operace v dosahu robotu a jak velký prostor je nutné kolem něj vytvořit. [8]

IRB 6640-205/2.75, IRB 6640ID-170/2.75



Obr. 11 Pracovní rozsah ABB IRB 6640 [28]

2.2.3 Rychlost a zrychlení

Jsou udávány pro jednotlivé osy. Menší roboty mají větší úhlové rychlosti a maximální natočení jednotlivých os, naopak velké a vysoce nosné roboty jsou spíše pomalejší. Je to dáno omezením kvůli velkému dynamickému zatížení při pohybu vysokými úhlovými rychlostmi. [8]

2.2.4 Kinematika, tuhost a přesnost polohování

Typy kinematických struktur udávají, jaká bude výsledná kinematika, tuhost, přesnost polohování. 90% robotů a manipulátorů pracují v sériové kinematické struktuře se sériovým řazením rotačních a translačních kinematických dvojic. Dochází ke snížení tuhosti a přesnosti polohování. Na koncovém členu je nepřesnost v řádech desetin milimetrů a je sumací chyb na jednotlivých kinematických dvojicích. Opakem je paralelní kinematická struktura, kde jsou jednotlivé členy řazeny paralelně. Konstrukčně je možné provést tři nebo šesti vzpěrnou strukturu nazývanou tripod a hexapod. Dosahuje se vyšší tuhosti a přesnosti polohování v řádech setin milimetru. Paralelní kinematika je náchylná na kolizní vzpěr a klade vysoké nároky na řídicí systém. [9]



Obr. 12 Paralelní robot ABB

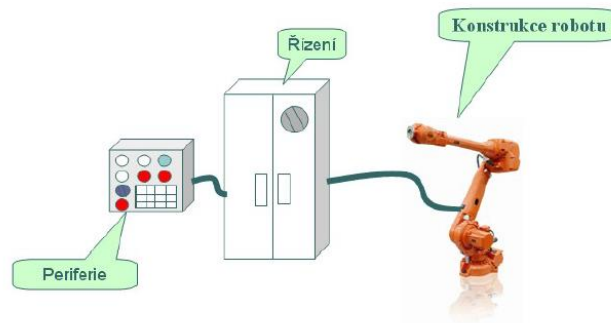
IRB 360 FlexPicker [28]

Tab. 2 Porovnání sériových a paralelních mechnismů [9]

Vlastnost	Paralelní kinematický mechanismus	Sériový kinematický mechanismus
Tuhost	Vysoká (v osách jen tah a tlak)	Nízká (osy namáhány ohybem)
Šíření chyb	Chyby jednotlivých os tvoří průměrnou chybu	Chyby jednotlivých os se sčítají
Hmotnost pohybujících se částí	Nízká (pohybuje se pouze vřeteno a ramena)	Vysoká (první osa unáší všechny další osy)
Dynamika a velikost stroje	Vysoká i u velkých strojů	S velikostí se zhoršuje
Rychlost a zrychlení	Vysoké	Nižší
Vazba mezi osami	Spojené osy s nelineární vazbou	Malé vazby
Regulace	Jednodušší (regulace jednotlivých os)	Komplikované (řízení celku)
Kalibrace	Komplikovaná	Jednoduchá
Kinematika	Složitá - nutná transformace souřadnic	Jednoduchá
Výroba a montáž	Jednoduchá	Poměrně složitá
Poměr – pracovní prostor/velikost stroje	Poměrně nízký	Vysoký

2.2.5 Části robotu

Mezi nejzákladnější části patří periferie, řízení a konstrukce robotu.



Obr. 13 Základní části robotu

Periferie neboli vstupní a výstupní zařízení obsahuje jednotky, které usnadňují obsluhu a programování. Mezi tyto jednotky spadají různě panely a terminály, tiskárna nebo mechaniky pro externí paměti.

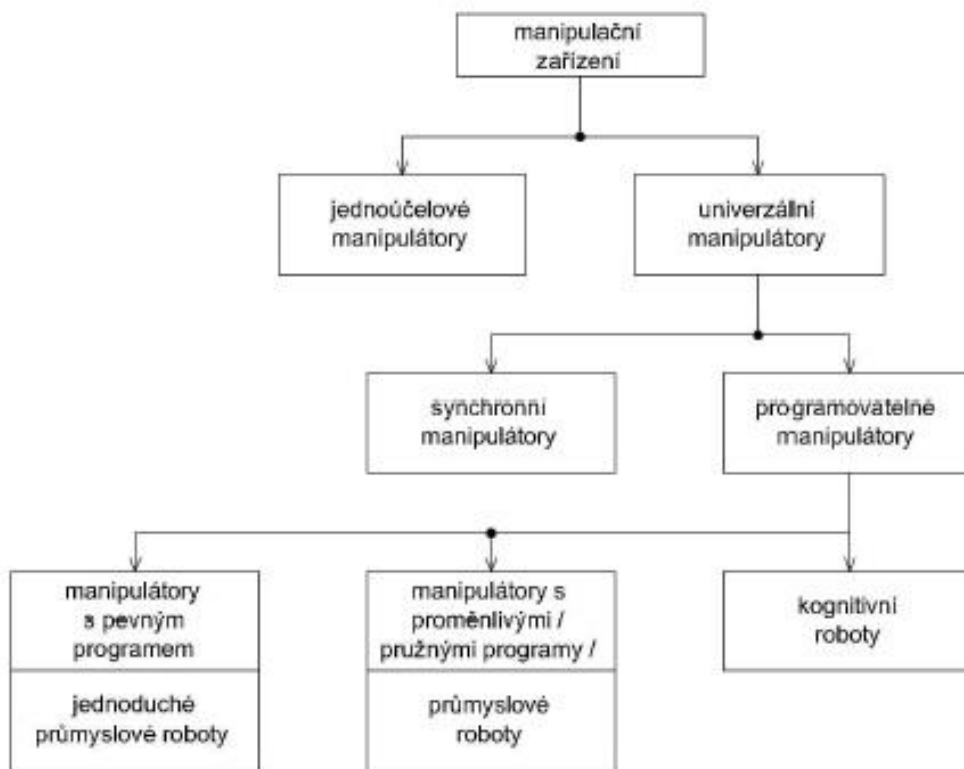
Řídicí systém má za úkol řídit robota podle uloženého programu ovládním pohonů a ostatních mechanismů a dále zajišťuje komunikaci s řídicím systémem výrobního stroje.

Do kategorie konstrukce robotu spadají pohony, ty pohybují osami robota do zadaných poloh rychlostí zadanou řízením. Kinematiku vytváří mechanická konstrukce složená z kloubů a ramen. Ty také určují pohybové možnosti. Mezi další konstrukční prvky patří senzory, neboli měřicí čidla, které zajišťují polohy součástí. Snímání okamžité polohy v každé ose obstarávají odměřovací zařízení. [14]

3 KLASIFIKACE ROBOTŮ A MANIPULAČNÍCH ZAŘÍZENÍ

Roboty jako takové jsou součástí manipulačního systému podle zobrazeného schématu. Větev s jednoúčelovými manipulátory obsahuje dlouhodobě manipulační jednoúčelové stroje výrobních linek. Počtem stupňů volnosti a technickou složitostí se může jednat o složité mechanické zařízení.

Od univerzálních manipulátorů vede větev na synchronní manipulátory, které pracují v systému MASTER-SLAVE, což znamená předávání podnětů mezi operátorem a manipulátorem. Jedná se například o práci, která je pro člověka nedostupná či nebezpečná. Poslední pole, programovatelné manipulátory, se rozděluje do tří generačních větví na jednoduché průmyslové roboty 1. generace, průmyslové roboty 2. generace a kognitivní roboty 3. generace.



Obr. 14 Klasifikace robotů a manipulačních zařízení [10]

Roboty vyšších kategorií nestřídají automaticky ty jednodušší, naopak jejich ekonomická náročnost je limitní pro některé průmyslové odvětví. [10]

3.1 Generační rozdělení

3.1.1 Roboty 1. Generace – jednoduché průmyslové roboty

Jedná se o programovatelné roboty určeny k vykonávání pevně naprogramovaných postupných operací. Tato generace se zaměřuje především na pohybové aplikace vyjádřené souslovím „zdvihni a umísti“ neboli pick and place. Při změně cíle je nutné změnit i program. Tyto programy bývají z pravidla jednoduché a činí tak roboty 1. generace dostatečně univerzální. Do této kategorie spadají také roboty typu „udělej a ověř“, které používají pro svou činnost jednoduché senzory. [10], [11]

3.1.2 Roboty 2. Generace – průmyslové roboty

Roboty 2. generace disponují větším sortimentem snímačů, které se rozdělují na vnější (optický, hmatový) a vnitřní (tlak, poloha, moment) a stávají se tak adaptivními zařízeními. Jejich interakce spočívá ve vnímání a rozpoznávání prostředí a manipulaci s předměty. Díky složitějšímu řízení potřebují k realizaci počítač. Ten dovoluje možnost změny programu během činnosti. Roboty díky koordinačnímu systému a senzorickým vybavením pracují v systému „oko-ruka“. [10], [11]

3.1.3 Roboty 3. Generace – kognitivní roboty

Jedná se o nejvyšší možný stupeň robota s vysoce složitým řídicím systémem zahrnující elementy umělé inteligence. Inteligentní roboty nejsou určeny pouze k imitaci fyzické činnosti člověka, ale též pro automatizaci jeho intelektuální činnosti. Charakteristickou vlastností je autonomnost, neboli schopnost učit se a adaptovat se v procesu řešení úloh. [10], [11]



Obr. 15 Inteligentní robot schopný uvařit [29]

3.2 Klasifikace podle kritérií

3.2.1 Podle stupňů volnosti robotu

- Deficitní robot – méně jak 6 stupňů volnosti, slouží především pro montáž prvků v rovině;
- Univerzální robot – má 6 stupňů volnosti a jednoznačně vymežující kartézský souřadný systém polohy a orientace objektu manipulace;
- Redundantní robot – má více než 6 stupňů volnosti a tím dokáže obcházet překážky nebo se pohybovat ve stísněném prostoru. [12]

3.2.2 Podle kinematické struktury

- Sériové roboty – s otevřeným kinematickým řetězcem manipulátoru tzv. „open-loop chain“;
- Paralelní roboty – opak „open-loop chain“ tedy s uzavřeným kinematickým řetězcem manipulátoru;
- Hybridní roboty – jsou kombinací sériových robotu a paralelních robotů. [12]

3.2.3 Podle typu pohonu

- Hydraulický;
- Pneumatický;
- Elektrický.

Každý z uvedených pohonů má své přednosti a cílené uplatnění. Pokud je kladen důraz na vysoké nosnosti, používají se hydraulické pohony, pro vysoké rychlosti pneumatické pohony. V současné době převažují konstrukce PRaM s elektrickými pohony. [12]

3.2.4 Podle vykonávaných činností a oblastí nasazení

- Průmyslové roboty – jedná se o zařízení řízena počítačem, který se vyznačuje autonomním chováním a díky změně programu i svoji univerzálností, tedy více účelovým použitím. Vnímání zajišťují senzory od těch nejjednodušších dotekových čidel až po akustické nebo vizuální senzory.
- Servisní roboty - jejich aplikace je široká – jaderný průmysl, zdravotnictví, stavebnictví, vojenské úlohy ale i domácí práce. Jejich rozšíření brzdí stále příliš vysoká

cena, ale budoucnost slibuje mohutný rozvoj, který dosáhne úrovně současného automobilového průmyslu. [5]



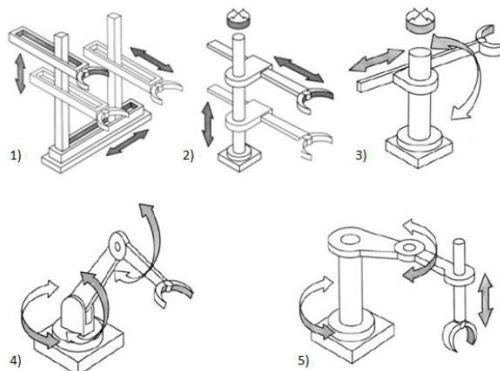
Obr. 16 Průmyslový robot ABB [28]

3.2.5 Podle kompaktnosti konstrukce a funkční autonomnosti

- Univerzální – nasazení pro velkou třídu úloh. Pohybové jednotky jsou na sobě závislé a konstrukčně provázané tak, že žádná není odděleně funkční. Jedná se o drahé a složité roboty;
- Modulární – Každá jednotka je samostatně funkční modul, který lze měnit a přizpůsobit konkrétně zadaná úloze. [13]

3.2.6 Podle geometrie pracovního prostoru

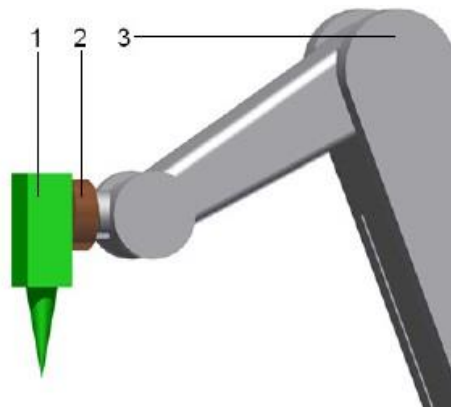
- Kartézské;
- Cylindrické;
- Sférické;
- Angulární;
- Scara. [13]



Obr. 17 Grafické znázornění pracovního prostoru podle geometrie [5]

4 EFEKTORY A JEJICH ROZDĚLENÍ

V mnoha publikacích se názvosloví tohoto výkonného subsystému průmyslového případně servisního robotu liší. Synonymem efektoru je hlavice, pracovní hlavice, chapadlo nebo delším názvem koncový efektor vzniklého z anglického spojení end effector. Efektorem tedy rozumíme koncovou část robotu v jakémkoliv provedení. Jedná se o velice důležitý prvek, který je v centru pozornosti konstruktérů technických systémů, fungující za účelem realizace úkolů pro které je robot předurčen, tj. manipulace různými objekty se zadanými parametry polohy, orientace, vzdálenosti, rychlosti či zrychlení. [8]



Obr. 18 Připojení koncového efektoru (1) na přírubu (2) umístěnou na konci ramene průmyslového robotu (3) [8]

4.1 Rozdělení efektorů

Mezi základní rozdělení efektorů patří jejich oblast využití:

- **Manipulace**
 - Všechna průmyslová odvětví - chapadla
- **Výroba** (dle operace s materiálem)
 - Dělení
 - Mechanické, plazmové, laserové aj. řezání
 - Obrábění
 - Soustružení, frézování, vrtání
 - Povrchová úprava
 - Lakování
 - Spojování

- Pájení, lepení nebo bodové či plazmové svařování
- **Kontrola**
 - Všechna průmyslová odvětví – lasery, sondy, kamery atd. [8]

4.2 Efektory pro výrobu – technologické hlavice

Typickou operací pro aplikaci technologických hlavic robotů je elektrické svařování a nanášení ochranných materiálů a nátěrových hmot. Také technologické operace jako dělení nebo obrábění může vykonávat sám robot pomocí uzpůsobeného nástroje.

4.2.1 Dělení

Hlavice pro dělení materiálu jsou například:

- Laserové
- Plazmové
- Kyslíkové
- S vodním paprskem
- Mechanické

4.2.2 Obrábění

V obráběcích procesech má efektor využití k frézování složitých tvarových ploch jinak frézovaných na více upnutí. Slouží také k vrtání děr. Nevýhodou je nízká tuhost soustavy oproti obráběcím strojům, tudíž se zvyšuje nepřesnost a využití je do jisté míry omezené. [8]



Obr. 19 Příklad použití obrábění pomocí robotu [30]

4.2.3 Povrchová úprava

Především v automobilové výrobě jsou výrobní linky téměř zautomatizované pomocí robotů. Díky manipulačním robotům se jednotlivé komponenty karoserie automobilu dostanou až do lakovny, kde jsou využity lakovací hlavice. [8]



*Obr. 20 Lakovací hlavice pro využití
v automobilovém průmyslu [28]*

4.2.4 Spojování materiálů

Spojovat lze lepením, tmelením, pájením a pro kovy nejrozšířenějším způsobem svařováním. Díky přesnosti robotů lze dosáhnout kvalitních výsledků svařování. To však stojí pečlivost při navrhování dráhy programu pro svařování, jelikož hlavice musí dodržovat předepsaný úhel se svařovanými součástmi. [8]

4.3 Efektory pro kontrolu součástí

Využívají se pro kontrolu během výrobních procesů. Obrobek může být kontrolován na přesné rozměry skenovací dotykovou sondou, která přenese do počítače určitý počet naměřených bodů a porovná s CAD modelem. Pokud některý rozměr není v toleranci, program vyhodnotí obrobek jako špatný kus. Například v kovárenství se používá pro kontrolu a porovnání modelu výkovku a fyzického výkovku skenovací hlavice, která dokáže vytvořit kompletní 3D obraz výkovku. Dále se kontrolují kvality spojů, složité tvary karoserie automobilů a další. [8]

4.4 Efektory pro manipulaci – chapadla

„Chapadlo je podsystém průmyslového robotu, který udržuje omezený počet geometricky specifikovaných výrobků po stanovenou dobu, dále zajišťuje polohu a orientaci výrobku vůči nástrojům a dalším uchopovacím systémům.“

Téměř v každém provozu je nutné přemístit objekt manipulace z bodu A do bodu B. Například pár gramů vážící polotovary robot s efektem pro manipulaci, tedy chapadlem, umístí do obráběcího centra, a jakmile je frézování dokončeno, dostane signál a vyzvedne si obrobek. Části efektoru, které přicházejí do styku s přenášenými objekty, se označují jako úchopné prvky. Úchopné prvky mohou být aktivní či pasivní, či jejich kombinace, například rameno s jednou pevnou čelistí a druhou pohyblivou pomocí pneumatického válce. Podle charakteru styku s objekty se dělí na úchopové prvky:

Tab. 3 Klasifikace úchopných efektorů [14]

Mechanické	pasivní	s pevnými a stavitelnými ÚP
		s pružnými ÚP
		speciální (suchý zip, lepidlo, aj.)
	aktivní (poháněné)	hydrotorem
		pneotorem
		elektrotorem
		elektromagnetem
Magnetické	pasivní	s permanentními magnety
	aktivní	s elektromagnety
Podtlakové	pasivní	přísavky
	aktivní	s vývěvou
		s ejektorem

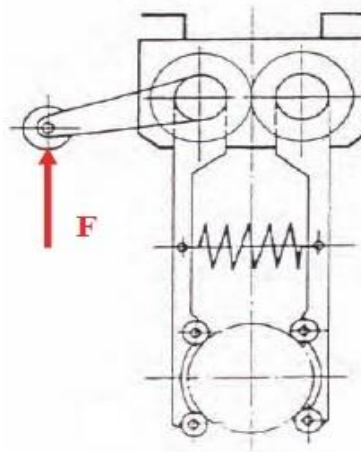
4.4.1 Pasivní úchopové prvky

Pasivní úchopové prvky jsou konstrukčně jednoduché a používají se při manipulaci s lehčími objekty jednoduchého tvaru. Efektem je zpravidla prvek typu háku, vidlice, čepu nebo jednoduché čelisti. [14]

4.4.1.1 Mechanické prvky

Zahrnují pevná prizmatická lůžka, ale i konstrukce s pružnými kleštinami. Jsou vhodné pro menší a lehčí součástky přesných rozměrů s hladkým povrchem. Součástky jsou uchopeny najetím kleštin na vnější povrch manipulovaného objektu a odebrání probí-

há předáním do jiného upínacího systému, například sklíčidla, nebo lze využít i pneumatický vyhazovač zabudovaný vně hlavice robotu. V případě, že povrch přenášeného předmětu nesmí být opotřebován nebo poškrábán, je možné využít najížděcího soukolí na konci kleštin. Otevírání zajistí jednoduchá kladka, která při působení síly aktivuje jednoduchý otevírací systém. [14]



Obr. 21 Jednoduché mechanické hlavice s odpruženými čelistmi [14]

4.4.1.2 Magnetické prvky

Hlavice se skládá s pouzdra s permanentními magnety a může obsahovat systém pro uvolnění manipulovaného objektu, jako jsou plechové výlisky, kroužky a podložky. Nevýhodou je možnost zachycení nechtěných magnetických předmětů a tím narušení správné polohy uchopovaného předmětu. Odebrání tělesa může být realizováno přímo pohybem ramene robotu, a to stěrem o doraz, nebo pomocí systému vyhazovací desky, který ale vyžaduje pneumatický válec. [14]

4.4.1.3 Podtlakové prvky

Jedná se o pružné deformační přísavky. Při uchopení předmětu dochází k přitlačení přísavky na jeho povrch a díky deformaci se zmenší objem uvnitř prostoru a vznikne podtlak. Úchopová síla závisí na velikosti styčné plochy, členitosti tvaru a těsnosti. Uvolnění předmětu je řešeno stěrem o doraz, nebo pomocným ventilem ovládaným prostřednictvím membrány. [14]

4.4.2 Aktivní úchopové prvky

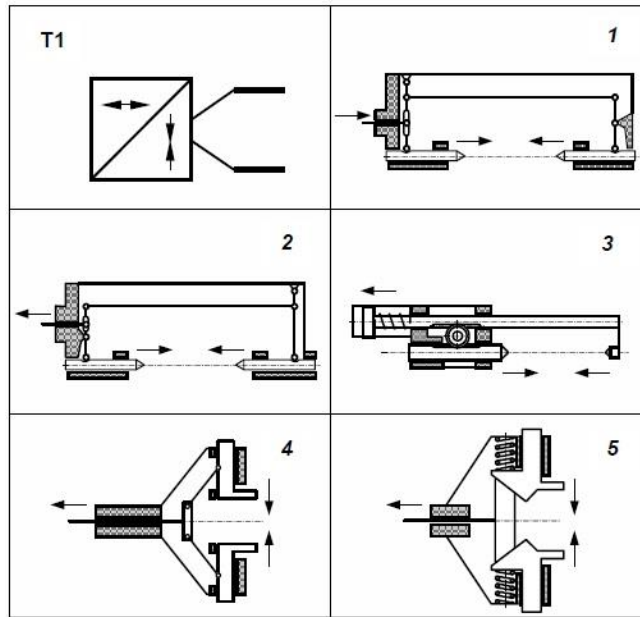
4.4.2.1 Mechanické prvky

Aktivní mechanické prvky, neboli MÚE – mechanické úchopné efektory, charakterizuje nejvíce slovo chapadla. Nejdokonalejším chapadlem je lidská ruka a její napodobení je velice obtížné. Řešení MÚE závisí na zvoleném druhu motoru, charakteru pohybu – rotační nebo translační, a druhu úchopných prvků. Nejdůležitější rozdělení je podle transformace pohybu – T1-T4, a lze z něj odvodit i nové konstrukce. [14]

Tab. 4 Typy aktivních hlavic [14]

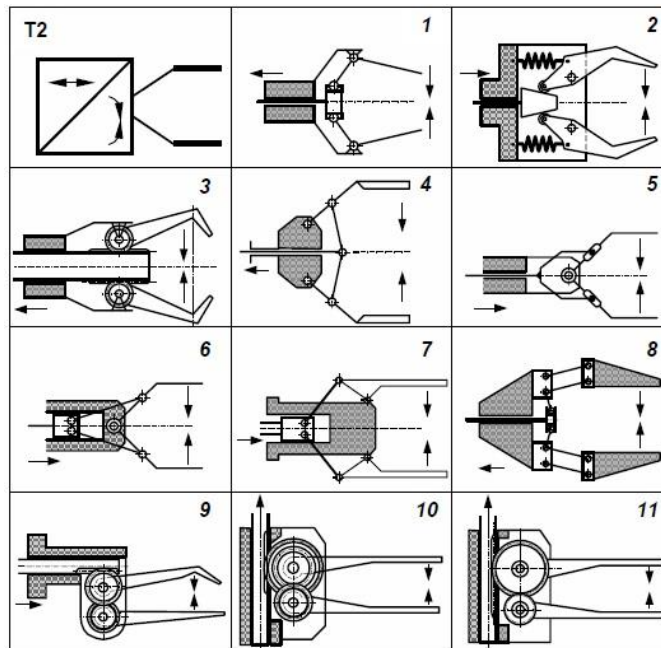
Motor	Úchopné prvky	Transformace pohybu	Typ MÚE
posuvný	posuvné		T1
posuvný	rotační		T2
rotační	posuvné		T3
rotační	rotační		T4

- Skupina T1 – využívá především pneumatických lineárních motorů, které jsou u průmyslových robotů nejužívanější. Hlavním důvodem je snadná dostupnost stlačeného vzduchu a nenáročný přívod až do efektoru. Značnou nevýhodou může být menší výkon a v případě potřeby vyššího výkonu je potřeba počítat s většími silami na pístnici a s tím související rozměry motoru. Naopak hydraulické motory disponují velkým výkonem při menších rozměrech, ale je složitější zajistit rozvod kapaliny až k efektoru. Riziko také vzniká při úniku kapaliny netěsnostmi do pracovního prostředí a hrozí znečištění. Poslední možností jsou elektromotory – jsou výhodné z hlediska řízení ale konstrukčně složité, protože je nutné převést rotační pohyb na lineární. [14]



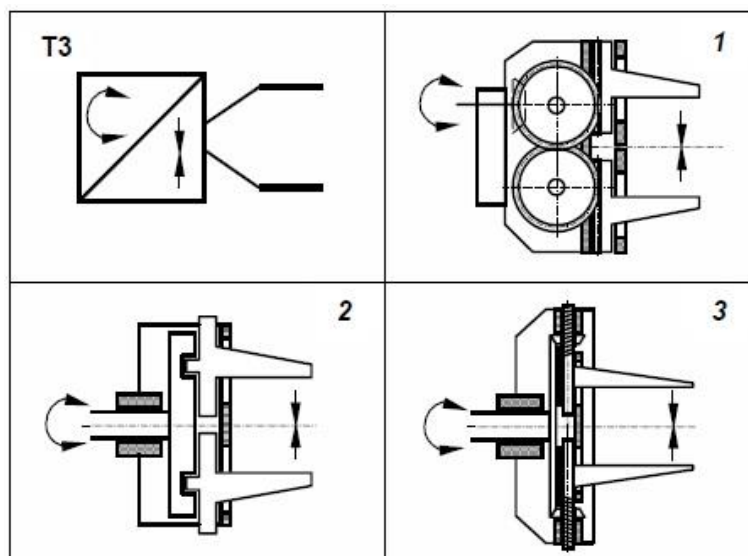
Obr. 22 Možné principy řešení MÚH typu T1 [14]

