

Návrh chapadla pro podélné uchopování polotovarů a výkovků

Bc. Pavel Smetka

Diplomová práce
2019



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Pavel Smetka**

Osobní číslo: **T17275**

Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**

Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Návrh chapadla pro podélné uchopování polotovarů a výkovek**

Zásady pro vypracování:

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

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

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

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Ondřej Bílek, Ph.D.**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **2. ledna 2019**

Termín odevzdání diplomové práce: **17. května 2019**

Ve Zlíně dne 6. února 2019

L.S.

doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

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

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně

.....

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

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

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

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

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

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

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpirá-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 výtěžku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výtěžku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá konstrukčním návrhem chapadla pro podélné uchopení polotovarů a výkovků. Teoretická část se zabývá rešerší problematiky týkající se robotických chapadel používaných v těžkém a kovárenském průmyslu. Praktická část je zaměřena na samotnou konstrukci chapadla dle obecného konstrukčního procesu, konstrukcí modelů a sestavy v programu Catia V5 R19, ověření správnosti pomocí inženýrských výpočtů v programu Solid Edge ST9 a výkresovou dokumentací.

Klíčová slova: Kovárenství, Robotizace, Chapadlo, Konstrukce, CAD, FEM analýza

ABSTRACT

This diploma thesis deals with the design of the holder of semi-products and forgings. The theoretical part is focused on the problems of robotic tentacles in the heavy and forge industry. The practical part is focused on the own design of tentacle in Catia V5 R19 by the general construction process, verification by means of engineering calculations in Solid Edge ST9 and drawing documentation.

Keywords: Forging, Robotization, Holder, Construction, CAD, FEM analysis

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych chtěl poděkovat svým vedoucím diplomové práce Ing. Ondřeji Bílkovi Ph.D. a Ing. Františku Tomečkovi Ph.D. za ochotu a čas, který mi byl věnován od obou, poskytnutou literaturu a cenné rady, které mi oba předali v průběhu vypracování celé diplomové práce. Dále bych chtěl také poděkovat své rodině, přítelkyni a nejbližším přátelům za podporu.

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

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY	11
1.1 KOVÁNÍ	11
1.1.1 Volné kování	11
1.1.2 Zápustkové kování	11
1.2 ROBOTIKA A AUTOMATIZACE	12
2 ROBOTICKÉ CHAPADLA SE ZAMĚŘENÍM NA KOVÁRENSVÍ A TĚŽKÝ PRŮMYSL	13
2.1 AKTIVNÍ ÚCHOPNÉ PRVKY MECHANICKÉ	15
2.2 AKTIVNÍ ÚCHOPNÉ PRVKY SPECIÁLNÍ	16
3 AUTOMATIZAČNÍ PROSTŘEDKY POUŽÍVANÉ V KOVÁRENSTVÍ	18
3.1 SENZORY, SNÍMAČE	18
3.1.1 Senzory pro bezkontaktní snímání polohy hnacích pístů	19
3.1.1.1 Magnetické senzory	19
3.2 AKČNÍ ČLENY	21
3.2.1 Pneumatické akční členy	21
3.2.2 Rozváděče a ventily	23
3.2.2.1 Rozváděče	24
3.2.2.2 Ventily	25
3.3 VEDENÍ KABELÁŽE	26
4 ANALÝZA PODKLADŮ POTŘEBNÝCH PRO NÁVRH ROBOTU	29
4.1 VELIKOST OPERAČÍHO PROSTORU	29
4.2 NOSNOST ROBOTU	29
4.3 RYCHLOST A ZRYCHLENÍ	30
4.4 MONTÁŽNÍ PROSTOR	30
4.5 KINEMATIKA, TUHOST A PŘESNOST POLOHOVÁNÍ	31
4.6 NORMY SPLŇUJÍCÍ SÉRIOVÉ ROBOTY OD FIRMY ABB	32
5 NÁVRH CHAPADLA	34
5.1 MANIPULOVANÝ OBJEKT	34
5.2 STANOVENÍ BODU PŮSOBNÍ ÚCHOPNÉ SÍLY	35
5.3 VÝPOČET ÚCHOPOVÉ SÍLY	36
6 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	38
II PRAKTICKÁ ČÁST	39
7 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU	40
7.1 POPIS PROCESU	40
7.1.1 Indukční ohřívač	41
7.1.2 Pěchovací lis	41
7.1.3 Kovací lis	42

7.2	STÁVAJÍCÍ ŘEŠENÍ.....	42
7.3	POŽADAVEK ZADAVATELE NA NOVÉ KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ CHAPADLA.....	42
7.4	ROBOT ABB IRB 6640-185/2.8.....	43
7.4.1	Parametry robotu.....	44