- Skupina T2 – využívá ozubené nebo kloubové mechanismy. Konstrukce se tak stává robustnější a umožňuje volit vložený převod zajišťující různou rychlost pohybu čelistí. Kloubové mechanismy mění změnou konfigurace okamžitý převodový poměr a je třeba vyřešit převodovou funkci v celém rozsahu při uchopování objektů různých rozměrů. [14]

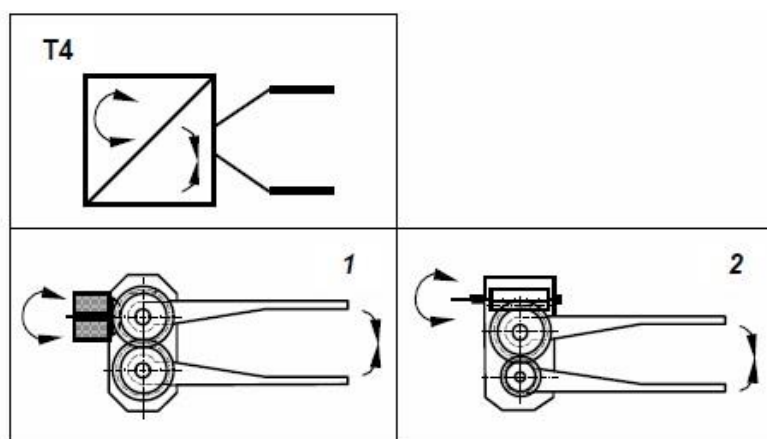


Obr. 23 Možné principy řešení MÚH typu T2 [14]

- Skupina T3 a T4 – jedná se podobnou charakteristiku jako T2, avšak lineární pohyb je nahrazen rotačním a rotační lineárním (T3) anebo kompletně rotačním (T4). [14]



Obr. 24 Možné principy řešení MÚH typu T3 [14]



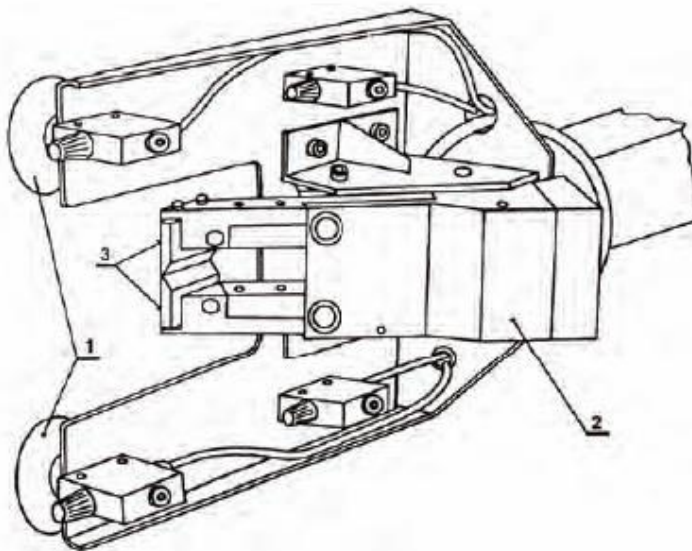
Obr. 25 Možné principy řešení MÚH typu T4 [14]

- **Magnetické prvky** – Hlavice využívají elektromagnetů se stejnosměrným proudem a permanentních magnetů. Uvolnění předmětu se provádí pouze vypnutím proudu do elektromagnetu. Pokud dojde k zmagetizování předmětu, provede se krátkodobé obrácení směru proudu v magnetických cívkách a dojde ke zrušení magnetismu v objektu a následnému uvolnění. [14]
- **Podtlakové prvky** – Podtlakové komory jsou systémy využívající vývěvy nebo ejektory, které odsávají vzduch a dosahují velikosti podtlaku 30 – 80 kPa. Podtlakové komory jsou připojeny buď na jeden ejektor, nebo má každá z komor

svůj vlastní. Oproti řešení s vývěvami disponují nižší cenou a vyšší spotřebou stlačeného vzduchu. [14]

4.4.3 Kombinované

Kombinace chapadla a technologické pracovní hlavice se nazývá kombinované výstupní hlavice. Například podtlakové chapadlo s ostřihem slouží pro manipulaci s odlitky u lisů pro plastické hmoty. Uchopovací funkci plní čtyři podtlakové komory 1, ostřih zajišťují nůžky 2 a na konci ramene nůžek čelisti s ostrou hranou určené pro samotný ostřih vtokového nálitku odlitku. [14]



Obr. 26 Kombinované chapadlo s funkcí podtlakových komor (1) a stříhacím mechanismem (2,3) [14]

Jiným příkladem je efektor pro manipulaci a technologie tváření za tepla. Na konci efektoru, uchopovacího ramene, je nástavba pro držení čelistí. Celý systém je vybaven chlazením a chladič je umístěn na držáku, slouží pro odvod tepla. Hlavní součástí, upnutou na držáku, jsou čelisti. Jsou dimenzovány přímo na tvar uchopovaného předmětu. Při změně tvaru objektu manipulace je možnost vyměnit čelist. Její hlavní úlohou je ohřev povrchu manipulovaného objektu. [14]

5 POHON EFEKTORU

Bez pohonu by se z aktivních mechanických úchopových prvků staly pasivní. Pro vytvoření pohybu slouží systémy, které využívají sílu tekutin (olej, voda) nebo vzduchu. U hydraulických pohonů se využívá fyzikální vlastnost - nestlačitelnost kapaliny. Patří mezi nejvýkonnější a přesné druhy pohonu. Jejich nevýhodou jsou vysoké nároky na údržbu, výkonové ztráty teplem a hrozící únik kapaliny při mechanické poruše a tím znečištění prostředí. Například v oblasti tváření za tepla, konkrétně zápusťkové kování, se hydraulických pohonů v efektoch nevyužívá, protože manipulace s polotovary, pěchy a výkovky probíhá v nebezpečné vzdálenosti pohonu od extrémních teplot. Naopak jeden z druhů lisu, které výkovky tváří, využívá právě hydrauliku k vytvoření obrovských sil k přetváření. Ale i malé montážní systémy získávají krouticí moment, potřebný k utažení šroubu, díky možnosti převést energii tekutiny na mechanickou.

Pro účely pohonu efektoru se využívá především pneumatický pohon využívající stlačený vzduch k převodu na mechanickou energii. [6]

5.1 Pneumatický pohon

Vzduch jako médium je v podvědomí člověka již před tisíci lety. Přibližně před 2000 lety postavil Řek Ktesibios pneumatický prak. Jedná se tedy o jednu z nejstarších forem energie, kterou lidstvo využívalo ke zvýšení své fyzické výkonnosti. Také výraz „pneuma“, které znamená dech, vítr, také duši, pochází od starých Řeků.

Teprve před 60 lety se začaly aplikovat pneumatické pohony v průmyslu. Nejvyšší nárůst zaznamenáváme v posledních desetiletích, vzhledem k tomu, že čas jsou peníze, je touha technologické procesy zrychlovat, automatizovat a racionalizovat. [6]

5.1.1 Vlastnosti stlačeného vzduchu

Rozvoji a uplatnění pneumatiky se dostalo oblibě díky jednoduššímu a hospodárnějšímu řešení problémů automatizace. Mezi základní vlastnosti, které jsou důvodem oblíbenosti, využití stlačeného vzduchu patří:

- **Dostupnost** – vzduch je prakticky v neomezeném množství všude dostupný.
- **Doprava** – Jednoduchá doprava stlačeného vzduchu potrubím bez použití zpětného vedení.

- **Akumulace** – Stlačený vzduch lze akumulovat v tlakových nádobách. Také se v těchto lahvích dá přepravovat. To uleví kompresoru, který nemusí pracovat nepřetržitě a zkracovat si tak svoji životnost.
- **Teplota** – Jak již bylo zmíněno například při pohonu efektoru pneumatickým válcem, kdy dochází k radiaci tepla z tělesa tvářeného za vysokých teplot, není stlačený vzduch citlivý na změny teploty. Zaručuje se tedy bezpečná činnost díky odolnosti pneumatických zařízení při extrémních teplotních podmínkách.
- **Bezpečnost proti výbuchu** – Při použití pneumatiky nehrozí nebezpečí výbuchu a požáru. Proto nejsou nutná nákladná ochranná opatření proti výbuchu.
- **Čistota** – Vzduch je čistý a při mechanické poruše nedochází ke znečištění okolí únikem škodlivých látek, jako je tomu u hydrauliky. Zejména v závodech, kde je důležité dodržovat přísné hygienické normy je použití stlačeného vzduchu ideální volba.
- **Jednoduchost** – konstrukční prvky jsou jednoduché a tedy i levné.
- **Rychlost** – Stlačený vzduch, velmi rychlé pracovní médium, umožní dosahovat vysokých pracovních rychlostí, až 2 m/s u pístů pneumatických motorů.
- **Řiditelnost** – Rychlosti a síly se dají řídit ve velkém rozsahu.
- **Přetížitelnost** – Přetížení je bez následků. Pracovní prvky zastaví svoji činnost bez poškození. [15]

Mezi negativní vlastnosti patří:

- **Úprava** – Stlačený vzduch musí být zbaven veškerých nečisto a vlhkosti, které by mohli způsobovat opotřebení pneumatických prvků. Je třeba věnovat přípravě zvýšenou pozornost.
- **Stlačitelnost** – Stlačený vzduch neumožňuje dosáhnout konstantní rychlosti pohybu pístů pneumatických motorů
- **Dosažitelná síla** – Hospodárně dosažitelné síly při provozním tlaku 700kPa je 20 000 až 30 000 N. Síla závisí na celkovém zdvihu a rychlosti pístu.
- **Hlučnost** – Při odfuku vzduchu do okolí vzniká nepříjemný zvuk, který je ale v současnosti řešen různými tlumiči hluku.
- **Náklady** – Na výrobu vzduchu pod tlakem jsou vynaloženy vyšší náklady, stlačený vzduch je tedy relativně drahý nosič energie. Toto negativum kompenzuje nízká

cena a velká výkonnost pneumatických součástí, které vydrží vysoký počet pracovních taktů. [15]

5.1.2 Výroba a úprava stlačeného vzduchu

Stlačený vzduch se vyrábí kompresorem, který stlačuje vzduch na požadovaný pracovní tlak. Většinou se využívá centrální výroba stlačeného vzduchu, který je rozváděn z kompresorové stanice potrubím k jednotlivým zařízením. Tím i odpadají jednotlivé výpočty a návrhy zařízení pro výrobu stlačeného vzduchu. Existují také mobilní zdroje stlačeného vzduchu, které se využívají ve stavebnictví nebo u strojů s častou změnou stanoviště.

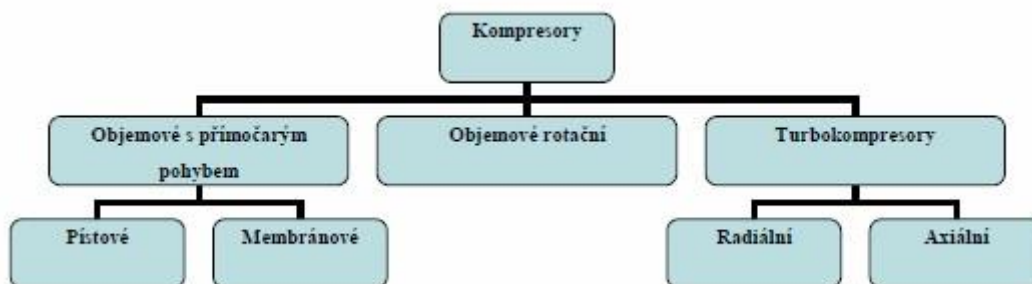
Při návrhu je vhodné uvažovat do budoucnosti s navýšením počtu pneumatických zařízení a tím vyšší spotřeby vzduchu. Je vhodné tedy výrobu vzduchu předimenzovat, než později zjistit, že je nedostatečná a s vysokými finančními náklady ji rozšiřovat.

Důraz je kladen i na zajištění čistoty vzduchu. Ta ovlivňuje životnost výrobního zařízení. [6]

5.1.3 Druhy kompresorů

Návrh kompresoru se řídí požadavkem na množství vzduchu a jeho pracovní tlak.

Základní dva typy kompresorů pracují na objemové nebo rychlostním principu. Objemový kompresor nasaje vzduch do komory, která se uzavře a následně provede zmenšování objemu komory, tedy stlačení. Na tomto principu pracují například pístové kompresory. Rychlostní kompresor urychluje nasátý vzduch a jeho kinetickou energii je v difuzoru transformována na tlakovou energii. Nazývají se turbokompresory a jsou vhodné pro dodávku velkého množství vzduchu. [6]



Obr. 27 Rozdělení kompresorů [6]

5.2 Pneumatické motory

Pneumatické motory jsou spotřebiče stlačeného vzduchu měnící jeho tlakovou energii na energii pohybovou. Dělí se podle vykonávaného pohybu:

- Rotační pneumatické motory – pneumatický motor;
- Přímočaré pneumatické motory – pneumatický válec;
- Kyvné pneumatické motory – vahadlový motor.

Nebo podle využití energie:

- S úplnou expanzí
- Částečnou expanzí
- Bez expanze

Stlačený vzduch, dodávající kompresor, prochází přes filtr zbavující vzduch nečistot a maznici, která dodá vzduchu malé množství oleje pro mazání jednotlivých pohyblivých členů systému. [16]

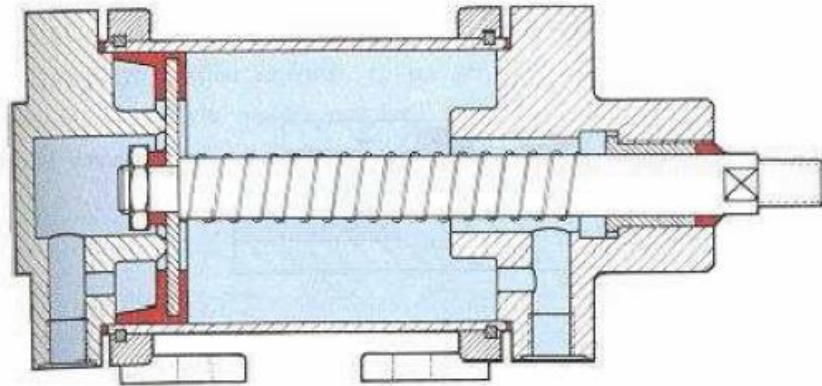
5.2.1 Jednočinné pneumatické válce

Jednočinné pneumatické válce jsou konstruovány jako membránové nebo pístové. Tlak pístu působí na jednu stranu membrány nebo pístu, a proto může být práce vykonána pouze v jednom směru pohybu. Zpětný pohyb zajistí vratná pružina nebo jiná dostatečně velká vnější síla. U membránového válce je tlakem vzduchu prohýbána membrána a přenáší lineární pohyb na pístnici. [17], [6]

5.2.1.1 Pístové motory

Pracovní pohyb pístového motoru je jednoduchý lineární pohyb pístnice, zhotovená z kovu nebo plastu, která je osazená pružným materiálem – těsněním. Při pohybu se těsnění smýká po vnitřní straně válce.

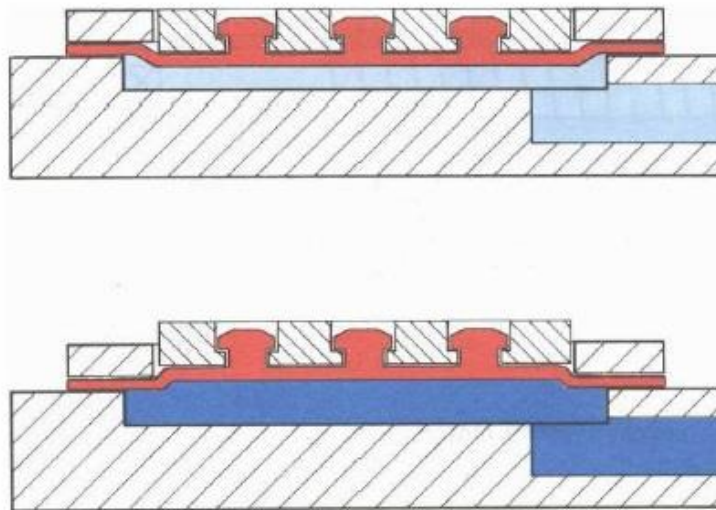
K dispozici je i varianta opačná, kdy pracovní zdvih provádí pružina a zpětný pohyb je vyvozen tlakovým vzduchem. Příkladem jsou vzduchové brzdy u železničních vagónů, ty mají výhodu, že fungují i při výpadku energie. [17], [6]



Obr. 28 Pístový motor [17]

5.2.1.2 Membránové motory

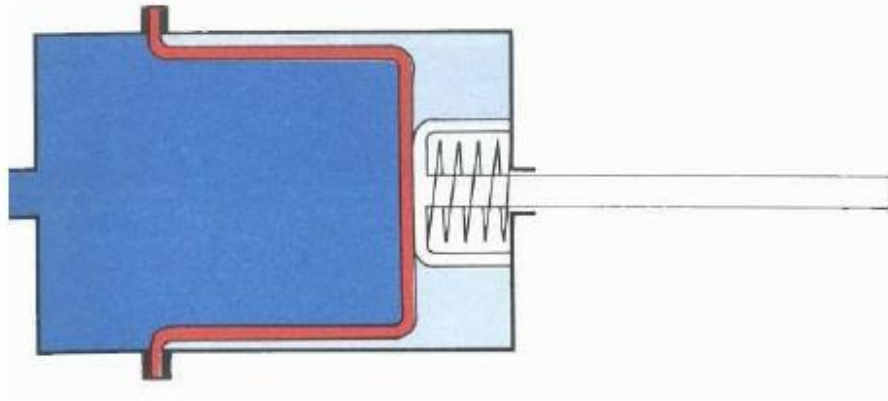
Úlohu pístu plní membrána z pryže, plastu nebo kovu, ke které je připevněna pístnice. Odpadá pohyblivé těsnění, protože je membrána uchycena v tělese motoru svým obvodem. Při napínání dochází k vnitřnímu tření. Tyto motory jsou známé pod názvem „tlakové“ nebo taky „silové krabice“ a používají se při konstrukci přípravků a nástrojů k ražení, nýtování a upínání na lisech. [17], [5]



Obr. 29 Membránový motor [17]

5.2.1.3 Motory s odvalující se membránou

Také se využívá membrána, která se po přivedení tlakového vzduchu odvaluje po vnitřní stěně válce motoru a vysouvá pístnici opatřenou pouzdrem a pružinou, která vrací membránu zpět. Tření při pohybu jsou malá. Motor disponuje většími zdvihy než membránové s plochou membránou. [17], [5]



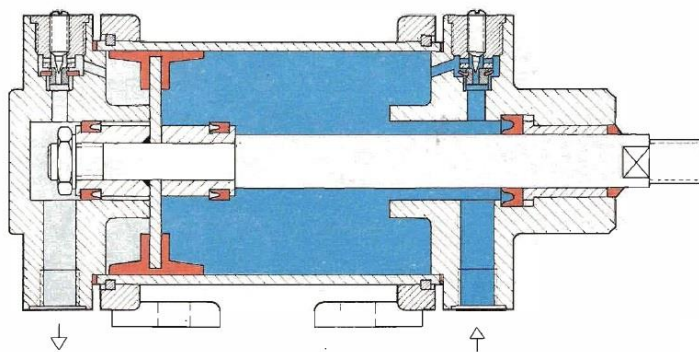
Obr. 30 Motor s odvalující se membránou [17]

5.2.2 Dvojčinné pneumatické válce

Dvojčinné pneumatické válce mají pracovní pohyb v obou směrech. Stlačený vzduch tedy působí střídavě na obě strany pístu. Mezi hlavní přednosti oproti jednočinným pneu-válcům jsou mnohem vyšší zdvih (až 2m), zpětný pohyb není ovlivněn pružinou, je rovnoměrný a rychlý. Lze také nastavit rychlosti pohybu v obou směrech. Rozsah pohybu vymezují zářezky pístu ve válci, ty se však prudkými nárazy rychle opotřebují, a proto se při vysokých taktach využívá nastavitelné tlumení z pružných podložek umožňující měkké zastavení v koncových polohách. [17], [5]

5.2.2.1 Pístové motory s tlumením v koncových polohách

Tlumení pístových motorů v koncových polohách se využívá při pohybech s velkými hmotnostmi hlavně za účelem zamezení rázů a případnému poškození. Než píst dosáhne koncové polohy, škrťací ventil částečně uzavře hlavní odfuk do ovzduší a pro výtok vzduchu zůstává menší nastavitelný průřez. Dojde ke stlačení vyfukovaného vzduchu a píst se před dosažením koncové polohy plynule zpomaluje. Realizace tlumení může probíhat s nastavitelným i nenastavitelným škrťacím ventilem v jedné, nebo obou koncových polohách. [17], [5]

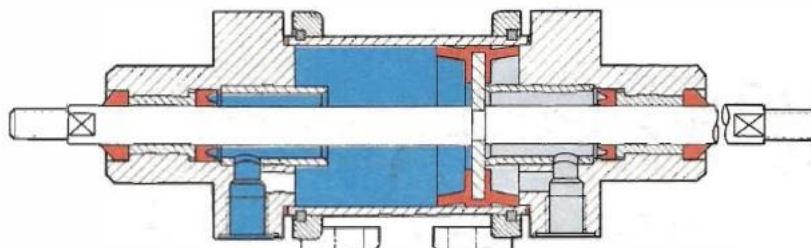


Obr. 31 Dvojčinný pístový motor [17]

5.2.3 Zvláštní provedení dvojčinných přímočarých motorů

5.2.3.1 Motor s průchozí pístnicí

Jedná se o motor s oboustrannou průchozí pístnicí v celé délce válce uloženou ve dvou kluzných vedeních pro lepší pohyb. Dovoluje menší boční zatížení a umístění čidla na volné straně pístnice. Plocha pístu je stejná z obou stran, proto i síla je při obou směrech stejná. [17], [5]



Obr. 32 Pístový motor s průchozí pístnicí [17]

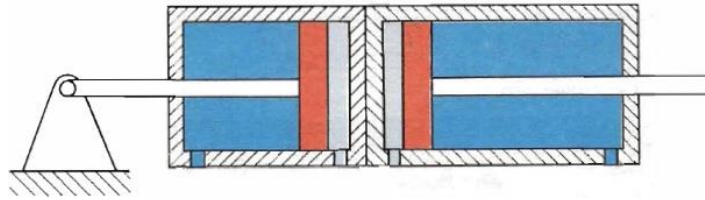
5.2.3.2 Tandemový motor

Díky spojení dvou dvojčinných motorů se společnou pístnicí dokáže zdvojnásobit sílu na pístnici. Hlavní uplatnění je při potřebě velkých sil, ale omezených prostorových možnostech. [17], [5]

5.2.3.3 Vícepolohový motor

Spojení dvou nebo více dvojčinných pístových motorů. Po stlačení vzduchu v prvním motoru dojde k přesunu do druhé komory motoru, kde právě silou stlačeného vzduchu z prvního válce začne pracovat píst u druhého motoru a stlačí další objem

vzduchu. Tento druh motoru se využívá například při podávání z regálů na dopravní pás, zdvihacích činnostech nebo při třídění. [17], [5]

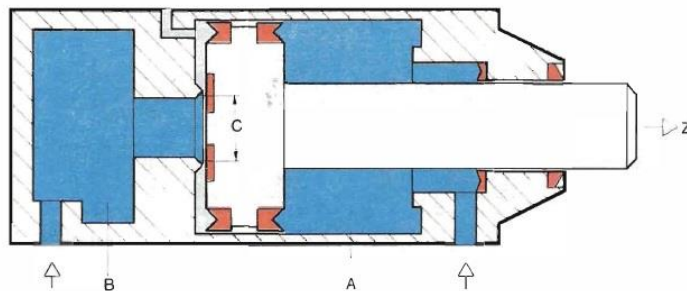


Obr. 33 Vícepolohový motor [17]

5.2.3.4 Pístový motor s úderným účinkem

Jsou to motory, které pracují s velkou kinetickou energií a zvýšenou rychlostí pístu až 10 násobně oproti normálním rychlostem pístu. Využívají se zejména k lisování, nýtování, vyrážení a další úderné aplikace. Rázová energie je dostatečně velká pro nahrazení lisovacího zařízení. Nevýhodou je větší tváření materiálu, protože rychlost, při zvyšujícím se pracovním zdvihu, klesá.

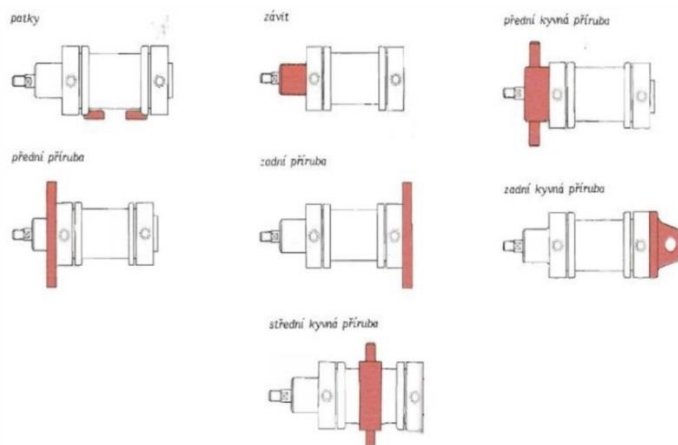
Prostor B je naplněn vzduchem – tlakem, stejně jako prostor A. Prostor A je poté propojen s ovzduším, protože síla působící na plochu C je vyšší, než síla, která klesá, v prostoru A. Krátce po zahájení pohybu začne působit tlak B na celou plochu pístu a síla se zvýší. Přivedením vzduchu do prostoru B se ještě zvětšuje i rychlost pohybu pístu. [17], [5]



Obr. 34 Pístový motor s úderným účinkem [17]

5.3 Upnutí pneumatických motorů

Podle toho jak je pneumotor umístěn, na strojích nebo přípravcích, se volí správné a vhodné uchycení. Nejčastěji se využívá stavebnicově řešená konstrukce připevnění, v opačném případě je motor konstrukčně speciálně upraven. [17], [5]



Obr. 35 Způsoby uchycení pneumotoru [17]

5.4 Symbolika pro kreslení pneumatických motorů

Při kreslení schémat nebo konceptů zařízení, je vhodné používat symboly, které charakterizují daný typ pneumatického pohonu. Díky symbolice motoru se lze rychleji orientovat a prezentace řešení nemusí obsahovat dodatečné informace o typu pneumotoru. [17], [5]

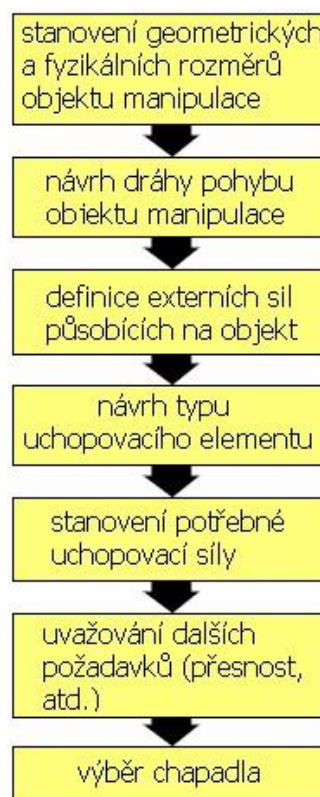
Tab. 5 Základní symboly pro značení pneumotorů [17]

Jednočinný přímočarý pneumotor se zpětným pohybem způsobeným účinkem vnější síly	
Jednočinný přímočarý pneumotor se zpětným pohybem způsobeným účinkem pružiny	
Dvojčinný přímočarý pneumotor s jednostrannou pístnicí	
Dvojčinný přímočarý pneumotor s oboustrannou pístnicí	
Motor se zesílenou pístnicí	
Píst s manžetou pro utěsnění vyšších tlaků	
Motor s teplotně odolným těsněním	

6 NÁVRH CHAPADLA – ANALÝZA

Základem vhodně navrženého chapadla je rozbor procesu uchopovací operace. Nejdůležitější částí celého projektu by měla být počáteční analýza problematiky. Veškeré chyby, které se vyskytnou z kraje projektu, ovlivní budoucí řešení přípravku a odstranit je bývá ekonomicky náročné, proto je nutné jim předejit již v počátku.

Při návrhu je hlavním cílem uchopit předmět o daném tvaru a fyzikálních vlastnostech. Během dráhy, doby manipulace, objektu také dochází například k silovému nebo tepelnému působení, a proto je nutné všechny faktory zohlednit. [5], [13]



Obr. 36 Diagram posloupnosti operací při návrhu chapadla [8]

Dalším faktorem jsou provozní podmínky robotu, na kterém je chapadlo připevněno. Je nutné znát například počet stupňů volnosti a velikost pracovního prostoru kvůli dráze z bodu A do bodu B, tak aby nedošlo k poruše. Každý robot má i svoji maximální nosnost vztaženou většinou na koncový prvek ramene – přírubu.

Celkový proces přemístění má tři hlavní části:

- uchopení;
- přesun;

- umístění.

Každá z těchto fází má své specifické podmínky a nároky.

6.1 Objekt manipulace

Objektem manipulace rozumíme předmět, obrobek, výkovek, výlisek, výstřík, nebo také již částečně smontovanou součást přemísťující se k další montáži. Aby byl výsledek návrhu chapadla i jeho úchopových prvků (čelistí) ideální, je nutné dokonale znát objekt manipulace. U složitějšího tvaru lze z prvotní studie zjistit, že přenos takového objektu není realizovatelný a je nutné se tedy obrátit k jinému způsobu manipulace. [5], [13]

Základní informace o předmětu by měli poskytnout rozměry a materiál:

Rozměry:	Rozměry geometrické (délka, šířka, výška, průměr, tloušťka)
	Maximální hodnoty základních rozměrů (rozsah hodnot)
	Hmotnost (musí splňovat maximální nosnost robotu)
	Tvar (kostka, krychle, válec, koule, tvarově složitější objekty)
	Tolerance (při vysokých tolerancích nutné počítat s korekcí dráhy)
	Těžiště
	Rozměry v místech uchopení
Materiál:	Mechanické a fyzikální vlastnosti (pevnost, pružnosti, tekutost)
	U železných materiálů jejich magnetické vlastnosti
	Tepelná a elektrická vodivost
	Teplota
	A další vlastnosti, které jsou daná pro určitý materiál
Povrch:	Jakost povrchu ovlivňující třecí složky uchopovacích sil a kvalitu

6.2 Výpočet úchopové síly

Slouží pro stanovení nejpříznivější úchopové síly a naopak tak, aby došlo k bezpečnému udržení objektu manipulace v úchopných prvcích hlavice během manipulace na trase mezi výchozím bodem A a koncových bodem B. Vzhledem k druhu robotu se může stát, že v pohybu o několika stupních volnosti dojde k natočení chapadla a vytvoření kritické situace pro manipulaci. Každá z nejméně vhodných poloh je řešitelná například drážkováním čelistí. [5]

Nejnevhodnější situace na obrázku uvedena jako D má výpočet úchopové síly U , která přitlačuje čelisti proti sobě, následující vztah:

$$F = m \times (g + a_v) \quad (1)$$

$$U = \frac{kF}{f} = \frac{k(g + a_v)m}{f} = \frac{k(g + a_v)G}{fg} = \frac{kG}{f} \left(1 + \frac{a_v}{g}\right) \quad (2)$$

Síla U je označována jako kritická a stanoví se z výslednice všech vnějších sil působících na OM.

Výpočtová síla musí být s rezervou, která odpovídá nejistotě ve stanovení součinitele tření f a velikosti působících sil při provozu robotu, což je ošetřeno koeficientem bezpečnosti k .

Při horizontálním pohybu se zrychlením a_h a úhlem α jakožto úhlem sklonu dotykových ploch čelistí je úchopná síla:

$$U = G \left(\frac{k}{f} + \frac{a_h}{g} \tan \alpha \right) \quad (3)$$

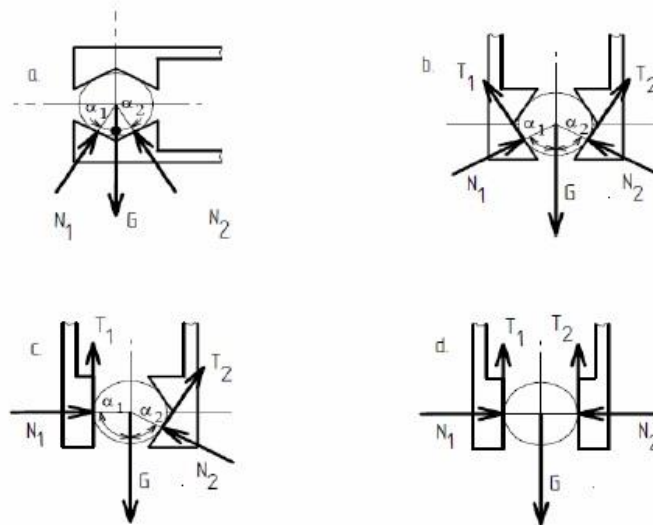
Při rotaci efektoru v horizontální rovině při úhlové rychlosti rotace efektoru ω a úhlovém zrychlení ϵ a vzdálenosti osy rotace k ose objektu manipulace je úchopná síla vypočtena ze vzorce:

$$U = G \left(\frac{k}{f} + \frac{\omega^2}{g} R \tan \alpha + \frac{\epsilon}{g} R \right) \quad (4)$$

Společně lze vztah pro působení celkové úchopové síly vyjádřit:

$$U_{celková} = G \left[\frac{k}{f} \left(1 + \frac{a_v}{g}\right) + \frac{1}{g} (a_h \tan \alpha + \omega^2 R \tan \alpha) + \frac{\epsilon}{g} R \right] \quad (5)$$

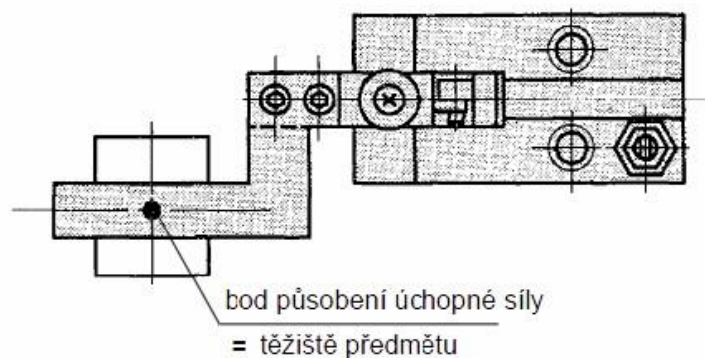
Výpočet úchopových sil závisí na tvaru čelistí a na způsobu držení. Mezi běžné případy patří:



Obr. 37 Možné způsoby uchopení objektu manipulace [5]

6.2.1 Bod působení úchopné síly

Každý manipulovaný předmět má svoje těžiště a síla, která ho uchopuje, by měla působit právně vněm, aby se zamezilo vzniku přídavných sil a momentů, které působí na čelisti a jejich uložení v tělese hlavice.



Obr. 38 Bod působení úchopné síly a těžiště předmětu [5]

Není jednoduché stanovit dokonalé uchopení, a mohou vznikat případy, kdy těžiště uchopeného předmětu leží mimo osu úchopné hlavice. Tento prostor je ale limitován pouze v určitém rozsahu, daném poměrem délky ramene čelisti k vyosení těžiště předmětu v závislosti na tlaku vzduchu, a znázorněn na diagramu technické dokumentace výrobce. [5]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

7 ÚVOD DO PROBLEMATIKY

Cílem praktické části diplomové práce a zároveň zadání společnosti Kovárna VIVA a.s. bylo navrhnout konstrukční řešení robotického chapadla pro kovárenské účely. Firma provozuje čtyři částečně, či plně robotizované kovací linky. Pracovní nástroj robotu je robotická ruka – chapadlo. S příchodem nových výkovku nedovoluje současný stav chapadel na kovací lince L12 - LVH 2500 přenášení objektu manipulace určitých kritických rozměrů.

7.1 O firmě

Kovárna VIVA a.s. představuje přední českou průmyslovou kovářnu. Specializuje se na výrobu zápusťkových výkovku z legovaných, mikrolegovaných, uhlíkových a konstrukčních ocelí s hmotnostmi výrobků v rozmezí 0,1 - 30 kg. Poskytuje komplexní program pro zápusťkové výkovky, a to od návrhu konstrukce výkovku až po jeho finální zpracování tj. chemicko-tepelné zpracování, obrábění a povrchové úpravy jako barvení, zinkování, niklování.



Obr. 39. Typické výkovky firmy VIVA a.s. [18]

Kovárna vznikla jako součást firmy Baťa v roce 1932. V roce 1992 došlo k založení společnosti Kovárna VIVA Zlín s 36 zaměstnanci a 3 tvářecími linkami. O rok později přibyl první zahraniční zákazník, podpora CAD a CAM Unigraphics a CNC stroj. Další vývoj směřoval k modernizaci a výstavbě nových pracovních linek. V současné době

společnost zaměstnává více než 400 zaměstnanců, v provozu má 15 kovacích linek a dodává pro významné zákazníky jako SCANIA, Linde, Poclain Hydraulics nebo ZF. [18]



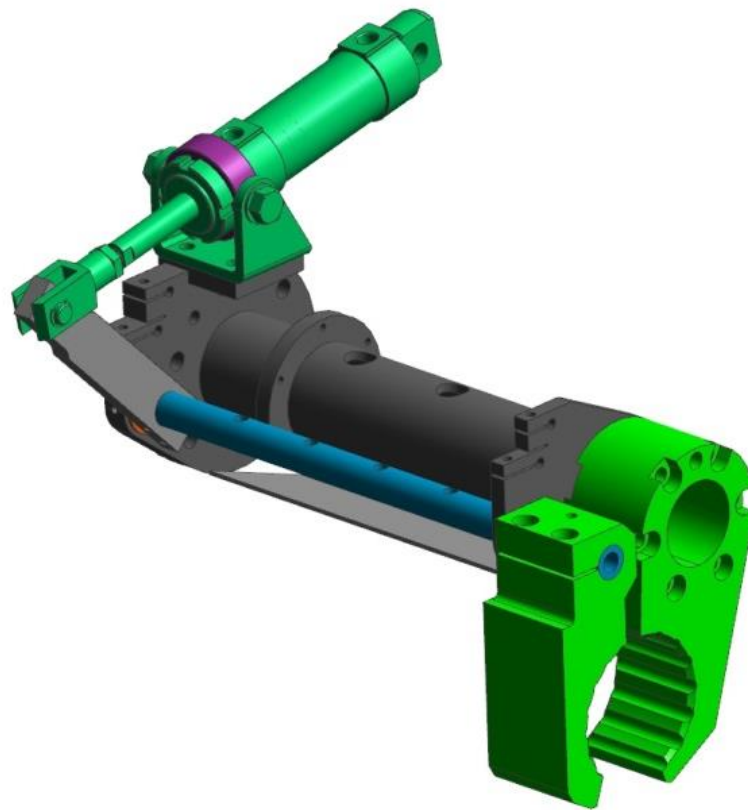
Obr. 40 Prostory s kovacími stroji [18]

7.2 Současný stav L12 – LVH 2500

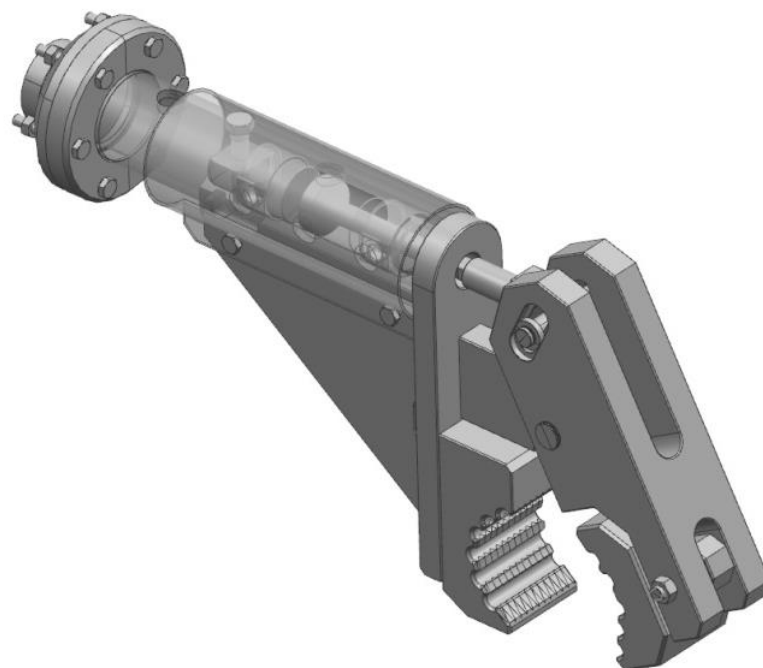
Kovací linka L12 je osazena jedním robotem, který manipuluje s polotovarem mezi induktorem a pēchovacím lisem LU 400 a pēchem mezi LU 400 a kovací lisem LVH 2500. Stávající chapadla byla zakázkovou prací pro konkrétní sortiment výkovků. Přesto plně pokrývala i jiné kovací práce a proto nebylo nutné vytvářet nové chapadlo. Jediným zásahem, který proběhl do současných chapadel, byly nové čelisti. Jejich tvar byl upraven pro potřeby kovacích prací nestandardních rozměrů. Zvýšili tak použitelnost a účinnost chapadel a vytvořili z nich univerzálnější nástroje pro podobné tvarové skupiny těles. Avšak s příchodem nových kovacích prací velkých rozměrů, bylo nutné vytvořit chapadlo, které zajistí bezproblémovou a bezpečnou manipulaci.

Současná chapadla:

- Bridge – Natočení čelistí o 90° vzhledem k přírubě robotu je využíváno pro zakládání polotovaru do LU 400 pro vodorovné pēchování. Slouží především při kování brzdových třmenů pro automobilový průmysl.
- 12-3002 – Univerzálnější chapadlo, které zakládá polotovary do LU 400 pro svislé pēchování.



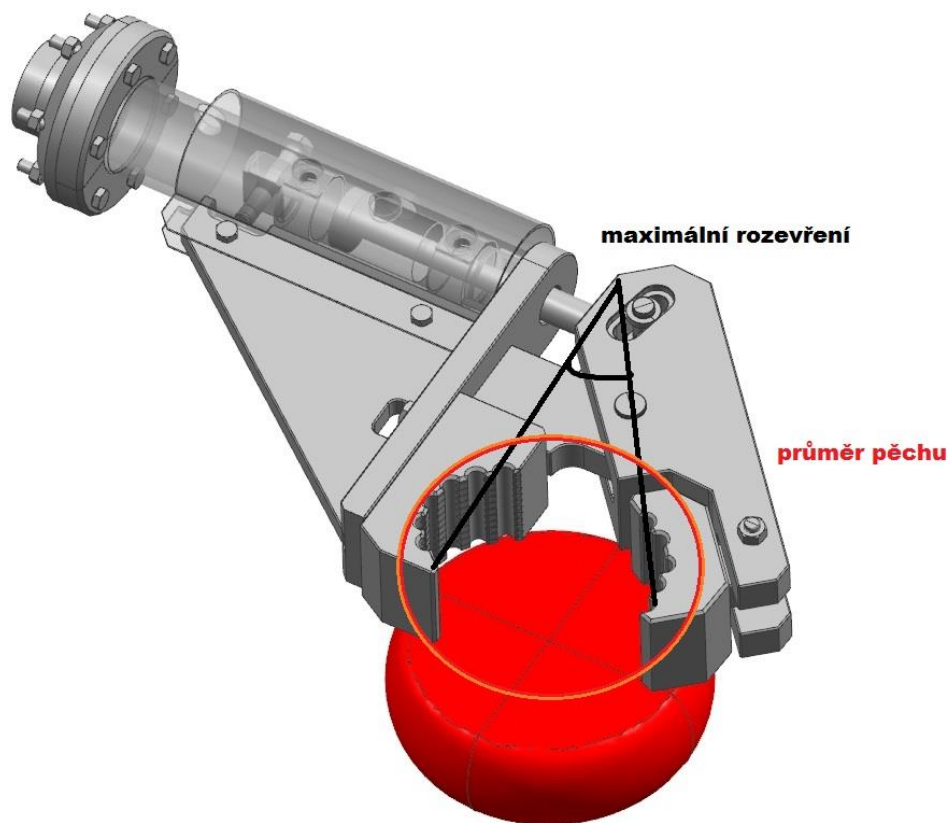
Obr. 41 Chapadlo 12-3001 s označením Bridge



Obr. 42 Chapadlo 12-3002

7.3 Požadavek zadavatele na nové řešení

Nové práce obsahují rotační výkovky s velkým průměrem. Kovací operace se u těchto dílů skládá z pěchování, předkování a dokování. Předkovací operace udává částečný, zjednodušený, tvar výkovku. Vstupním objektem pro předkování je pěch. Pěchovací operace je, hned za ohřátím polotovaru na kovací teplotu, druhá v sérii všech úkonů potřebných k vyrobení výkovku. V našem případě se jednalo o pěchování polotovaru na velký průměr, který nelze současnými chapadly uchopit a odnést do předkovací dutiny. Požadavkem bylo navrhnout chapadlo, které bude schopné odebrat nahřátý polotovar, přenést ho do pěchovacího lisu, poté odebrat pěch a přenést do předkovací dutiny. Pro realizaci se postupovalo obecným konstrukčním procesem zahrnujícím zadávací list, koncepční návrhy, výpočet, konstrukci komponent, sestavu, pevnostní analýzu, výkresy, výrobu, montáž a odzkoušení chapadla v praxi.



Obr. 43 Předpokládaný problém s odebráním pěchu nových pozic, iniciace ke konstrukci nového chapadla

8 PRACOVNÍ PROSTORY

Kovací prostory linky L12 - LVH 2500 se skládají z následujících strojů a zařízení:

- vibrační zásobník polotovarů VZ 1800 P,
- ohřívač - induktor,
- příprava polotovaru:
 - příčné klínové válce,
 - pēchovací lis LU 400,
- kovací linka LVH 2500,
- ostřihovací/děrovací lis,
- průmyslový robot ABB IRB 4600-40/2.55,
- příslušenství – dopravníky, ventilátory.

8.1 LVH 2500

Vřetenový kovací lis LVH 2500 s kovací silou 25 MN, tj. 250 tun, je určen zejména pro přesné kování výkovků rozličných tvarů strojních součástí v hromadné a sériové výrobě za tepla, například osobních a nákladních automobilů, traktorů, vagónů, letadel a zemědělských strojů. Snadnou práci obsluhy ulehčuje malá vzdálenost mezi kovářem a středem pracovního prostoru lisu.

Zdrojem tvářecí energie je zde kinetická energie roztáčeného setrvačnicku. Ve stojanu lisu skříňového tvaru se pohybuje mohutný beran. Vnitřní prostor beranu je pracovní prostor lisu a je zde umístěn stůl lisu. Velikost tvářecí energie je závislá na velikosti hnaného zdvihu beranu. Velikost zdvihu je řízena řídicím systémem stroje, který se nastavuje z panelu operátora dle zvolené technologie kování. K vyhazování výkovku ze zápustky slouží vyhazovače. [19]



Obr. 44 Vřetenový kovací lis LVH 2500

8.2 Robot ABB IRB 4600-40/2.55

Firma ABB je vedoucím dodavatelem průmyslových robotů, automatizovaných výrobních systémů a s tím spojených služeb. Roboti ABB jsou rozšíření po celém světě, což dokazuje více než 250 000 instalací.

Hlavní aplikace pro použití série IRB 4600 jsou obsluha strojů, manipulace s materiálem, obloukové svařování, řezání, dávkování, montáž, paletizace a balení. V neposlední řadě také měření. Zavedení robotu do výroby umožňuje zvýšit výrobní kapacitu pracoviště a zlepšit tím tak produktivitu. [20]



Obr. 45 ABB IRB 4600-40/2.55 [20]

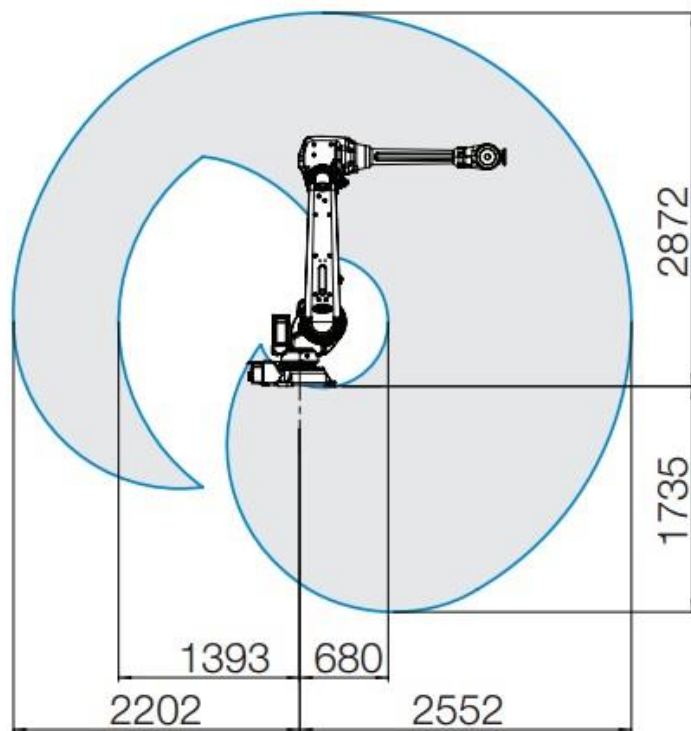
8.2.1 Parametry robotu

Robot je u výrobce charakterizován jako kompaktní díky relativně malé základně, menším rozměrům ramen a hodí se tedy do těsnějších prostor. Přesto si zachovává veliký pracovní rozsah a díky nižším hmotnostem zkracuje cyklus až o 25%. Má nejvyšší zrychlení ve své třídě a výbornou ochranu proti negativním faktorům okolí. Nevýhodou je nízká maximální nosnost udávaná na přírubě. Parametry robotu se skrývají v jeho označení 40/2.55, které charakterizuje 40 kg nosnost a akční rádius (dosah) 2,55 m. [20]

Z katalogového listu lze získat důležité informace o robotu.

Tab. 6 Souhrn informací z katalogového listu [20]

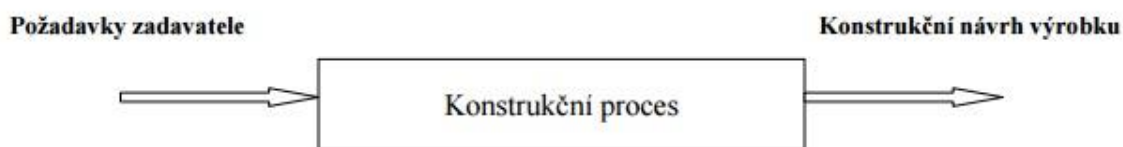
Specifikace robotu ABB IRB 4600-40/2.55	
Dosah [m]	2,55
Nosnost [kg]	40
Počet os	6
Rozměry základny [mm]	512 x 676
Výška [mm]	1727
Váha [kg]	428



Obr. 46 Pracovní rozsah IRB 4600-40/2.55 [20]

9 KONSTRUKČNÍ PROCES

Vznik nového chapadla byl řízen obecným konstrukčním procesem. Vstupem byly požadavky zadavatele a okrajové podmínky. Souhrn všech vstupních podmínek a parametrů byl obsažen v požadavkovém listu. Na základě požadavkového listu se přešlo k vytvoření prvních skic a konceptů s návrhy nového chapadla. Každý nový nápad a návrh byl konzultován se zadavatelem. Během tohoto procesu se třídily jednotlivé nápady z konceptů a vytvořily tak podklady a myšlenky pro výsledné řešení. [21]



Obr. 47 Vstup a výstup konstrukčního procesu [21]

9.1 Požadavkový list

Zadání úkolu bylo stejné jako název diplomové práce, tedy navrhnout konstrukční řešení robotického chapadla pro kovárenské účely. Po zpřesnění úkolu, kterému byla věnována podkapitola „Požadavek zadavatele na nové řešení“ se přešlo na samotné koncipování. Pro dodržení konstrukčního procesu bylo nutné vytvořit požadavkový list. Po konzultaci se zadavatelem byly vytvořeny obecné podmínky a přání, které jsou požadavkem na chapadlo. [22]

Tab. 7 Požadavkový (zadávací) list [22], [23]

Požadavkový list		
Specifikace požadavku	Podmínka	Přání
FUNKCE, ÚČINKY A FUNKČNÍ PARAMETRY:		
Odebrat polotovary z induktoru	x	
Odebrat pěch	x	
Pokrytí celkový rozsah objektů manipulace: 60 - 215 mm	x	
Zajistit dostatečnou vůli při najíždění chapadla k objektu manipulace	x	
Nepřekročit nosnost robotu - 40 kg	x	
Vyměnitelné úchopové prvky		x
Zajistit opatření proti lepení objektu manipulace na úchopovém prvku	x	
Pneumatický pohon	x	
Montovat regulační orgán pro rychlost stisku		x
Tuhost	x	
Přesnost	x	
Přizpůsobit rozměry dle rozměrů pracovních prostor lisů	x	
Bezpečnost - omezit možnost vyklouznutí objektu manipulace	x	
ODOLNOST A ŽIVOTNOST		
Četnost použití vysoká		
Požadovaná životnost vysoká		
Odolnost vysokým teplotám	x	
Odolnost úchopových prvků do teplot 1250 °C	x	
Nečisté prostředí - grafit, prach		
Údržba minimální	x	
Údržba žádná		x
Zabránit poškození pneumatického pohonu krytováním	x	
Jednotlivé komponenty vyměnitelné		x
ERGONOMIE		
Snadná montáž na přírubu robotu		x
Rychlá výměna úchopových prvků		x
Snadný přístup ke komponentům údržby		x
Vyvarovat se řezným prvkům - ostré rohy		x
Rychlá a jednoduchá výměna komponent		x
EKONOMIE		
Nízké náklady na výrobu		x
Nízké náklady na provoz		x
Rychlá výměna / nastavení úchopových prvků		x

Nové práce od zákazníka vyrábějící vstřikovací čerpadla byly z ekonomických a technických důvodů nejlépe realizovatelné právě na kovací lince L12 - LVH 2500 s robotickou manipulací polotovaru a pěchu. Jedná se o rotační výkovky s velkým průměrem pěchu, jak udává požadavkový list, které nejsou schopné stávající chapadla 12-3001 (Bridge) a 12-3002 odnést. Svou velikostí se řadí do kategorie středně těžkých výkovků a jejich váha se pohybuje v rozmezí 9 – 20 kg. Navrhované chapadlo, které bude montováno na robota ABB IRB 4600-40/2.55, nesmí překročit hmotnost 40 kg včetně nejtěžšího polotovaru. Pěchování probíhá na stroji LU400 s určitými rozměry pracovního prostoru, do kterého se chapadlo musí bezpečně dostat. To samé platí pro kovací lis.

9.1.1 Výkovky

Sortiment výkovků byl rozdělen na tři části:

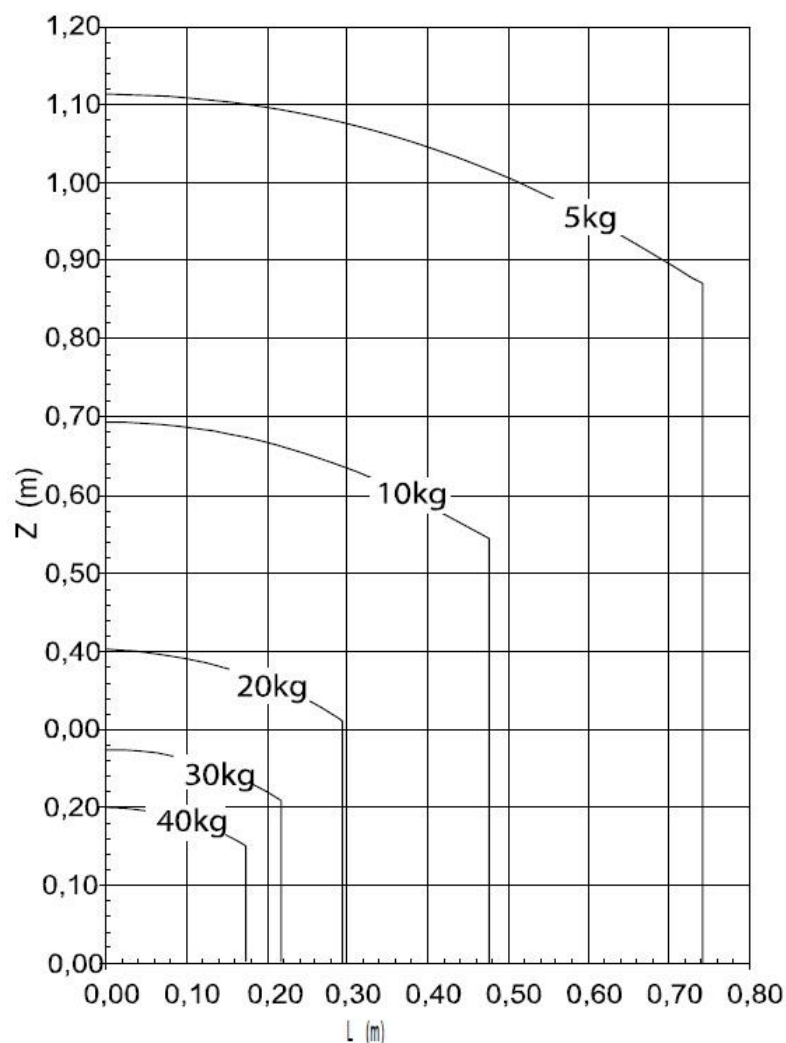
- **kategorie I** - nově příchozí kovací práce – rotory nevhodné pro stávající chapadla,
- **kategorie II** - nově příchozí kovací práce – rotory částečně vhodné pro stávající chapadla,
- **kategorie III** - současné kovací práce – lze aplikovat nové chapadlo místo stávajících.

Kategorie I obsahuje výkovky takových rozměrů, které současné chapadla nedokáží pokrýt. Některé rotory lze odebrat současným chapadlem 12-3002, ale je nutné zkonstruovat nové vhodné čelisti. Rozdíl rozměru mezi polotovarem a pěchem je natolik rozdílný, že samotná konstrukce správného řešení čelisti by zabrala hodně času. Jisté obavy jsou také z nedodržení podmínky pro dostatečnou vůli mezi pěchem a čelistmi. Provedla se orientační kalkulace zahrnující konstrukci nových čelistí, potřebných k odebrání polotovaru a pěchu na současném chapadlu, a výrobní náklady. V rozvaze byly také zhodnoceny časové prodlevy při výměně chapadel. Tyto prodlevy lze omezit vhodnou konstrukcí nového chapadla, tak aby bylo schopné odebrat co největší rozptyl rozměrů, z pravidla průměru pěchu.

9.1.2 Nosnost robotu

Z datového listu stáhnutého z webu výrobce robotu byly zjištěny parametry. Maximální dosah 2,55m a celkový pracovní prostor je pro umístění ke kovací lince dostačující. Mezní hodnotou byla maximální nosnost 40kg vztažená na konec ramene robotu – přírubu. Tato informace také plyne z požadavkového listu a byla velice důležitá a rozhodující. Vztahova-

lo se k ní celé konstrukční řešení chapadla. Ve firmě Kovárna VIVA a.s. byl k dispozici zátěžový diagram dodaný přímo výrobcem ABB. Diagram lze použít na typovou řadu robotu IRB 4600. Příruba robota se v diagramu nachází v průsečíku os, v bodě 0. Maximální nosnost robotu je udávána k tomuto bodu. Jakékoli chapadlo montované na přírubu robotu má určité souřadnice těžiště. Ty se promítnou na osách. Vertikální osa Z je souosá s osou příruby a charakterizuje délku ramene. Horizontální osa L udává kolmou vzdálenost těžiště k ose Z. Vytažením čar z bodů, odečtených z os, vznikne průsečík, který udává maximální nosnost robotu vztáženou k těžišti.



Obr. 48 Zátěžový diagram robotů řady IRB 4600 [20]

Po zhlédnutí zátěžového diagramu bylo patrné, že konstrukce chapadla bude obtížnější, aby bylo těžiště vhodně umístěno a splnila se tak podmínka manipulace s polotovary vyšších hmotností.

9.1.3 Pracovní prostory linky

Pracovní prostory linky, které obsluhuje robot, se skládá ze tří strojů.

9.1.3.1 *Kompaktní středofrekvenční ohříváč KSO 800/1,5-C20*

Polotovary se ohřívají na kovací teplotu v induktoru KSO 800 s výkonem 800kW. Pohyb polotovaru zajišťuje řetězový dopravník. Maximální výstupní teplota je 1250°C. Konec induktoru je opatřen bezdotykovými teplotními čidly. Dle výše teploty je regulován výkon ohříváče a je řízena funkce třídičky. Nedohřátý nebo naopak přehřátý polotovary je klapkou sesunut do beden. Polotovary s vhodnou teplotou je dopraven na konec dopravníku, kde dojde k nadzvednutí, pomocí vyhazovače s dlouhou vodorovnou drážkou tvaru U. Nevhodná konstrukce čelistí může způsobit kolizi s dopravníkem nebo vyhazovačem. Dle zkráceného náčrtu se rozhodlo, že toto omezení je zanedbatelné při konstrukci tvarově jednoduchých čelistí. Podmínkou požadavkového listu tedy zůstává odolnost vysokým teplotám, odolnost proti spékání polotovaru a čelisti a chránění pohonu proti tepelnému sálání.



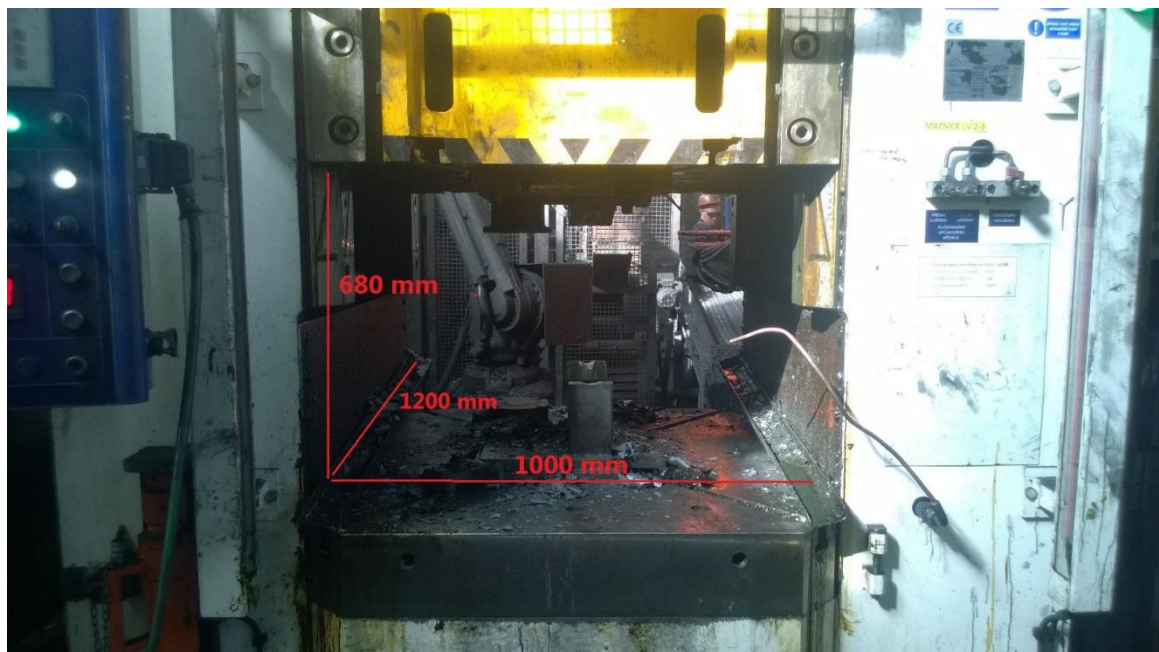
Obr. 49 Ohříváč KSO 800



Obr. 50 Vibrační zásobník

9.1.3.2 Pěchovací list LU 400

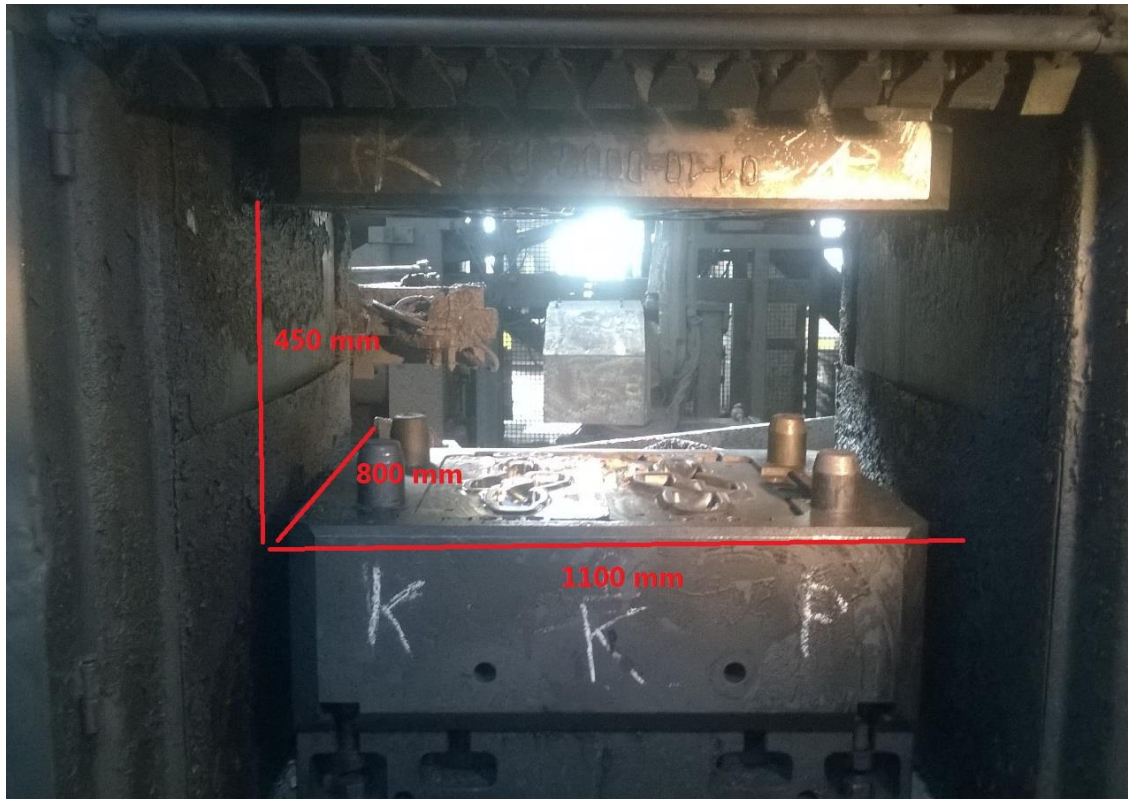
Pracovní prostor pěchovacího lisu byl odměřen ručně. Důležité jsou především šířka a výška. Rozměry chapadla musí být menší než rozměry pracovního prostoru.



Obr. 51 Pracovní prostor pěchovací lis LU 400

9.1.3.3 Kovací lis LVH 2500

Stejný případ jako u pēchovacího lisu platí u kovacího lisu.



Obr. 52 Pracovní prostor kovacího lisu LVH 2500

9.1.4 Shrnutí

Pro souhrn byla vytvořena tabulka shrnující informace o hodnotách:

- Průměru, hmotnosti a teplotě vstupního polotovaru,
- Maximální nosnosti robotu,
- Pracovním prostorem obou lisů.

Tab. 8 Souhrn vstupních informací [23]

Mezní hodnoty pro konstrukční řešení chapadla na LVH2500			
Induktor	Robot	LU400	LVH2500
$\varnothing = 60 \text{ mm} - 120 \text{ mm}$ max. teplota: 1250°C zdvih vyhazovače: 10 mm	nosnost = 40 kg max L ramene = 2,55 m	šířka = 1000 mm rozevření = 680 mm	šířka = 1100 mm rozevření = 450 mm
Polotovary / pěchy			
Označení výkovku	Průměr polotovaru [mm]	Průměr pěchy [mm]	Hmotnost [kg]
KAT I-01	110	214	20,3
KAT I-02	100	210	17,3
KAT I-03	90	195	13,3
KAT II - 01	90	179	10,8
KAT II - 02	90	188	12,1
KAT II - 03	90	183	11,5
KAT III - 01	90	189	12,3
KAT III - 02	80	180	11,5
KAT III - 03	80	178	11,1
KAT III - 04	75	172	10,2
KAT III - 05	60	165	9,7
KAT III - 06	60	161	9,1

V požadavkovém listu byl uveden rozsah, který musí chapadlo pokrýt. V tabulce jsou rozeřené jednotlivé kovací práce včetně těch mezních. Minimální rozsah při sevření musí být menší, z důvodu bezpečného uchopení, než 60 mm. Maximální rozměr je 214 mm, ale rozsah musí být značně vyšší za předpokladu bezpečného uchopení a splnění tak podmínky vůle mezi čelistmi a pěchem. Tato vůle, pro bezpečné najetí chapadla k pěchu, byla stanovena 10 mm.

Posouzení ekonomického vlivu bylo zpracováno do následujících tabulek. Konstrukce čelistí na starší chapadlo je složitější z důvodu nízkého zdvihu pneumatického válce a malého rozevření čelistí. Předpokladem je čelist obsahující více tvarů zvláště pro polotovary a pěchy. Pohyb není lineární, ale rotační, takže konstrukce je obtížnější a časově náročnější. Z toho vycházeli i následující časové odhady v kalkulaci. Hodnoty jsou orientační.

Tab. 9 Náklady na nové čelisti [23]

Nové čelisti - staré chapadlo		
	Čas [h]	Náklady [Kč]
CAD	16	11 312
CAM	8	5 656
Výroba + materiál	16	3 587
Výměna čelistí	2	707
Výměna chapadla	1	353
Celkem	43	21 615

Tab. 10 Náklady na nové chapadlo [23]

Nové chapadlo		
	Čas [h]	Náklady [Kč]
CAD	40	28 280
CAM	0	0
Výroba + materiál (odhad)	0	40 000
Výměna čelistí	0	0
Výměna chapadla	1	353
Celkem	41	68 633

Přestože výroba nových čelistí má nižší náklady, je nutné zvážit, s kolika kovacími pozicemi je možné manipulovat. Po podrobnější analýze bylo zjištěno, že pro pokrytí rotorů kategorie II je nutné vyrobit tři sady čelistí.

Tab. 11 Celkové náklady včetně úspory [23]

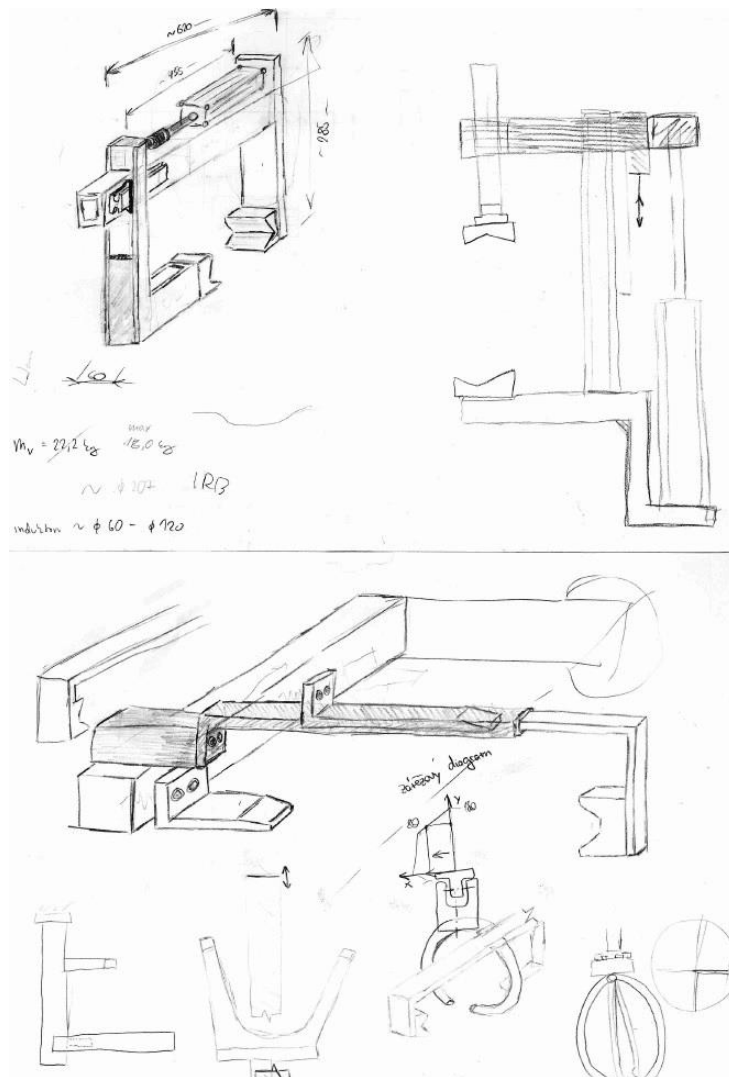
Celkové náklady			úspora při výměně [Kč]	Celkem [Kč]
	Počet	Náklady [Kč]		
Nové čelisti	3	64 845	0	64 845
Nové chapadlo	1	68 633	4 242	64 391

Orientační náklady na nové chapadlo jsou 68 633,- Kč, což je vyšší, než náklady na nové čelisti. Do výpočtu byla poté započítána i úspora, která vznikne při převodu starých prací, u kterých se mění již zaběhlé čelisti, na nové chapadlo, kde by při vhodné konstrukci nebylo nutné nic měnit. Dalším faktorem je kategorie I, kterou by bylo nutné převést na jinou kovací linku s drobnými ztrátami na kovacím taktu. Podmínkou požadavkového listu ale

bylo pokrýt kovací operace kategorie I proto byla tato varianta ihned zavrhnuta. Z jednoduché kalkulace vyplývá, že konstrukce nového chapadla je výhodná.

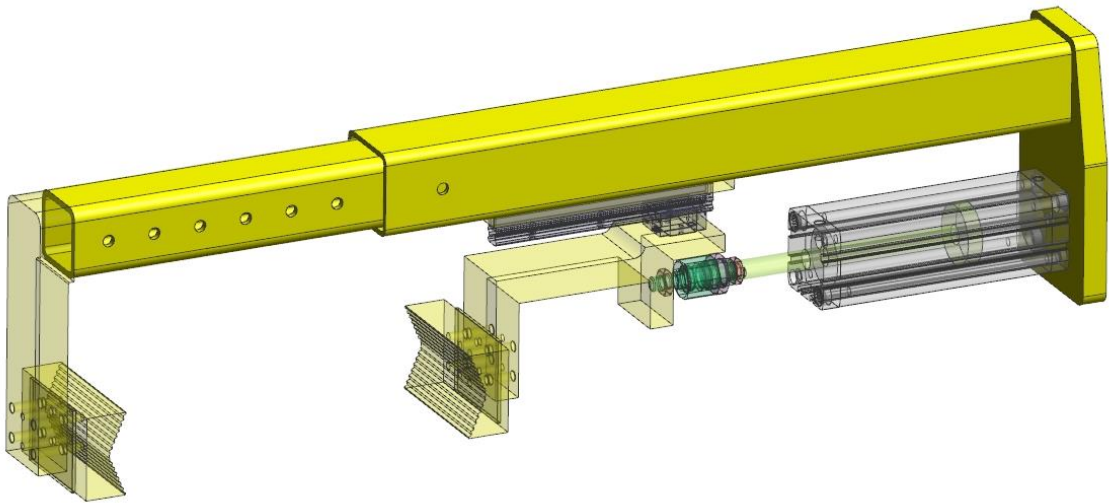
9.2 Koncept řešení

Proces konstrukčního řešení zahrnoval vytvoření skic budoucího chapadla. Náčrty byly pouze orientační a sloužily k vytvoření představy o konstrukci. V mnohých případech byly iniciátorem nových nápadů a řešení. Skici pomohli pochopit problematiku těžiště.



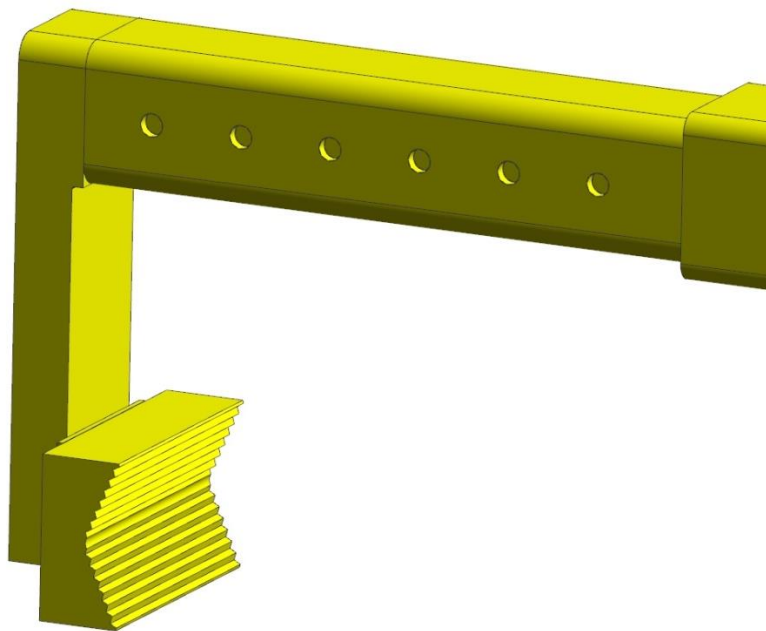
Obr. 53 Skicování nápadů

Dle požadavkového listu byl v programu Siemens NX 9.0 vytvořen první model schéma řešení chapadla s označením S1. Základem chapadla jsou dva dlouhé uzavřené ocelové profily, jeden menší, zasunutý uvnitř většího. Pro aretaci polohy byly navrženy díry po bocích profilů.



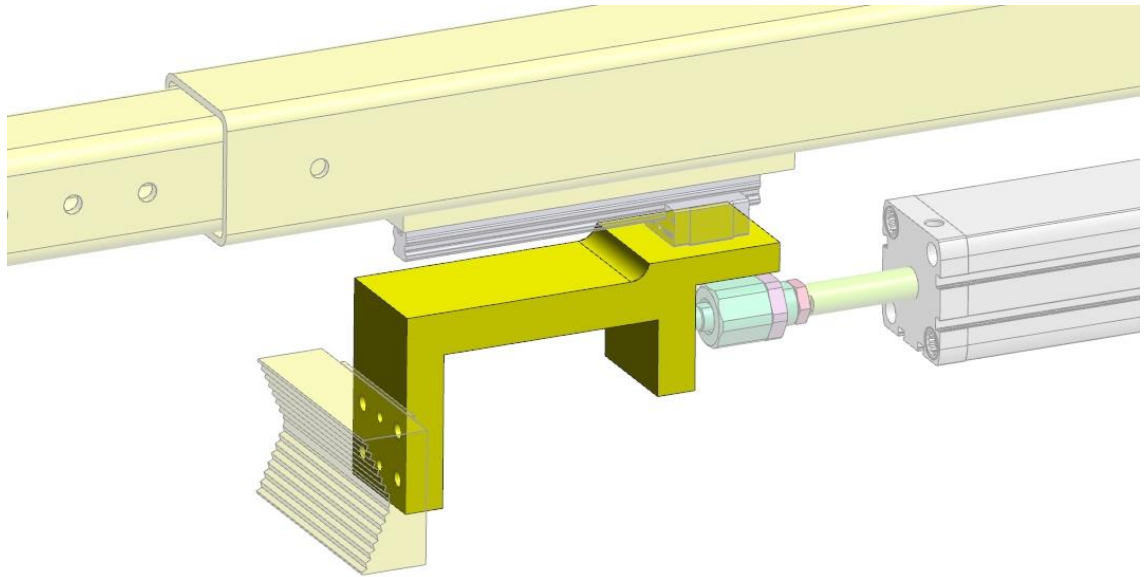
Obr. 54 Zobrazení dvou v sobě vsazených ocelových profilů

Na konci výsuvného profilu byla navržena upínací deska a k ní montovaná prizmatická čelist – pevná. Název pevná plyne z absence lineárního pohonu, tudíž se nejedná o pohyblivou komponentu. Prizmatická čelist byla navržena s ohledem na splnění podmínky nelepivosti polotovaru. Po zhlédnutí různých obrázků chapadel a čelistí z internetu bylo navrženo drážkování po celé ploše prizmatu.



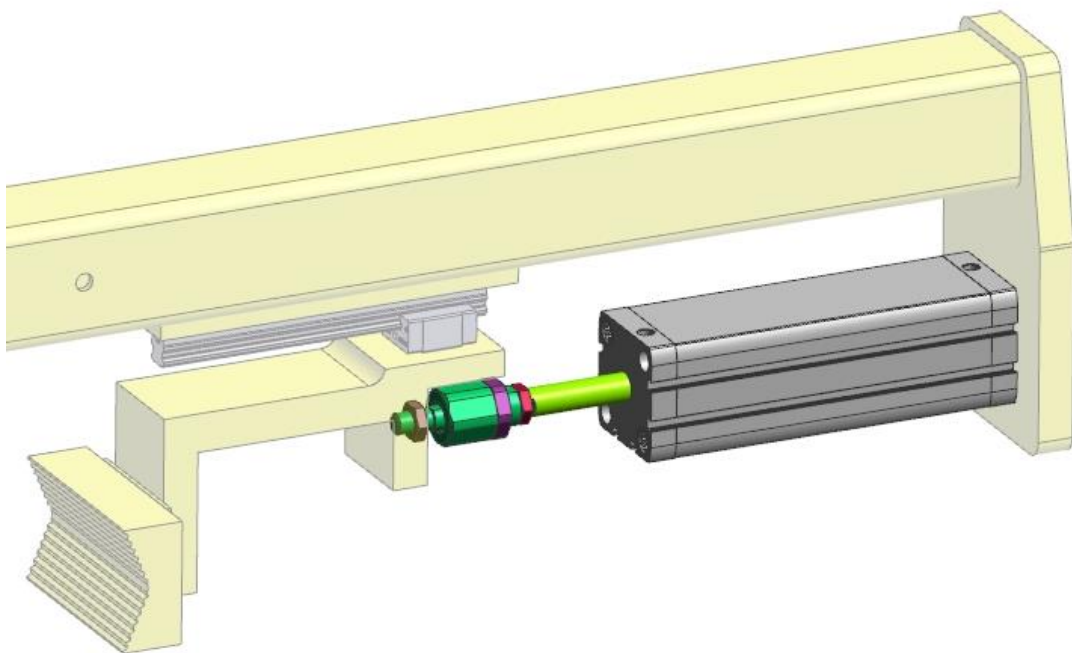
Obr. 55 Upínací deska s prizmatickou drážkovanou čelistí

Pohyblivou část chapadla tvořila druhá čelist upnutá na profilu tvaru L.

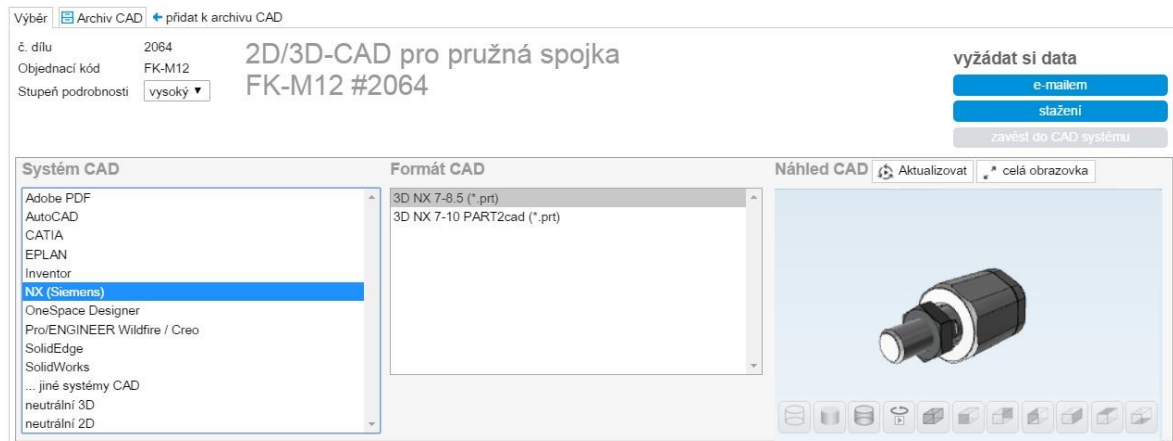


Obr. 56 Profil L pro přenos pohybu pneumatického válce na čelist

Jeho pohyb je zajištěn pomocí pneumatického válce a lineárního vedení. Pneumatický válec byl zvolen orientačně a precizace měla proběhnout při vytváření přesného modelu. Při navrhování konceptu se přišlo na možný problém s vyhnutím pístnice. Na stránkách výrobce Festo, v kategorii příslušenství k pneumatickým válcům, byla nalezena pružná spojka, která redukuje ohyb pístnice.

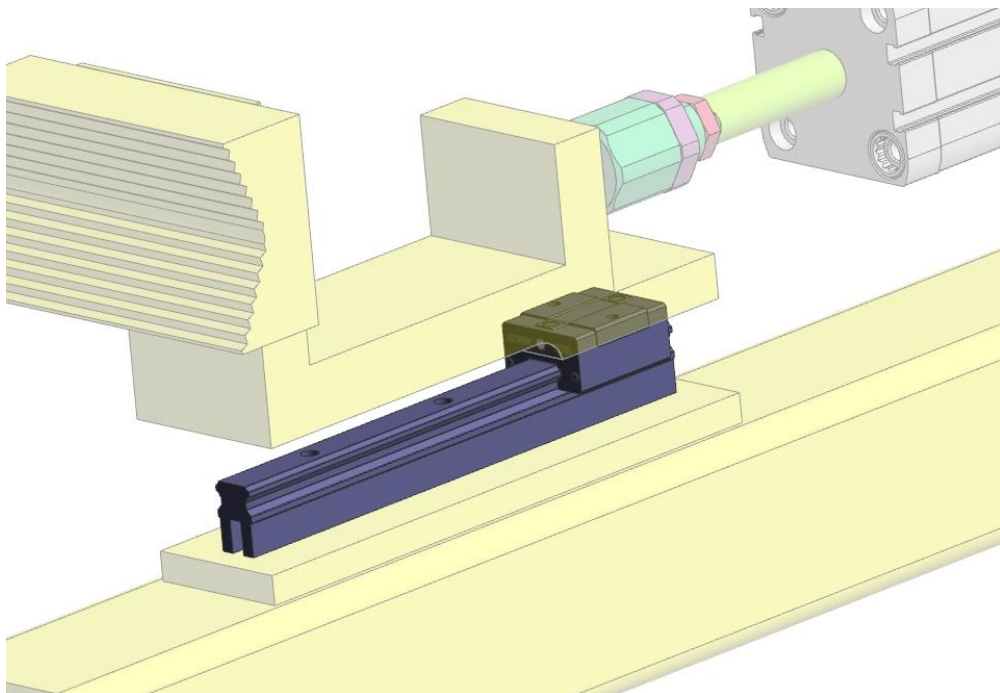


Obr. 57 Pneumatický válec včetně pružné spojky



Obr. 58 Příklad stažení CAD modelu pružné spojky z katalogu Festo

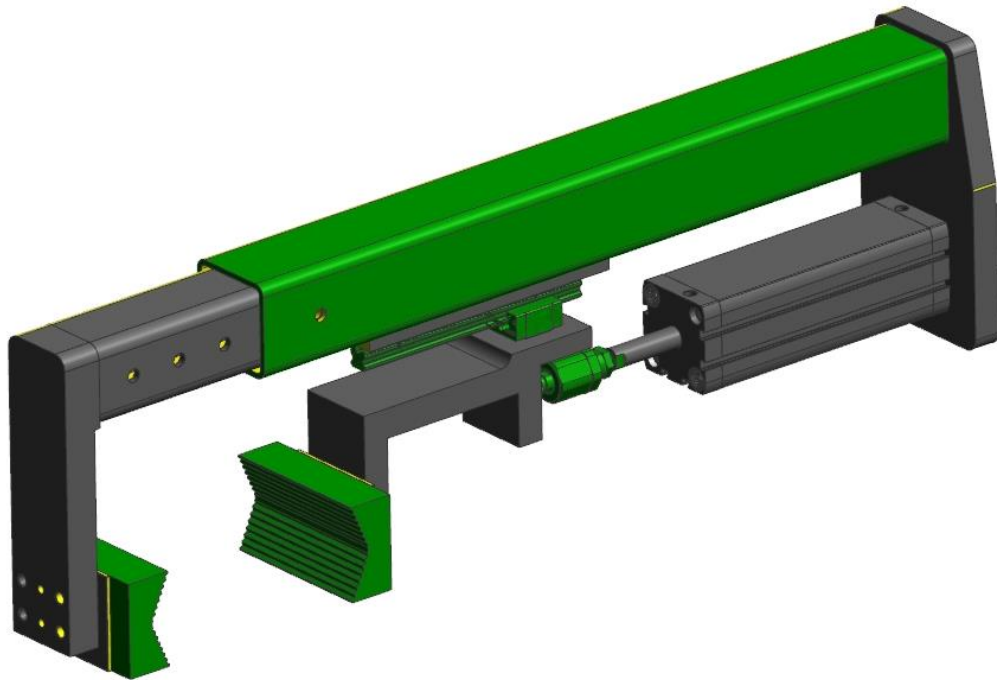
Lineární vedení se skládalo s kolejkou a vozíku značky HIWIN. Z internetových stránek byly staženy CAD modely a zakomponovány do sestavy. Předpoklad montáže kolejkou byl shora. Katalog uvádí i možnost montáže zespod. Vozík je sice dostupný ve více provedeních, ale pro návrh konceptu posloužil základní úzký vozík.



Obr. 59 Lineární vedení značky HIWIN

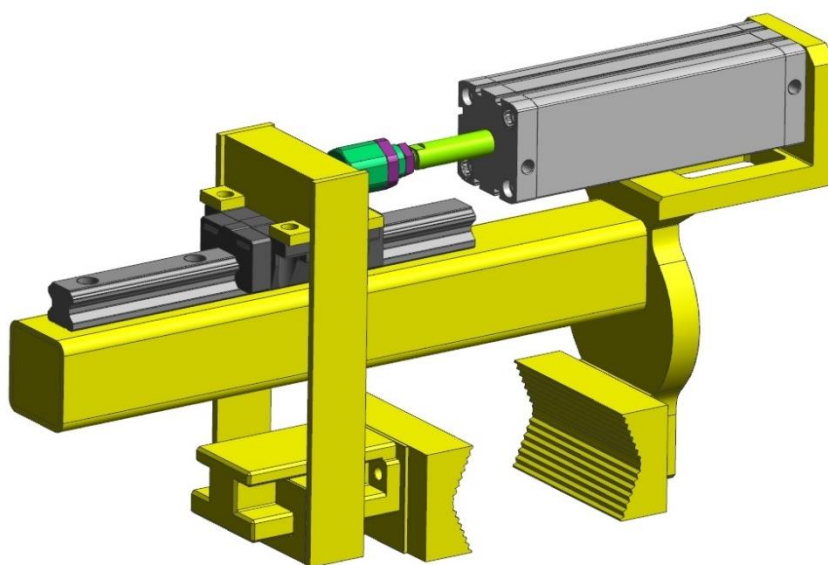
Díky výsuvnému profilu, na kterém je upevněna pevná čelist, je zajištěno nastavení rozsahu pro velké rozměry odebíraného objektu. Po změření hmotnosti a určení těžiště chapadla bylo nutné návrh upravit. Hmotnost chapadla byla přijatelná, avšak umístění těžiště značně omezovalo nosnou hmotnost objektu. Dle zátěžového diagramu byla ověřena maximální nosnost vztažená k těžišti. Souřadnice těžiště byly vyneseny do grafu a výsledná únosnost

nepřesahovala 12 kg. Chapadlo mělo dobrou myšlenku, ale bylo nutné upravit konstrukci a dbát na posunutí těžiště více k přírubě robotu. Komponenty, které vyhovovaly požadavkům, a obsahovaly dobrou myšlenku, byly označeny zelenou barvou a použity v následujícím konceptu. Předpokládala se jejich úprava.



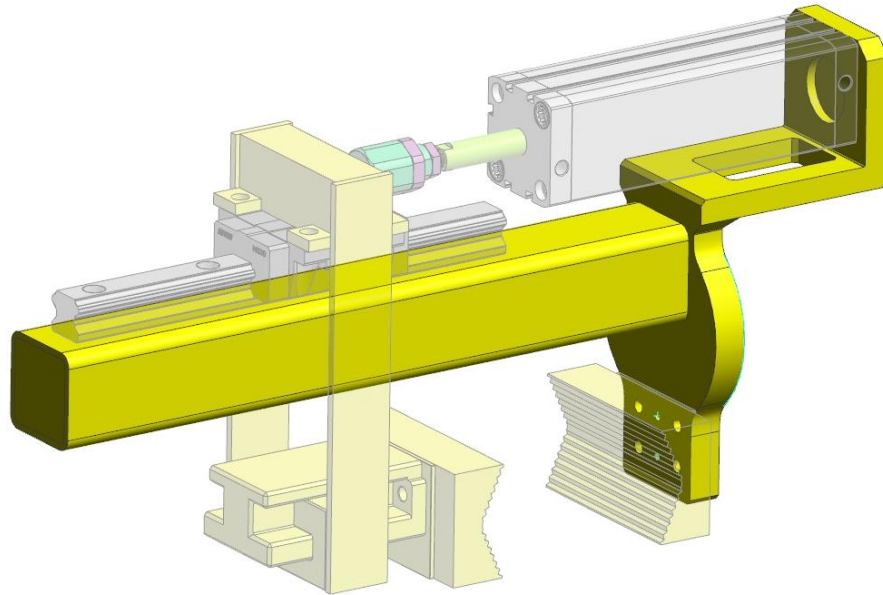
Obr. 60 Vyznačení vhodných komponent použitých pro další vývoj

Na konceptu S1 bylo především špatné celkové rozložení. Proto byl vytvořen koncept S2A, který měl kratší rameno těžiště, ale zachoval podobný rozsah.



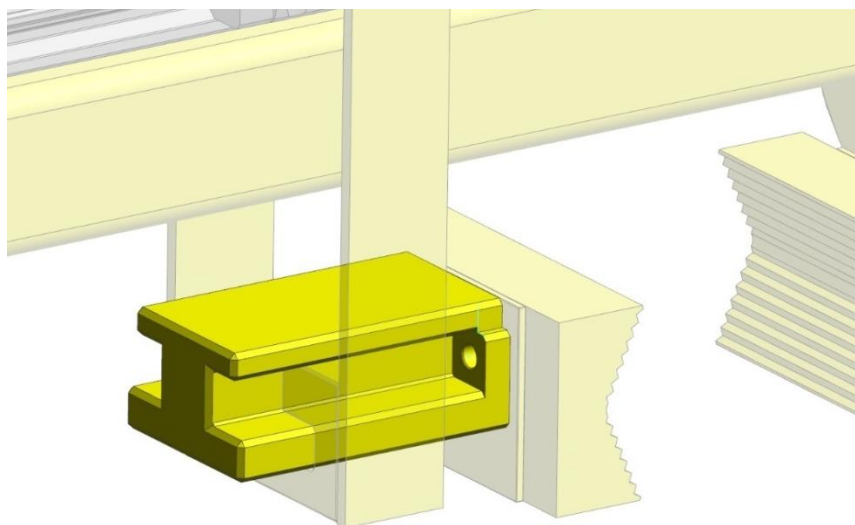
Obr. 61 Koncept S2A

Těžiště se posunulo více k přírubě, protože samotná přírubová deska byla opatřena platformou, na kterou se upnul pneumatický válec. Hybné komponenty se umístili nad ocelový profil a tím bylo možné začít hýbat s těžištěm. Tato myšlenka byla ve výsledku asi nejpřínosnější a podpořila další vývoj konceptů chapadel.



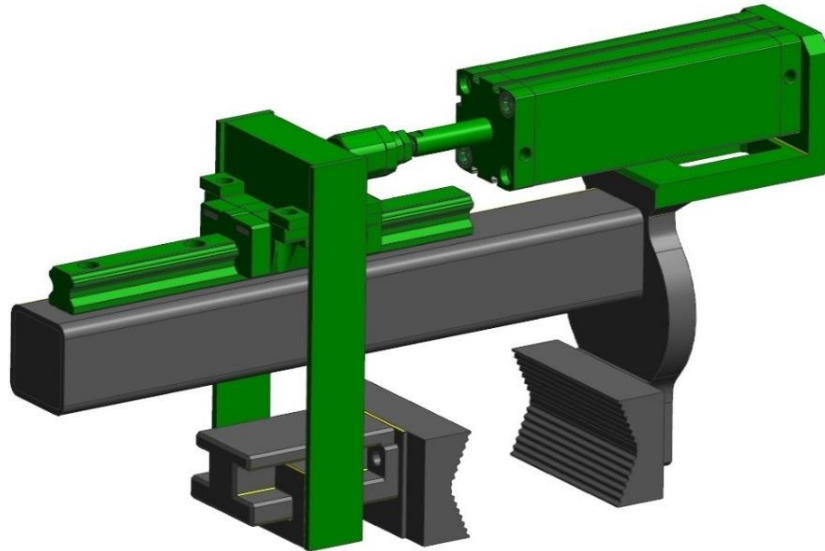
*Obr. 62 Hlavní myšlenka přesunu těžiště směrem k přírubě –
nástavba pro montáž pneumatického válce*

Pevná čelist se umístila k přírubě a pohyblivá byla dále stavitelná ocelovým profilem tvaru I s horní aretací polohy.



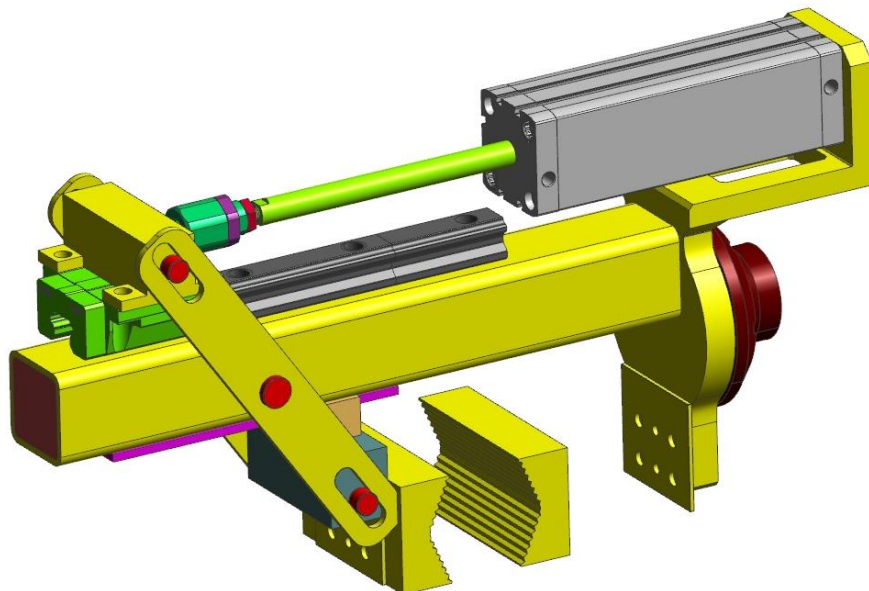
Obr. 63 I profil pro posun čelisti

Z konceptu S2A se použil nápad s pohonem montovaným shora, jehož vhodné umístění zvýší životnost, a rameno.



Obr. 64 Vyznačení vhodných komponent použitých pro další vývoj

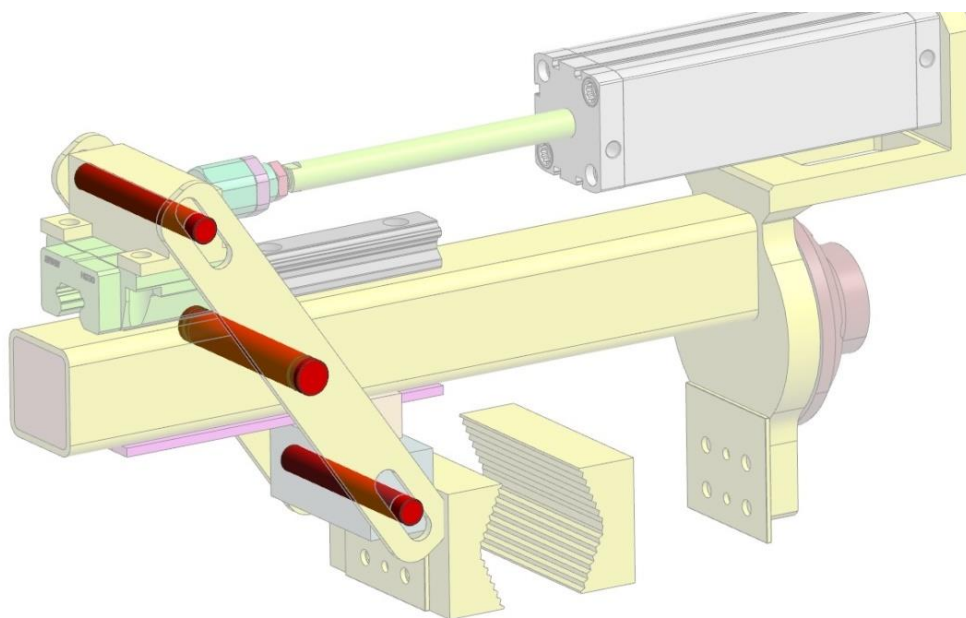
Následnou inspiraci vzniku konceptu S2B poskytly časopisy a články s obrázky z internetu. Nápadem bylo použít kloubový mechanismu o dlouhých ramenech, který zajistí dostatečně velké rozevření.



Obr. 65 Koncept S2B

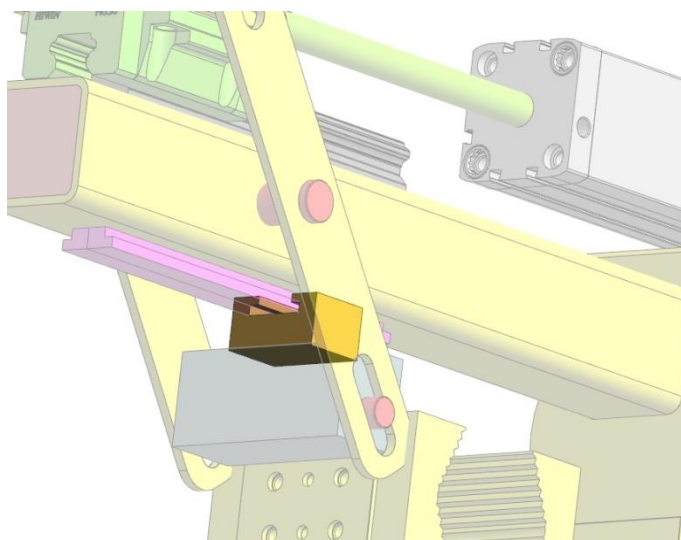
Tento systém se aplikoval na stávající koncept S2A a šlo o návrh „pokus omyl“, proto se nedbalo na vypracování detailů. Přesun těžiště splnilo již vhodné umístění pneumatického

válce z konceptu S2A. Toto umístění je také vhodné pro montáž budoucího krytování proti tepelnému sálání a nečistotám. Spojení konce pístnice a ramen kloubového mechanismu bylo zajištěno opět lineárním vedením. V sestavě se nacházely tři čepy, které zajišťovali přenos sil a vytvořili tak páku. Inspirací byla obyčejná houpačka.

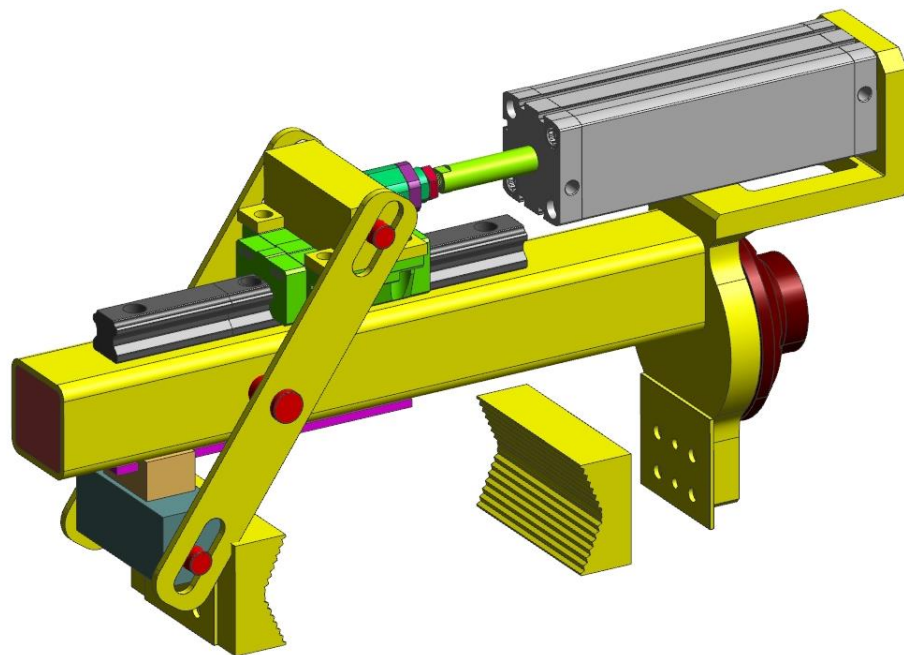


Obr. 66 Čepy. Prostřední vytváří střed rotace ramene. Zbylé dva pohyb v drážce a spojení ramene.

Na obou koncích ramene se vytvořila drážka, ve které se pohybovaly čepy. Pohyblivou čelist bylo nutné zajistit proti natočení. Tuto podmínku splnilo obyčejné lineární vedení. Pevná čelist, visící v prostoru, měla v sestavě vazbu vzdálenosti od přírubové desky. Tato vzdálenost by se v precizaci dokumentace nahradila vhodným distančním prvem.



Obr. 67 Jednoduchý posuvný člen lineárního vedení



Obr. 68 Zpětný chod válce a funkce otočného ramene

Koncepty S2A a S2B se jeví jako realizovatelné, ale při hlubším zkoumání byly zavrhnuty. Největší chyba u konceptu S2A se projevila i v konceptu S2B a to nevhodné umístění nástavby pro pneumatický válec. Při určitém natočení ramene robotu by došlo ke kolizi s nástavbou. Tuto informaci ověřil konzultant diplomové práce v programu Robot-Studio. S2B měl dobrou myšlenku, která byla zachována po jiné zařízení, ale obsahoval vysoký počet třecích prvků. Horní lineární vedení bylo opatřeno maznicí s přímým dávkováním třecích ploch a při pravidelné údržbě by nevznikl problém. Naopak obavy vznikly u spodního lineárního vedení a u ramen s drážkami pro kolíky. Chapadlo pracuje ve znečištěném provozu. Spolu s vysokou teplotou vysálanou výkovkem hrozí poškození třecích ploch dolních, nechráněných, komponent.

Tab. 12 Souhrn doplňujících úkolů a poznámek

Použit	Doplnit
Pneumatický pohon umístěný shora	Vhodné krytování, výpočet úchopové síly
Vyřešit L konstrukci pro posun těžiště	Umístit jinam než nad přírubu robotu
Použít rameno, na něj upnout čelist	Ověřit simulací ohyb ramene
Lineární vedení	Přesné rozměry dle katalogu
Pružná spojka	
Čelist s drážkováním	Pro aretaci použít kolíky

Po sumarizaci chyb předešlých návrhů byl vytvořen koncept S3, který řešil výše uvedené problémy. Použil se ocelový profil jako základna a k němu kolmo napojená přírubová deska. Umístění pneumatického válce nepřesahovalo za přírubovou desku a posunutí těžiště bylo vyřešeno kyvnou vidlicí přišroubovanou na pístnici a spojenou s ramenem tvaru L. Čelisti byly použity dle předchozích návrhů. Koncept S3 byl výsledkem postupného navrhování a doplňování informací. Hmotnost a poloha těžiště odpovídala představě funkčního chapadla a mohlo se tedy přestoupit k dalším krokům. Pro konstrukční řešení bylo nutné pokračovat výpočty úchopových sil. Podle výsledků byl navržen optimální pneumatický pohon a byly zpracovány podrobné 3D modely pro jednotlivé součásti. Výstupem byla sestava včetně vazeb mezi jednotlivými komponenty určující výsledný počet stupňů volnosti s možností pohybu pístnice v pneumatickém válci.

9.3 Výpočty

Pro správnou volbu pneumatického válce bylo nutné vypočítat úchopovou sílu. Poté bylo možné vybrat dle katalogu FESTO pneumatický válec přesných rozměrů a použít ho pro tvorbu 3D modelu sestavy.

Tab. 13 Hodnoty pro výpočty

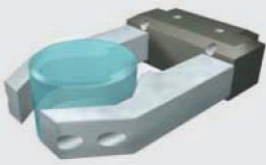



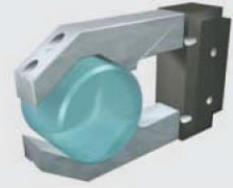







Symbol	Název	Hodnota
f	Součinitel smykového tření ocel – ocel	0,13
k	Koeficient bezpečnosti	1,3
m	Nejvyšší hmotnost objektu	20,3 kg
a	Zrychlení robotu	$15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

Hmotnost je různá a liší se podle kovací práce a proto byla použita nejvyšší předpokládaná hmotnost. Součinitel smykového tření pro ocel – ocel je 0,1. Hodnota je tabulková pro použití v dynamické zátěži. Předpoklad je vyšší vzhledem měkkému materiálu vlivem teploty. Tvrzení bylo odzkoušeno v praxi. Na robotu byl odebrán studený polotovár a došlo k vyklouznutí. V případě žhavého polotovarů nedošlo, ani při zrychlení $7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ k vyklouznutí. Pro výpočet byl tedy použit koeficient 0,13. Zrychlení $7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ je bráno jako nejvyšší zrychlení robotu v provozních podmínkách kovárny VIVA a.s.

Koeficient bezpečnosti byl zvolen 1,3. Běžně se používají koeficienty 2-8. Tato hodnota je závislá na tom, v jakém zařízení bude použita. Menší hodnoty se používají, kde není

potřeba zaručit vysokou bezpečnost a naopak vyšší se využívají v letectví nebo výtahové technice.

Po zvednutí předmětu dochází ke kombinaci pohybů horizontálního, vertikálního a rotačního. Následující rovnice popisují úchopovou sílu při lineárních pohybech se zrychlením robotu.

Uchopení	Směr	Potřebná úchopová síla na jednu čelist
		$F_G = m(a_z + g) \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{2\mu} S$
		$F_{G,z} = mg \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{2\mu} S \quad F_{G,x} = m a_x \frac{\tan \frac{\alpha}{2}}{2\mu} S$
		$F_{G,z} = mg \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{2\mu} S \quad F_{G,y} = m a_y S$
		$F_G = m(a_z + g) \frac{\tan \frac{\alpha}{2}}{2} S$
		$F_G = m \left(a_x + g \frac{\tan \frac{\alpha}{2}}{2} \right) S$
		$F_{G,z} = mg \frac{\tan \frac{\alpha}{2}}{2} S \quad F_{G,y} = m a_y \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{2\mu} S$
		$F_G = m(a_z + g) S$
		$F_G = m \left(g + a_x \frac{\tan \frac{\alpha}{2}}{2} \right) S$
		$F_{G,z} = mg S \quad F_{G,y} = m a \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{2\mu} S$

Obr. 69 Vyznačení uchopení, směru pohybu a vzorce při výpočtu úchopových sil [24]

Případ uvedený jako první obrázek byl v našem řešení kritický. Odebrání polotovaru z induktoru charakterizuje poslední schéma uchopení. Toto řešení nebylo problematické a vycházelo se z předpokladu, že polotovar zadržuje především prizmatický tvar. Polotovar by musel mít mnohonásobně vyšší hmotnost, aby došlo vlivem gravitačního zrychlení objektu a zrychlení pohybu robotu k pootevření čelistí a následné ztrátě polotovaru. Přesto byl výpočet ověřen a doplněn o další výpočty charakterizující úchopovou sílu potřebnou pro bezpečné odnesení polotovaru v horizontálních osách. Pohyb při odebrání polotovaru

z induktoru je spočítán z posledního případu uvedeného na obr. 69. Úhel α je přibližný úhel prizma.

Vertikální pohyb:

$$F_g = m \times (a_z + g) \times k \quad (6)$$

$$F_g = 20,3 \times (7 + 9,81) \times 1,3$$

$$F_g = 443 \text{ N}$$

Pro pohyb v ose X:

$$F_g = m \times \left(g + a_x \frac{\tan \frac{\alpha}{2}}{2} \right) \times k \quad (7)$$

$$F_g = 20,3 \times \left(9,81 + 7 \frac{\tan \frac{110}{2}}{2} \right) \times 1,3$$

$$F_g = 367 \text{ N}$$

Pro pohyb v ose Y:

$$F_g = m \times a_y \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{2f} \times k \quad (8)$$

$$F_g = 20,3 \times 7 \frac{\sin \frac{110}{2}}{2 \times 0,13} \times 1,3$$

$$F_g = 540 \text{ N}$$

Při najetí robotu před pěchovací lis nastává první případ uchopení. Tento se jevil jako kritický, protože polotovar je držen v čelistech pouze tlačnou silou pneumatického válce. Zrychlení robotu je na této části dráhy poníženo na $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. Tento případ byl ověřen výpočtem charakterizujícím první případ na obr. 69.

Vertikální pohyb:

$$F_g = m(a_z + g) \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{2f} \times k \quad (9)$$

$$F_g = 20,3 \times (5 + 9,81) \frac{\sin \frac{110}{2}}{2 \times 0,13} \times 1,3$$

$$F_g = 1143 \text{ N}$$

Pro pohyb v ose X a Y:

$$F_g = m \times g \frac{\tan \frac{\alpha}{2}}{2f} \times k \quad (10)$$

$$F_g = 20,3 \times 9,81 \frac{\tan \frac{110}{2}}{2 \times 0,13} \times 1,3$$

$$F_g = 1165 \text{ N}$$

Chapadlo bylo navrženo z nejvyšší vypočítané úchopové hodnoty 1165 N.

9.4 Nakupované komponenty

Před vytvořením modelů a sestavy bylo vhodné si určit, jaké nakupované komponenty budou zvoleny. Jejich rozměry se v průběhu modelování mohli odlišit od konceptu v závislosti na vhodnosti konstrukce.

9.4.1 Pneumatický válec FESTO

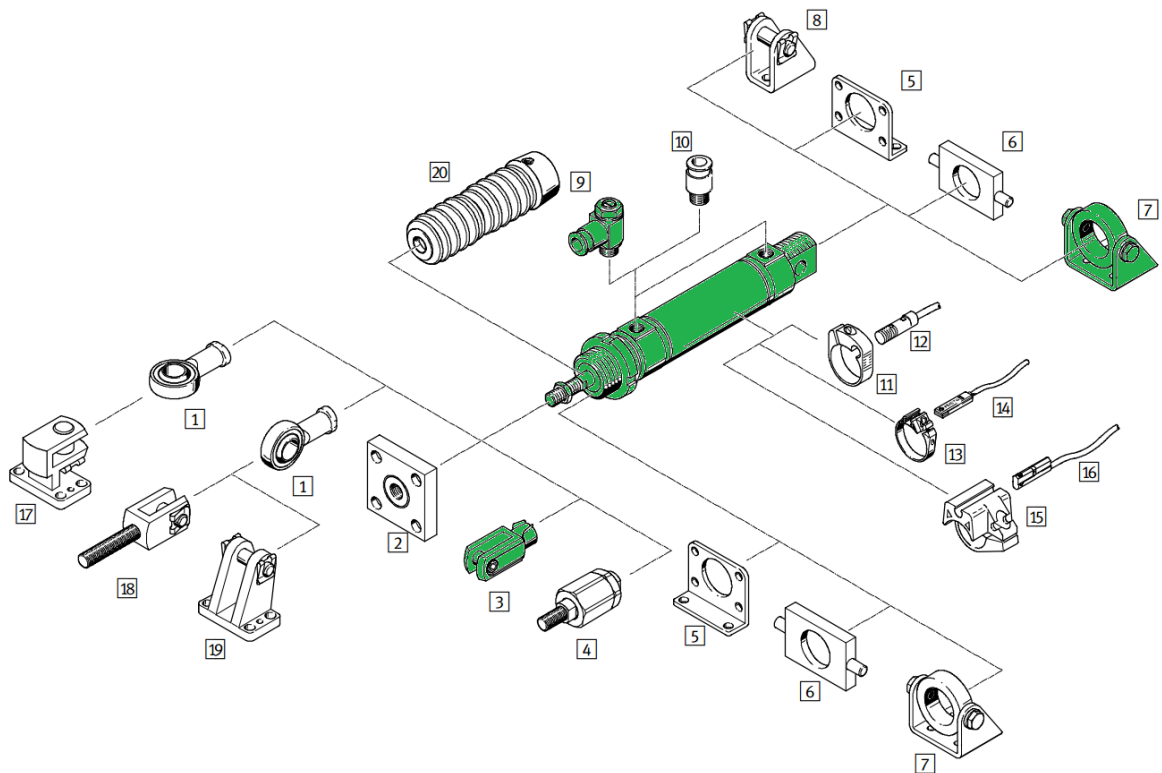
Po stanovení potřebné úchopové síly bylo možné najít vhodný typ pneumatického válce. Na doporučení konzultanta diplomové práce byla zvolena firma FESTO. Z katalogového listu pneumatických pohonů byly vyčteny maximální úchopové síly pro daný průměr pístnice. Dle našeho výpočtu a doporučené rezervy byl zvolen kruhový pneumatický válec s označením DSNU-50-160-PPS. Označení nese následující informace:

- 50 mm průměr pístu,
- 160 mm zdvih,
- 1178 N síla při 6 barech
- Teplotní rozsah 0°C – 120°C
- PPS - pneumatické tlumení, samočinně nastavitelné.



Obr. 70 Pneumatický válec DSNU-50-160-PPS [31]

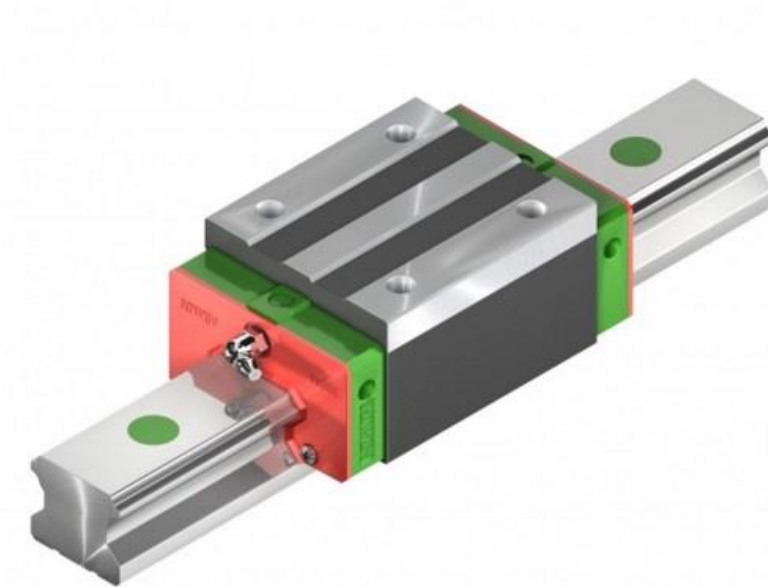
Příslušenství k pneumatickému válci bylo zvoleno pomocí interaktivního přehledného schématu. Vychází se z typu válce a průměru pístu. Dle uvažovaného upnutí a fungování válce bylo zvoleno kyvné uložení SBN-50/63, vidlicová koncovka pístnice se šestihrannou pojistnou matkou SG-M16X1,5 a dva jednosměrné škrťací ventily včetně plastových hadic.



Obr. 71 Schéma příslušenství k pneumatickému válci – zelené je vybrané [31]

9.4.2 Lineární vedení

Pro přenos pohybu pístnice na čelisti byly navržnuty ramena montované na upínací člen. Jeho pohyb zajišťuje vozík posouvající se po kolejnici. Na doporučení konzultanta diplomové práce byla zvolena firma HIWIN. Podle charakteristik byla zvolena řada HG. Jedná se o profilové lineární vedení se čtyřmi oběžnými řadami kuliček pro aplikace vyžadující tuhost a únosnost. Skládá se z úzkého kompaktního vozíku standardního provedení, konkrétně byl vybrán vozík HGH30CA, a kolejnice HG30 s délkou 200 mm a označením R určujícím typ uchycení shora. Jako příslušenství byl objednan mazací tuk HIWIN PLO-05, který zvyšuje odolnost, chrání lineární vedení proti tlakům, rázům, teplotám a korozi.



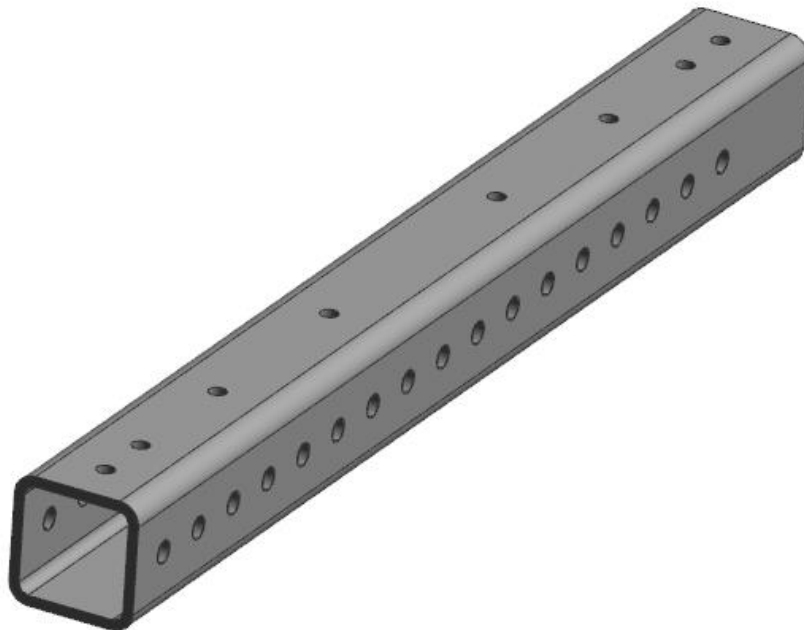
Obr. 72 Lineární vedení HIWIN s vozíkem HGH30CA a kolejnici HG30

[32]

10 VYTVOŘENÍ MODELŮ A SESTAVY CHAPADLA

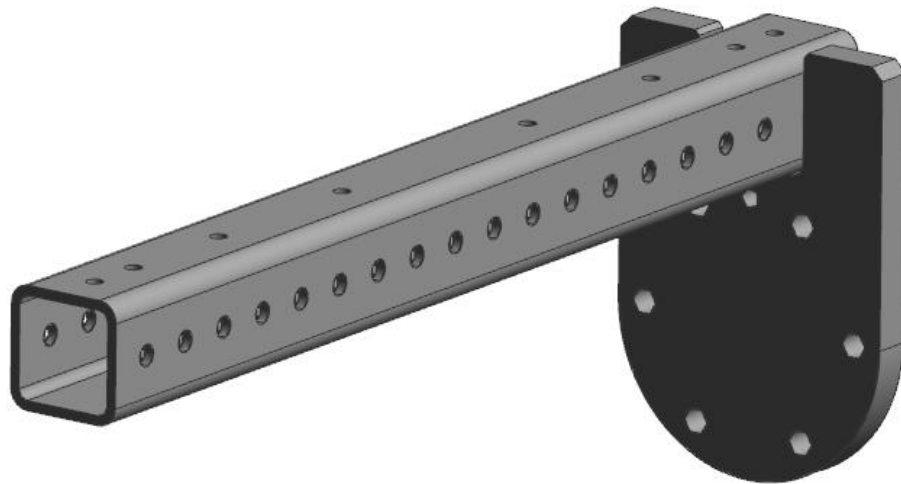
Vytvoření modelů proběhlo v programu Siemens NX 9.0 v prostředí Modeling a sestava byla zpracována v prostředí Assemblies. Dle konceptu S3 byly vytvořeny modely. Veškeré rozměry byly v této fázi konstrukce modelu odhadnuté a jejich konečné rozměry se mohli po ověření, zda je zajištěna bezpečná manipulace v pracovních prostorech lisů, nepatrně lišit. Jakosti byly předepsány běžné konstrukční oceli 1.0577 (S355J2) vyjma čelistí, navržených z nástrojové oceli 1.2343 (X38CrMoV51)

Jako první díl byl vytvořen ocelový profil o rozměrech 50x50x480 mm, R8. Pro montáž držáku pneumatického válce a lineárního vedení byly připraveny díry 8xM8. Další závitové díry M10, pro upnutí platformy pro čelist, byly připraveny na bočnicích profilu.



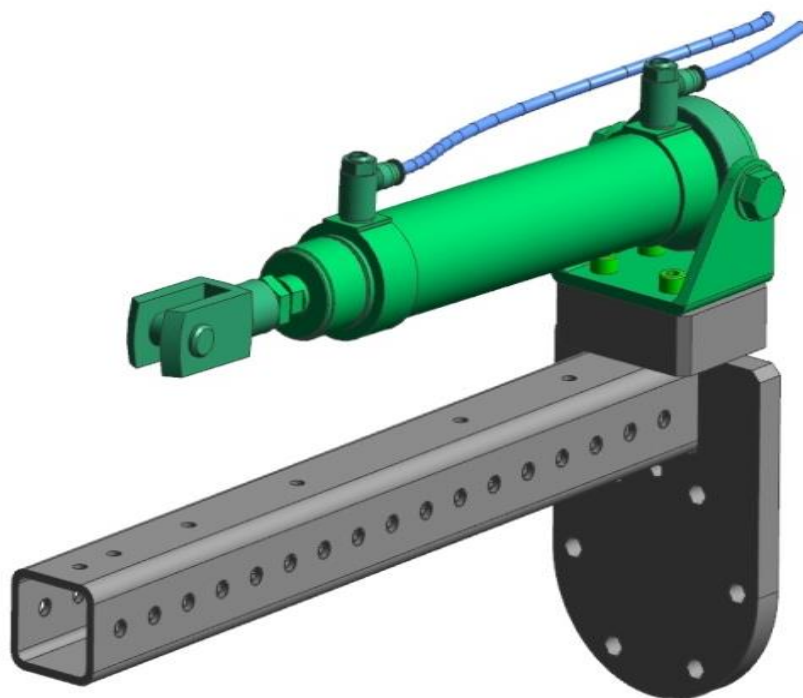
Obr. 73 Základem je nosník – ocelový profil osazený dírami

Profil byl osazen na přírubovou desku, která se montuje na přírubu robota a je osazena šesti průchozími dírami pro šroub M10 a tolerovanou dírou $\varnothing 8H8$ pro středící kolík. Po zvážení bylo zvoleno nerozebíratelné spojení s ocelovým profilem – koutový svar.



Obr. 74 Přírubová deska s nosníkem

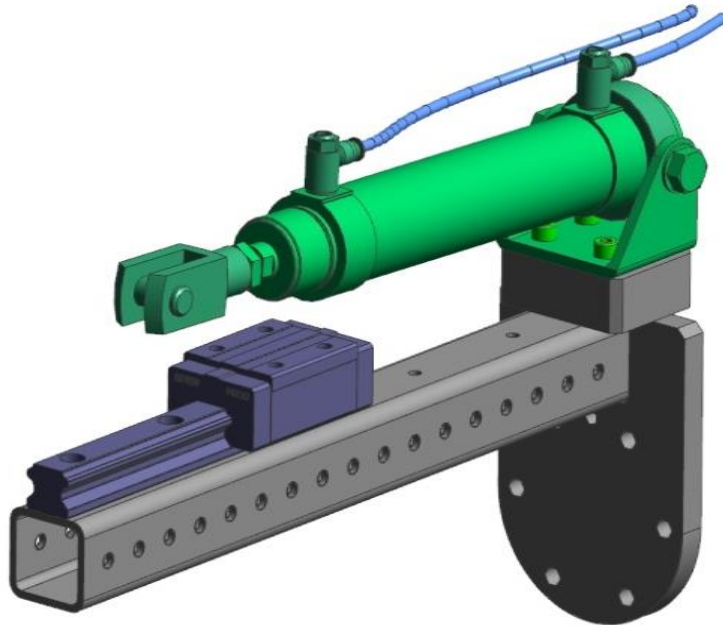
Upnutí pneumatického válce zajišťoval blok s originálním kyvným uložením, a na konci pístnice se závitem, vidlicovou koncovkou osazenou čepem.



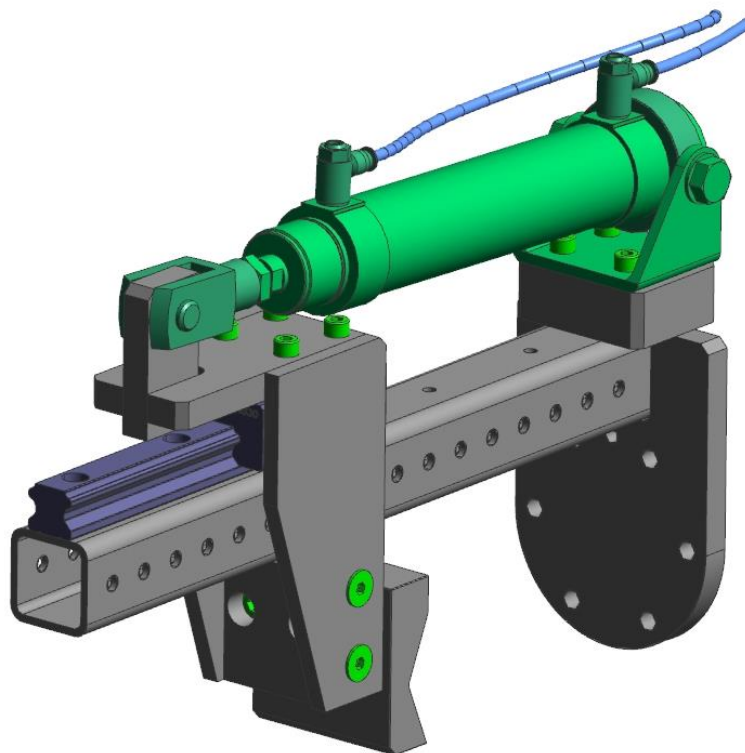
*Obr. 75 Pneumatický válec včetně vidlicové koncovky, kyvného
uložení a škrtec ventilů*

Čep zajistil spojení pístnice s ramenem, na jehož konci se upínala prizmatická čelist. Jako podpora celého ramene sloužilo lineární vedení HIWIN. Kolečka spojovala šrouby M8

shora do ocelového profilu a dále byla osazena vozíkem, na který se montovalo pomocí šroubů M8 rameno. Na konci ramene byla upevněna platforma a prizmatická čelist.

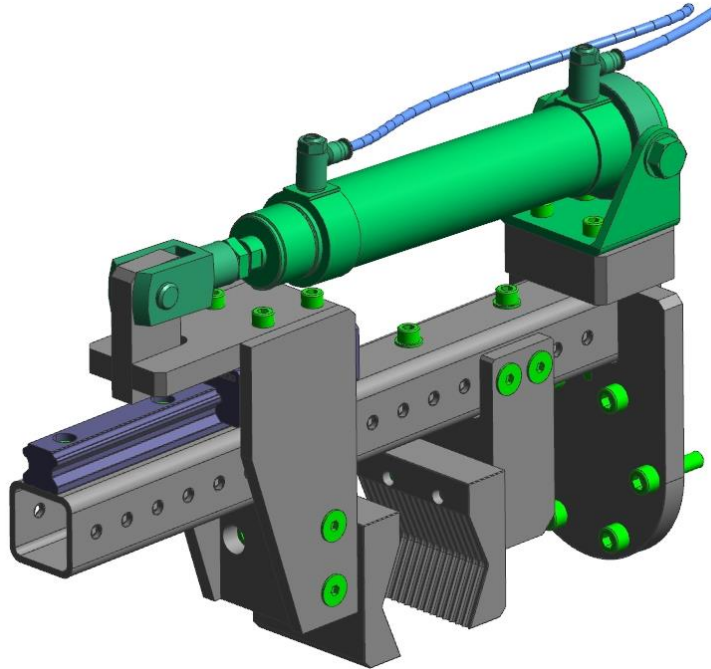


Obr. 76 Nosník osazený lineárním vedením



Obr. 77 Rameno s čelistí spojené s lineárním vedením a koncovkou pístnice

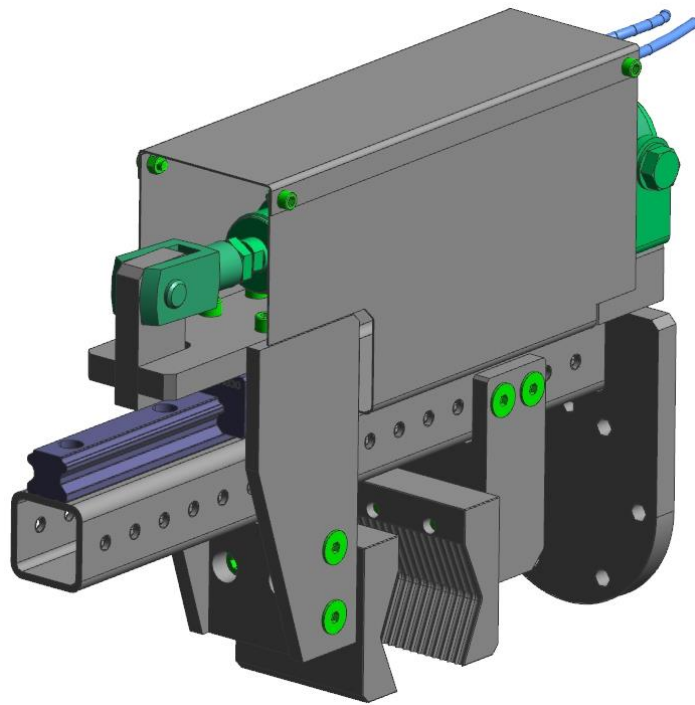
Druhá čelist se montovala také na platformu, která byla stavitelná díky dírám v ocelovém profilu. Předpokladem jsou výměnné čelisti, kdyby došlo k použití chapadla pro složitější tvary pěchu.



Obr. 78 Stavitelný člen „pevné“ čelisti

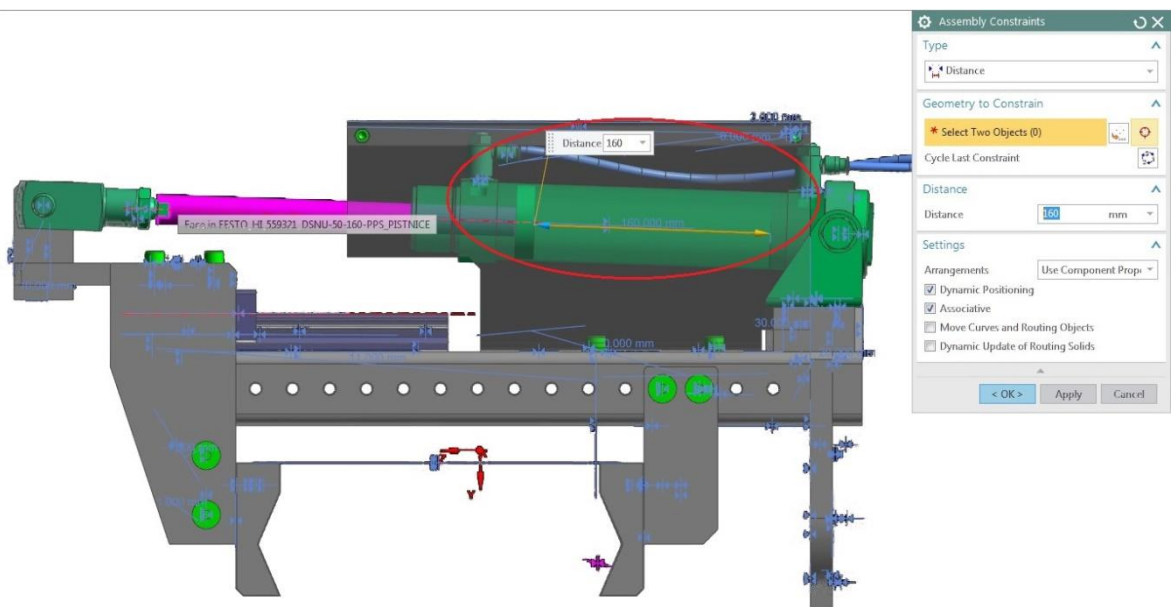
Snaha byla veškeré rozebíratelné spojení sjednotit, aby byla ulehčena práce mechaniků při montáži, proto se v celé sestavě vyskytly šrouby s vnitřním šestihranem M8 a M10.

Sestavu tvořili všechny vyráběné a originální komponenty a během navrhování přesných rozměrů modelů bylo nutné pracovat v prostředí Assemblies, aby se přizpůsobili jednotlivé rozměry protikusům bez pracnějšího odměřování každého modelu zvlášť. Důležitým prvkem bylo vytvoření krytu pro odklonění tepelného sálání z výkovku. Jeho konstrukce proběhla právě v prostředí Assemblies pohodlně a rychle.



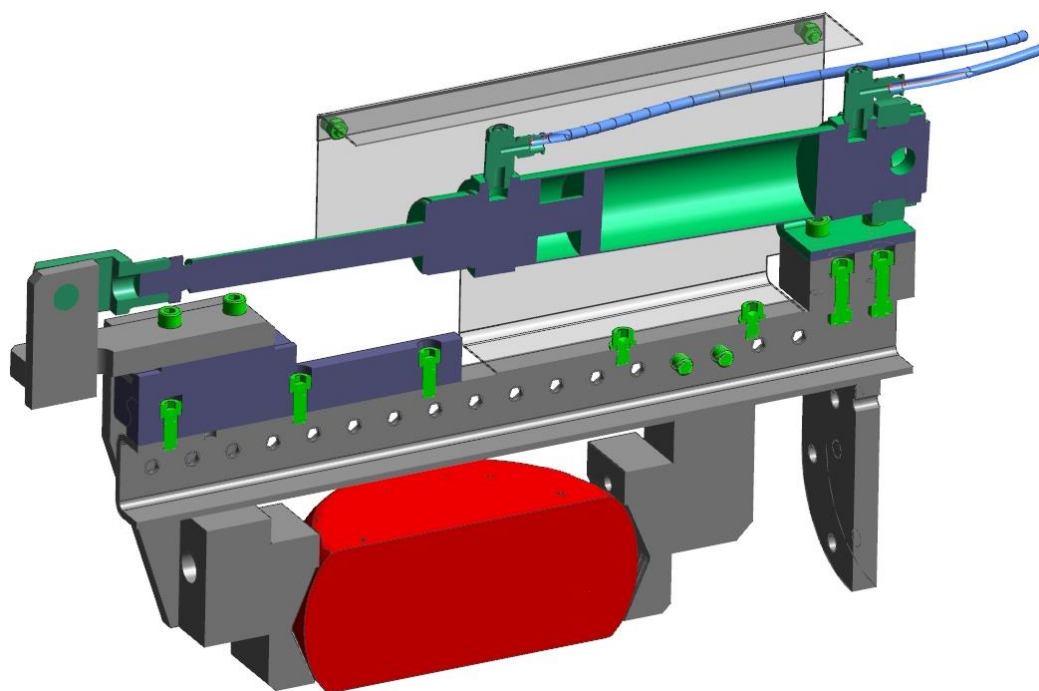
Obr. 79 Důležitý prvek – ochrana citlivých komponent krytováním

Jednotlivé součásti spojovali vazby, které určují počet stupňů volnosti. Pohyb sestavy zajišťovala vazba Distance, která simuluje pracovní zdvih pneumatického válce.

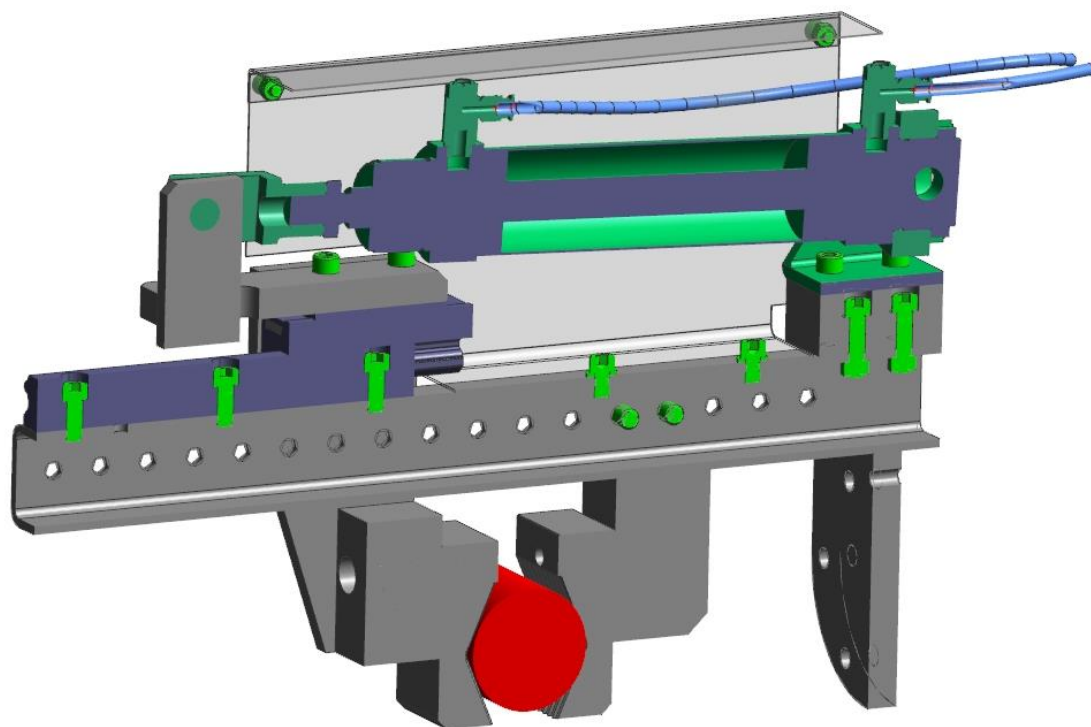


Obr. 80 Vazba distance řídící vzdálenost pístnice od stěny válce

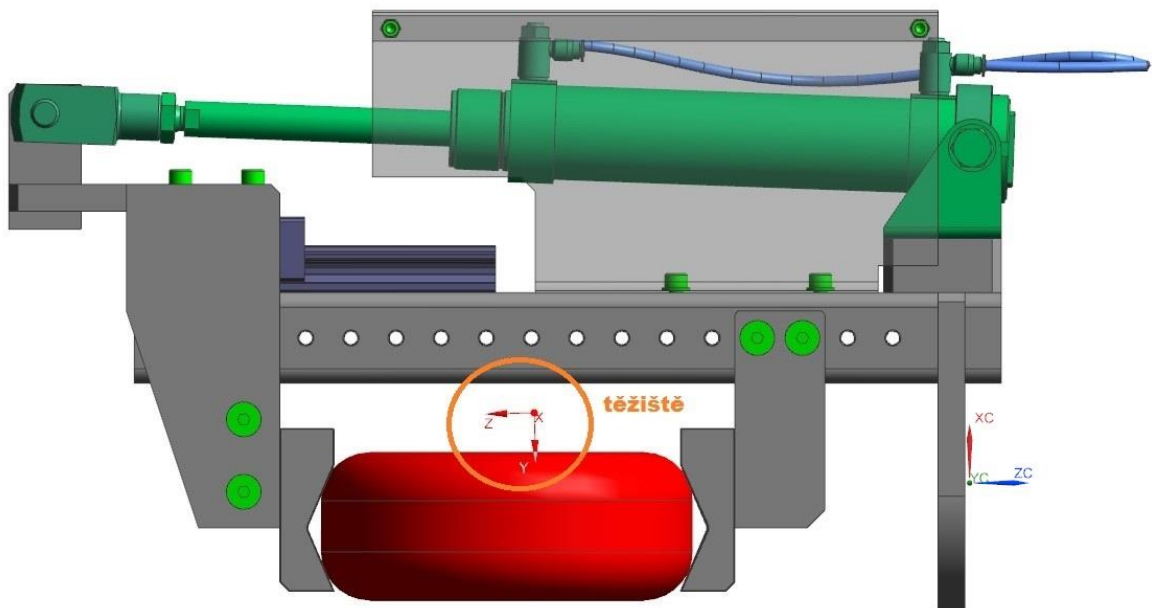
Hotová sestava sloužila k ověření rozměrů a jejich vhodnosti pro manipulaci v pracovních prostorech lisů, dále pak k výpočtu hmotnosti a určení těžiště kvůli ověření maximálního zatížení, a v neposlední řadě pro vytvoření výkresové dokumentace.



Obr. 81 Chapadlo s pēchem vȳkovku KAT I-01



Obr. 82 Chapadlo s polotovarem vȳkovku KAT III – 06



Obr. 83 Zobrazení těžiště v 3D modelu

Funkce Measure Body vygenerovala hodnoty do textového souboru. Ten obsahoval údaj o hmotnosti chapadla s nejtěžším výkovkem, těžiště a další. Důležitými údaji byly hodnoty z řádku Centroid, které charakterizovaly vzdálenost těžiště od počátku souřadného systému. Počátek souřadného systému byl nastaven na přírubovou desku.

```

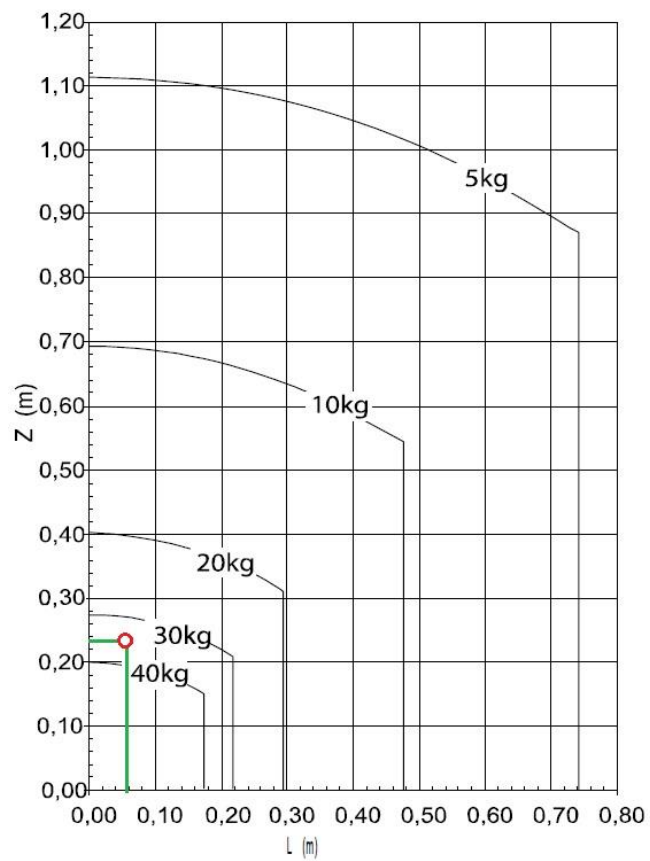
=====
Measurement Mass Properties

Displayed Mass Property Values
Volume                = 4934682.732773479 mm^3
Area                  = 1144739.566016520 mm^2
Mass                  = 35.642144069 kg
Weight                = 349.949982129 N
Radius of Gyration    = 170.901049075 mm
Centroid              = 0.019377820, -58.162584962, 240.315917569 mm
=====

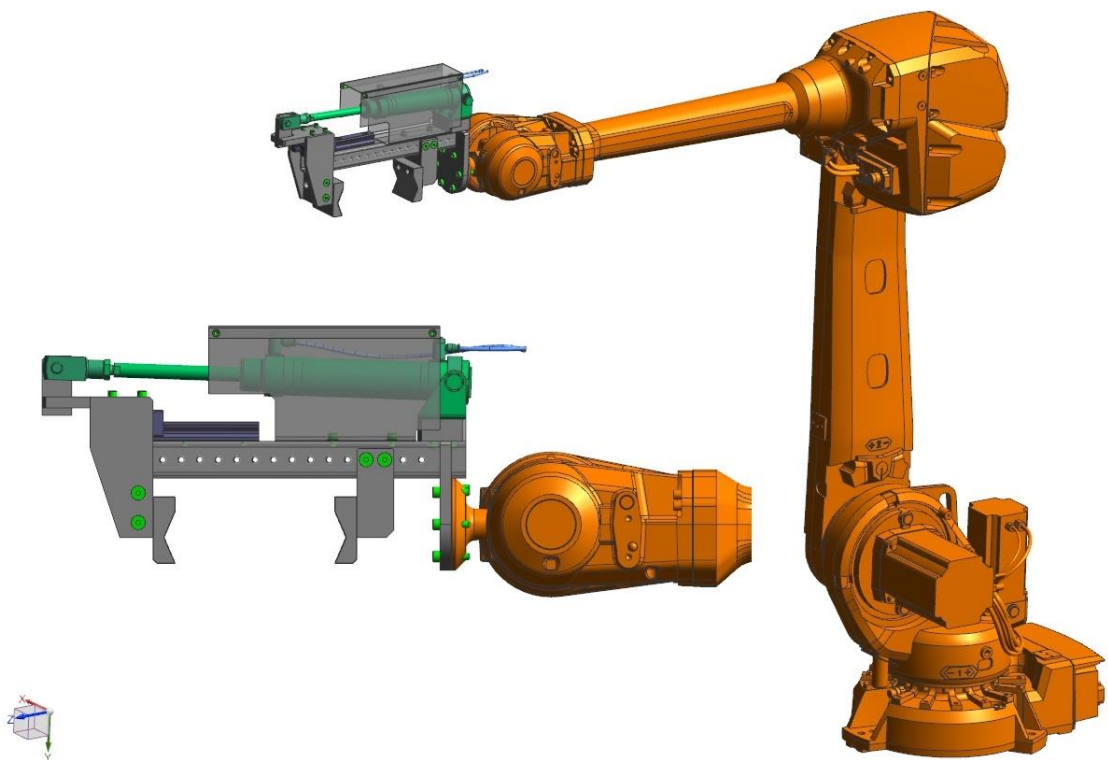
```

Obr. 84 Textový výstup funkce Measure Body

Znalost souřadnic těžiště umožnila odečtení maximální nosnost z grafu. Ta byla odečtena přibližně 36 kg. Navrhnuté chapadlo včetně nejtěžšího výkovku vážilo 35,6 kg. Při odečtení hmotnosti nebyl nastaven pro každou komponentu, hlavně pneumatického pohonu, zvláště skutečný materiál. Vycházelo se z nastavení materiálu - ocel, proto je odečtená váha odchýlená mírně nahoru oproti skutečné. Zadání bylo tedy splněno a pomocí chapadla je možné odnést všechny polotovary a pěchy.



Obr. 85 Odečtené hodnoty ze zátěžového diagramu IRB 4600



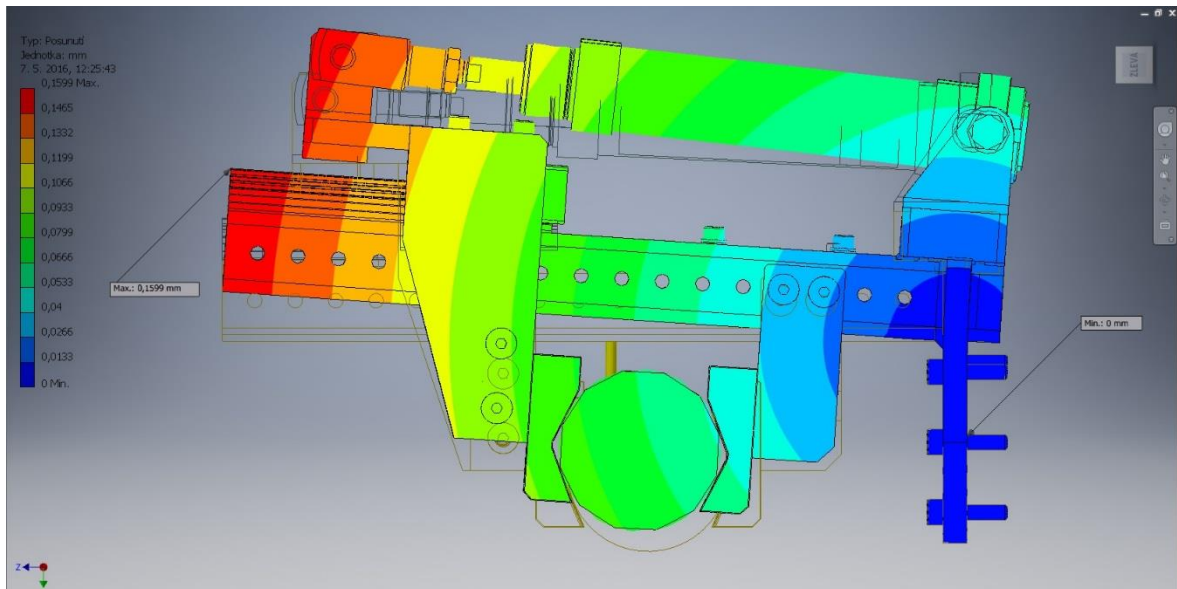
Obr. 86 Upevnění chapadla na přírubu robotu IRB 4600

11 OVĚŘENÍ ŘEŠENÍ POMOCÍ METODY KONEČNÝCH PRVKŮ

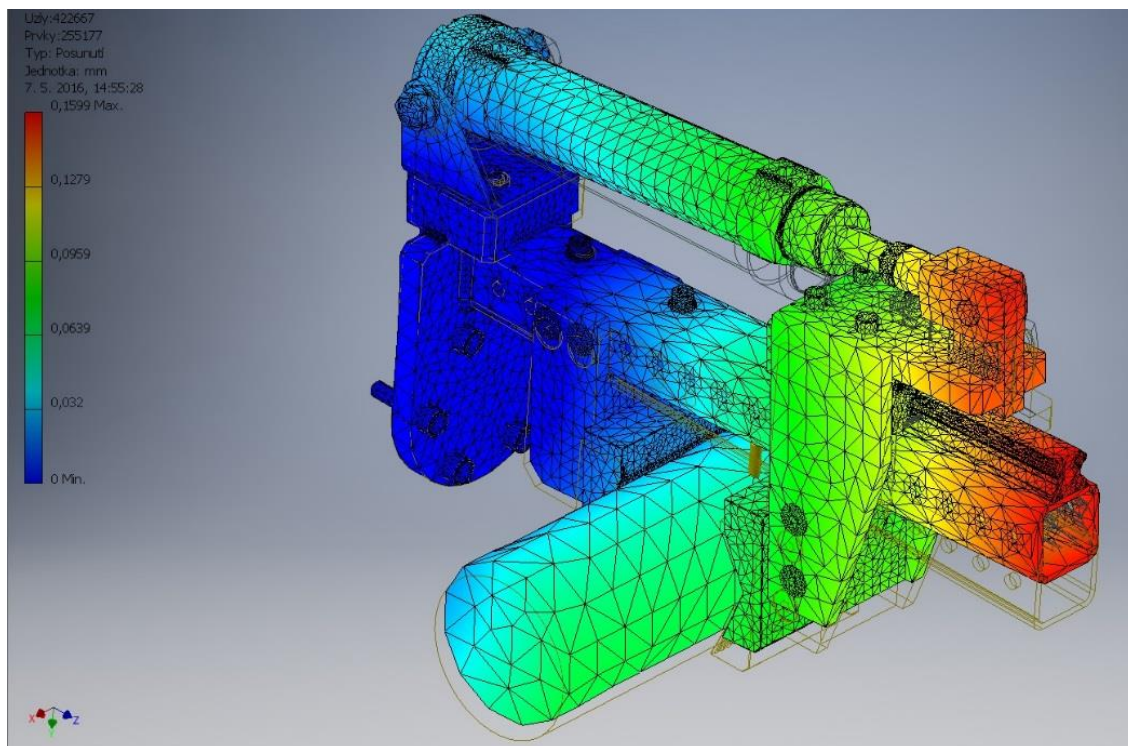
Konstrukce chapadla byla ověřena pomocí metody konečných prvků. Analýza ověřuje posunutí ramene a tepelné namáhání.

11.1 Posunutí ramene

Pevnostní analýza byla provedena jako statická, která je dostačující pro ověření. Při pohybu vznikají odstředivé síly a zrychlení a vyšetření dynamické analýzy je složitější. Maximální posunutí na konci ramene, značeno červenou barvou, je 0,16 mm. Opakovatelná přesnost robotu je 0,2 mm. V kovárenství se pracuje s přesností do 3 mm proto je posunutí zanedbatelné a nehrozí poškození komponent ani ovlivnění naprogramované dráhy robotu.



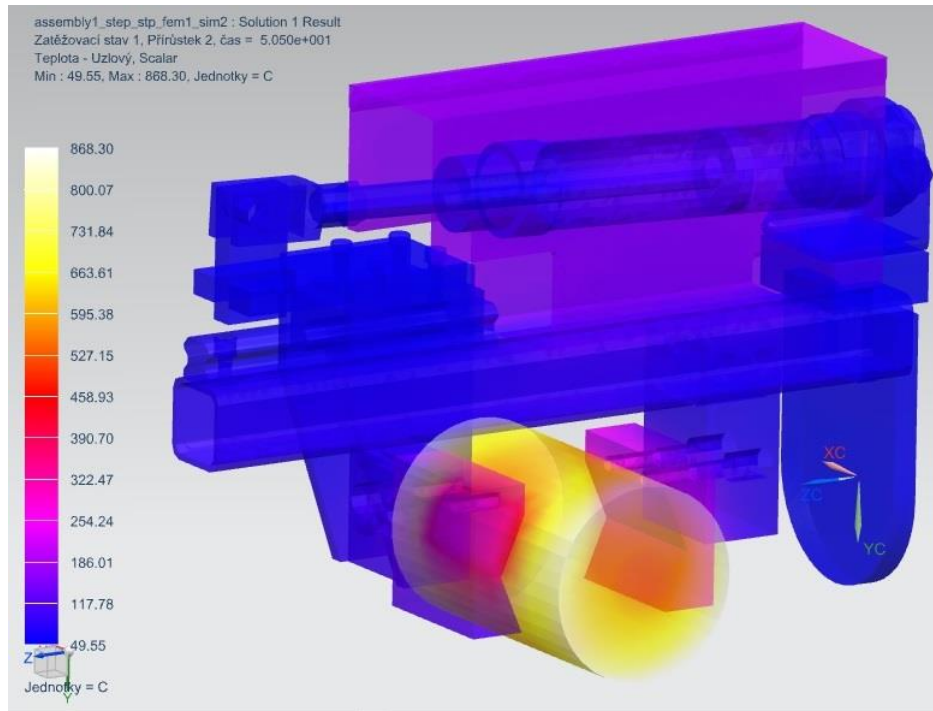
Obr. 87 Zobrazení maximální posunutí ramene chapadla



Obr. 88 Izometrický pohled na posunutí ramene chapadla

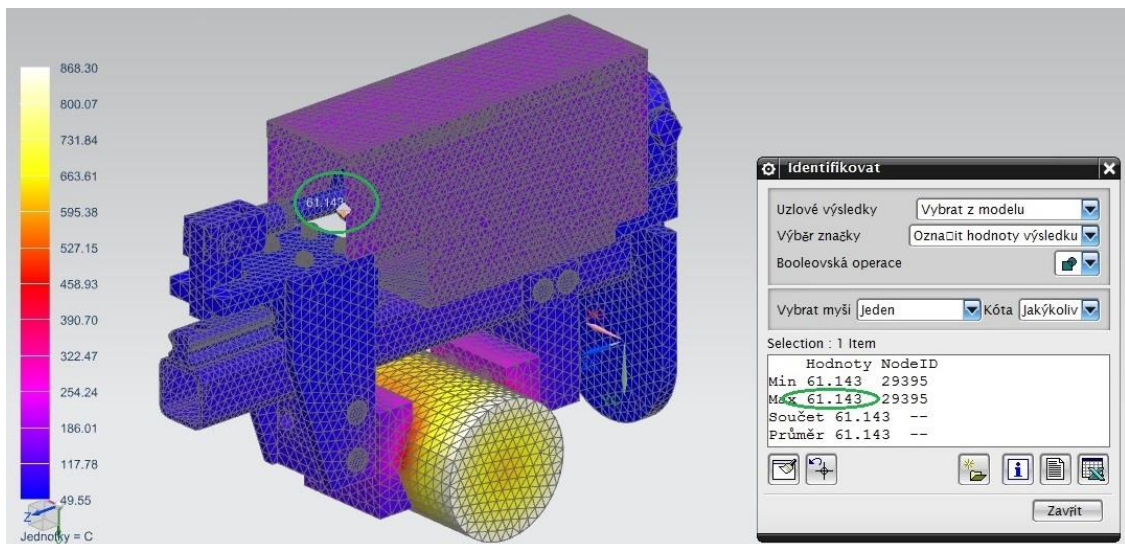
11.2 Tepelné zatížení

Při manipulaci se žhavým předmětem vzniká tepelné sálání, které může poškodit komponenty. Vyšetřované místo byl těsnící kroužek u pístnice s označením S6, vyrobený z fluorkaučuku, s maximální provozní teplotou 120°C. Počáteční teplota polotovaru byla nastavena na 1150°C. Úloha byla řešena jako nestacionární, a proto se teplotní pole polotovaru měnilo v závislosti na čase. Čas manipulace byl stanoven na 50 vteřin. Skutečný takt linky je přibližně 35 vteřin. Všechny ostatní podmínky jako konvekční součinitele, přechodové odpory, kontakty těles byly ponechány v automatickém nastavení.



Obr. 89 Zobrazení teplotního pole

Teplota z polotovaru přestupuje nejvíce do čelistí, které jsou vyrobeny z nástrojové oceli, a nedojde k jejich poškození. Teplo sálá do ocelového profilu a krytu pneumatického válce.



Obr. 90 Zobrazení vyšetřovaného bodu na těsnícím kroužku

Teplota na těsnícím kroužku pístnice byla naměřena 61°C. Tato teplota bude na pístnici ve chvíli, kdy bude kus držen 50 vteřin a během této doby polotovar zchladne na 870°C. Výsledky dokázaly, že chapadlo bylo zkonstruované správně a nedojde tak k poškození komponent.

12 POUŽITÍ V PRAXI

Výroba chapadla byla práce na zakázku. Dodala se pouze výkresová dokumentace obsahující všechny výkresy vyráběných dílů a sestavu chapadla s kusovníkem, kde se nacházeli i originální komponenty.

Po předání chapadla se odzkoušela funkčnost napojením na vzduchotechniku a provedlo se seřízení rychlosti pohybu pístnice pomocí škrťících ventilů. Poté proběhla montáž k přírubě robota a specializovaný konstruktér provedl úpravy drah robotu. Provedla se simulace dráhy a drobné konečné úpravy.

První kování rotorů proběhlo bez problémů a funkčnost chapadla se tak osvědčila v praxi.

Důležitou součástí pro budoucí funkčnost je údržba a proto byl zakoupen mazací tuk, který se rovnoměrně dávkuje přes maznici na vozíku. Tím se prodlužuje životnost lineárního vedení. Po každém kování je vhodné očistit pístnici pneumatického válce. Proti zapékání montovaných spojení byla použita vysokoteplotní pasta.



Obr. 91 Založení pěchu do předkovací dutiny v pracovním prostoru

LVH 2500



Obr. 92 Přenášení polotovaru



Obr. 93 Odebrání pění z pracovního prostoru LU 400

ZÁVĚR

V diplomové práci byl řešen návrh robotického chapadla pro kovárenské účely. Teoretická část byla věnována technologii kování, robotům a jejich efektorům.

Praktická část řeší samotnou konstrukci chapadla. Nejprve byla popsána současná problematika, z níž vyplynul požadavkový list. Robot je umístěn na kovací lince L12. Pracoviště bylo popsáno v samostatné kapitole včetně určení mezních hodnot strojů a zařízení, které by mohli ovlivnit řešení. Současný stav chapadel nabízel i možnost vytvoření nových čelistí, které by částečně pokryly zadání, avšak orientační kalkulace potvrdila, že je výhodné investovat čas do řešení nového robotického chapadla.

Během vývoje vznikali různé skici a návrhy, které byli konzultovány s odborníkem v Kovárně VIVA a.s. a dodali inspiraci pro konečné řešení. Poté došlo k vymodelování zjednodušených případů chapadla ve třech konceptech. Z každého konceptu se použila vhodná myšlenka a jejich složením vznikl výsledný návrh.

Přesné určení pneumatického pohonu bylo zpracováno na základě výpočtu potřebné úchopové síly. Poté byl zvolen konkrétní pneumatický válec s příslušenstvím a dále pak lineární vedení pro rameno chapadla.

V programu NX 9.0 byly zpracovány přesné modely, výkresový dokumentace a sestava. Ze sestavy se odečetla hmotnost a souřadnice těžiště. Délky ramen k těžišti byly vyneseny do zátěžového diagramu a odečtena maximální nosnost robotu. Výsledná hmotnost chapadla splnila požadavky na maximální nosnost robotu vztáženou k těžišti.

Poté byla zpracována kompletní výkresová dokumentace pro výrobu. Po zvážení vyrobeného chapadla byla odečtena mírně nižší hmotnost, než určil program. Odchylka byla způsobena nastavením stejného materiálu pro všechny komponenty při odečítání hmotnosti v NX 9.0.

Chapadlo bylo namontováno na robota IRB 4600. Škrťíci ventily se nastavila rychlost otevírání a zavírání čelistí.

Při prvním kování se chapadlo osvědčilo a fungovalo bez problémů. Polotovary ani pěchy nikdy nevypadli. V současné době se kove pomocí chapadla již několikrát kovací zakázka v kovárně VIVA a.s. a s ohledem na čas nebyly pozorovány žádné materiálové deformace vlivem tepelného sálání. Je zajištěna pravidelná údržba lineárního vedení a pístnice pneumatického válce.

Závěrem bych zhodnotil konstrukci robotického chapadla jako úspěšně dokončenou a v praxi funkční. Práce mě natolik zaujala, že nadále zůstávám jedním z konstruktérů robotických chapadel v Kovárně VIVA a.s.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HAŠEK, Vladimír, et al. *Kování*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1965. 732 s.
- [2] *Kovárenství*. 2016, (56). ISSN 1213-9289.
- [3] LEIDORF, Michal. *ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ NÁBOJE KOLA* [online]. Brno, 2009 [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=16847. Bakalářská práce.
- [4] ŠOLC, František, ŽALUD, Luděk. *Robotika, učební text*
- [5] HAVRLANT, Oldřich. *Konstrukční řešení uchopovacích prvků průmyslového robotu v Kovárně VIVA a.s.* [online]. Zlín, 2014 [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/28583/havrlant_2014_dp.pdf?sequence=1. Bakalářská práce.
- [6] ŘEZNÍČEK, Martin. *Konstrukce pneumatického manipulátoru* [online]. Zlín, 2009 [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/3113/%C5%99ezn%C3%AD%C4%8De k_2006_bp.pdf?sequence=1. Bakalářská práce.
- [7] Curiosity (rover). In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2016 [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Curiosity_\(rover\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Curiosity_(rover))
- [8] FLEKAL, Lukáš. *KONCOVÉ EFEKTORY V PRUMYSLOVÉ ROBOTICE: END EFFECTORS IN ROBOTICS* [online]. Brno, 2009 [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=66998. Bakalářská práce. VYSOKÉ UCENÍ TECHNICKÉ V BRNE. Vedoucí práce Ing. ALEŠ POCHYLÝ.
- [9] ŠABART, Adam. *PARALELNÍ KINEMATICKÉ STRUKTURY PRUMYSLOVÝCH ROBOTU* [online]. Brno, 2015 [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=103516. Bakalářská práce.
- [10] KOLÍBAL, Zdeněk. *Průmyslové roboty, učební text*
- [11] GERGEL, Jiří. *Návrh manipulátoru portálového typu s podtlakovou uchopovací hlaví* [online]. Zlín, 2013 [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/24264/gergel_2013_dp.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [12] SEDLÁČEK, Tomáš. *ROBOTIZOVANÉ PRACOVÍŠTE PRO OPRACOVÁNÍ TERMOPLASTOVÝCH DÍLU* [online]. Brno, 2011 [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: <https://core.ac.uk/download/files/697/30307432.pdf>
- [13] SKAŘUPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátory* [online]. Ostrava, 2007 [cit. 2016-04-28]. Dostupné z: http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/PRM/Text/Skripta_PRaM.pdf. Učební text. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.

- [14] BLECHA, Petr a kol. *Mechatronika Modul 10: Robotika, učební text*. Brno: VUT, 2008. 157 s.
- [15] CROSER, Peter a Frank EBEL. Pneumatics: Basic Level. In: *Festo Didactic* [online]. Denkendorf: Festo Didactic, 202n. 1. [cit. 2016-04-28]. Dostupné z: http://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/093131_leseprobe_web.pdf
- [16] VACEK, Tomáš. *Návrh a konstrukce jednoúčelového stroje pro montáž sestavy stavěcího šroubu* [online]. Zlín, 2013 [cit. 2016-04-28]. Dostupné z: http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/24600/vacek_2013_dp.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [17] Kolektiv autoru. *Úvod do pneumatiky*. Esslingen: FESTO Didactic., 1989. ISBN: 80-01-00042-7
- [18] *VIVA Kovárna* [online]. Zlín: Kovárna VIVA, 2000 [cit. 2016-04-28]. Dostupné z: <http://www.viva.cz/web/structure/2.html>
- [19] *Návod k použití, technická dokumentace na vřetenový kovací lis ŽĐAS LVH 2500*. Praha, 1998.
- [20] ABB Robotics, *Product specification robot IRB 4600*. Není volně dostupný.
- [21] LACKO, Branislav. *Cíle konstrukčního procesu v tržní ekonomice a jejich počítačová podpora* [online]. Brno, 2006 [cit. 2016-04-28]. Dostupné z: <http://old.uk.fme.vutbr.cz/kestazeni/ZRS/CileKP.pdf>
- [22] HUBKA, Vladimír. *Konstrukční nauka: obecný model postupu při konstruování*. 2. přepracované a doplněné vydání. Praha: KONSERVIS, 1991. ISBN 80-901-1350-8.
- [23] INTERNÍ MATERIÁLY KOVÁRNY VIVA a.s.
- [24] WOLF, A.; STEINMANN, R. SCHUNK, H. *Grippers in Motion: The Fascination of Automated Handling Tasks*. Springer, 2005. 242 s. ISBN 978-3-540-27718-7
- [25] China's World Largest 18500 tons oil press machine. *France-Metallurgie* [online]. France: Metallurgist, 2012 [cit. 2016-04-29]. Dostupné z: <http://www.france-metallurgie.com/index.php/2012/02/27/chinas-world-largest-18500-tons-opne-die-forging-us/>
- [26] Grain Flow in Forgings III. *Forge* [online]. Troy: Walters, 2015 [cit. 2016-04-29]. Dostupné z: <http://www.forgemag.com/articles/84304-grain-flow-in-forgings-iii-effects-of-forging-on-grain-flow>
- [27] The Old Robots. *The Old Robots* [online]. [cit. 2016-04-29]. Dostupné z: <http://www.theoldrobots.com/ElmerElsie.html>
- [28] *ABB Robotics* [online]. [cit. 2016-04-29]. Dostupné z: <http://new.abb.com/products/robotics>
- [29] *Weird Things* [online]. [cit. 2016-04-29]. Dostupné z: <http://weirdthings.com/2009/06/japanese-pancake-making-robot/>
- [30] *KUKA* [online]. [cit. 2016-04-29]. Dostupné z: <http://www.kuka-robotics.com/en/>

-
- [31] *Festo* [online]. [cit. 2016-04-29]. Dostupné z:
https://www.festo.com/cat/cs_cz/products
- [32] *Hiwin: Motion and Control Systems* [online]. [cit. 2016-04-29]. Dostupné z:
<http://www.hiwin.cz/cz/produkty/linearni-vedeni>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

a	$[m \cdot s^{-2}]$	Zrychlení
a_h	$[m \cdot s^{-2}]$	Zrychlení horizontální
a_v	$[m \cdot s^{-2}]$	Zrychlení vertikální
F	$[N]$	Síla
f		Součinitel smykového tření
G	$[N]$	Síla vyvolaná tíhou objektu manipulace
g	$[m \cdot s^{-2}]$	Gravitační zrychlení
k		Koeficient bezpečnosti
m	$[kg]$	Hmotnost
R	$[m]$	Poloměr pohybu po kružnici
U	$[N]$	Uchopovací síla
α	$[^\circ]$	Úhel prizma
ε	$[^\circ \cdot s^{-2}]$	Úhlové zrychlení
ω	$[^\circ \cdot s^{-1}]$	Úhlová rychlost
CAD		Computer Aided Design
CAM		Computer Aided Manufacturing
CNC		Computer Numerical Control
HRC		Tvrдость podle Rockwella
MÚE		Mechanické úchopné efekty
OM		Objekt manipulace
PRaM		Průmyslové roboty a manipulatory
3D		Trojrozměrný prostor

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Volné strojní kování obřích výkovků [25]</i>	12
<i>Obr. 2 Zápustkové kování [18]</i>	13
<i>Obr. 3 Tyčovina</i>	13
<i>Obr. 4 Pěchování [26]</i>	14
<i>Obr. 5 Předkovek</i>	15
<i>Obr. 6 Výkovek</i>	15
<i>Obr. 7 Kovací zápustka vyrobená frézováním</i>	16
<i>Obr. 8 První robot – Elmer [27]</i>	19
<i>Obr. 9 Výzkumné vozítko Curiosity [7]</i>	20
<i>Obr. 10 Největší robot od firmy ABB - IRB 8700 [28]</i>	21
<i>Obr. 11 Pracovní rozsah ABB IRB 6640 [28]</i>	22
<i>Obr. 12 Paralelní robot ABB IRB 360 FlexPicker [28]</i>	23
<i>Obr. 13 Základní části robotu</i>	24
<i>Obr. 14 Klasifikace robotů a manipulačních zařízení [10]</i>	25
<i>Obr. 15 Inteligentní robot schopný uvařit [29]</i>	26
<i>Obr. 16 Průmyslový robot ABB [28]</i>	28
<i>Obr. 17 Grafické znázornění pracovního prostoru podle geometrie [5]</i>	28
<i>Obr. 18 Připojení koncového efektoru (1) na přírubu (2) umístěnou na konci ramene průmyslového robotu (3) [8]</i>	29
<i>Obr. 19 Příklad použití obrábění pomocí robotu [30]</i>	30
<i>Obr. 20 Lakovací hlavice pro využití v automobilovém průmyslu [28]</i>	31
<i>Obr. 21 Jednoduché mechanické hlavice s odpruženými čelistmi [14]</i>	33
<i>Obr. 22 Možné principy řešení MÚH typu T1 [14]</i>	35
<i>Obr. 23 Možné principy řešení MÚH typu T2 [14]</i>	35
<i>Obr. 24 Možné principy řešení MÚH typu T3 [14]</i>	36
<i>Obr. 25 Možné principy řešení MÚH typu T4 [14]</i>	36
<i>Obr. 26 Kombinované chapadlo s funkcí podtlakových komor (1) a stříhacím mechanismem (2,3) [14]</i>	37
<i>Obr. 27 Rozdělení kompresorů [6]</i>	40
<i>Obr. 28 Pístový motor [17]</i>	42
<i>Obr. 29 Membránový motor [17]</i>	42
<i>Obr. 30 Motor s odvalující se membránou [17]</i>	43

<i>Obr. 31 Dvojitý pístový motor [17]</i>	44
<i>Obr. 32 Pístový motor s průchozí pístnicí [17]</i>	44
<i>Obr. 33 Vícepolohový motor [17]</i>	45
<i>Obr. 34 Pístový motor s úderným účinkem [17]</i>	45
<i>Obr. 35 Způsoby uchycení pneumotoru [17]</i>	46
<i>Obr. 36 Diagram posloupnosti operací při návrhu chapadla [8]</i>	47
<i>Obr. 37 Možné způsoby uchopení objektu manipulace [5]</i>	50
<i>Obr. 38 Bod působení úchopné síly a těžiště předmětu [5]</i>	50
<i>Obr. 39. Typické výkresy firmy VIVA a.s. [18]</i>	52
<i>Obr. 40 Prostory s kovacími stroji [18]</i>	53
<i>Obr. 41 Chapadlo 12-3001 s označením Bridge</i>	54
<i>Obr. 42 Chapadlo 12-3002</i>	54
<i>Obr. 43 Předpokládaný problém s odebráním pěchu nových pozic, iniciace ke konstrukci nového chapadla</i>	55
<i>Obr. 44 Vřetenový kovací lis LVH 2500</i>	57
<i>Obr. 45 ABB IRB 4600-40/2.55 [20]</i>	58
<i>Obr. 46 Pracovní rozsah IRB 4600-40/2.55 [20]</i>	59
<i>Obr. 47 Vstup a výstup konstrukčního procesu [21]</i>	60
<i>Obr. 48 Zátěžový diagram robotů řady IRB 4600 [20]</i>	63
<i>Obr. 49 Ohřívač KSO 800</i>	64
<i>Obr. 50 Vibrační zásobník</i>	65
<i>Obr. 51 Pracovní prostor pýchovací lis LU 400</i>	65
<i>Obr. 52 Pracovní prostor kovacího lisu LVH 2500</i>	66
<i>Obr. 53 Skicování nápadů</i>	69
<i>Obr. 54 Zobrazení dvou v sobě vsazených ocelových profilů</i>	70
<i>Obr. 55 Upínací deska s prizmatickou drážkovanou čelistí</i>	70
<i>Obr. 56 Profil L pro přenos pohybu pneumatického válce na čelist</i>	71
<i>Obr. 57 Pneumatický válec včetně pružné spojky</i>	71
<i>Obr. 58 Příklad stažení CAD modelu pružné spojky z katalogu Festo</i>	72
<i>Obr. 59 Lineární vedení značky HIWIN</i>	72
<i>Obr. 60 Vyznačení vhodných komponent použitých pro další vývoj</i>	73
<i>Obr. 61 Koncept S2A</i>	73

<i>Obr. 62 Hlavní myšlenka přesunu těžiště směrem k přírubě – nástavba pro montáž pneumatického válce</i>	74
<i>Obr. 63 I profil pro posun čelisti</i>	74
<i>Obr. 64 Vyznačení vhodných komponent použitých pro další vývoj.....</i>	75
<i>Obr. 65 Koncept S2B</i>	75
<i>Obr. 66 Čepy. Prostřední vytváří střed rotace ramene. Zbylé dva pohyb v drážce a spojení ramene.</i>	76
<i>Obr. 67 Jednoduchý posuvný člen lineárního vedení</i>	76
<i>Obr. 68 Zpětný chod válce a funkce otočného ramene</i>	77
<i>Obr. 69 Vyznačení uchopení, směru pohybu a vzorce při výpočtu úchopových sil [24]</i>	79
<i>Obr. 70 Pneumatický válec DSNU-50-160-PPS [31]</i>	82
<i>Obr. 71 Schéma příslušenství k pneumatickému válci – zelené je vybrané [31]</i>	82
<i>Obr. 72 Lineární vedení HIWIN s vozíkem HGH30CA a kolejnici HG30 [32]</i>	83
<i>Obr. 73 Základem je nosník – ocelový profil osazený dírami</i>	84
<i>Obr. 74 Přírubová deska s nosníkem</i>	85
<i>Obr. 75 Pneumatický válec včetně vidlicové koncovky, kyvného uložení a škrtek ventilů</i>	85
<i>Obr. 76 Nosník osazený lineárním vedením</i>	86
<i>Obr. 77 Rameno s čelistí spojené s lineárním vedením a koncovkou pístnice.....</i>	86
<i>Obr. 78 Stavitelný člen „pevné“ čelisti</i>	87
<i>Obr. 79 Důležitý prvek – ochrana citlivých komponent krytováním</i>	88
<i>Obr. 80 Vazba distance řídicí vzdálenost pístnice od stěny válce</i>	88
<i>Obr. 81 Chapadlo s pěchem výkovku KAT I-01.....</i>	89
<i>Obr. 82 Chapadlo s polotovarem výkovku KAT III – 06</i>	89
<i>Obr. 83 Zobrazení těžiště v 3D modelu</i>	90
<i>Obr. 84 Textový výstup funkce Measure Body.....</i>	90
<i>Obr. 85 Odečtené hodnoty ze zátěžového diagramu IRB 4600</i>	91
<i>Obr. 86 Upevnění chapadla na přírubu robotu IRB 4600.....</i>	91
<i>Obr. 87 Zobrazení maximální posunutí ramene chapadla</i>	92
<i>Obr. 88 Izometrický pohled na posunutí ramene chapadla.....</i>	93
<i>Obr. 89 Zobrazení teplotního pole.....</i>	94
<i>Obr. 90 Zobrazení vyšetřovaného bodu na těsnícím kroužku.....</i>	94
<i>Obr. 91 Založení pěchu do předkovací dutiny v pracovním prostoru LVH 2500.....</i>	95

<i>Obr. 92 Přenášení polotovaru</i>	<i>96</i>
<i>Obr. 93 Odebrání pěchu z pracovního prostoru LU 400</i>	<i>96</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Skupiny zatížení robotu</i>	21
<i>Tab. 2 Porovnání sériových a paralelních mechnismů [9]</i>	23
<i>Tab. 3 Klasifikace úchopných efektorů [14]</i>	32
<i>Tab. 4 Typy aktivních hlavic [14]</i>	34
<i>Tab. 5 Základní symboly pro značení pneumotorů [17]</i>	46
<i>Tab. 6 Souhrn informací z katalogového listu [20]</i>	58
<i>Tab. 7 Požadavkový (zadávací) list [22], [23]</i>	61
<i>Tab. 8 Souhrn vstupních informací [23]</i>	67
<i>Tab. 9 Náklady na nové čelisti [23]</i>	68
<i>Tab. 10 Náklady na nové chapadlo [23]</i>	68
<i>Tab. 11 Celkové náklady včetně úspory [23]</i>	68
<i>Tab. 12 Souhrn doplňujících úkolů a poznámek</i>	77
<i>Tab. 13 Hodnoty pro výpočty</i>	78

SEZNAM PŘÍLOH

- PI Sestava – Chapadlo
- PII Výkres – Jekl 50x50
- PIII Výkres – Distanční kostka
- PIV Výkres – Kotvící příruba
- PV Výkres – Platforma pro čelist - pevná
- PVI Výkres – Platforma pro čelist - pohyblivá
- PVII Výkres – Nástavba na vozík – úchop kloubu
- PVIII Výkres – Nástavba na vozík
- PIX Výkres – Bočnice pravá
- PX Výkres – Bočnice levá
- PXI Výkres – Kryt
- PXII Výkres – Kryt horní
- PXIII Výkres – Čelist 90x90

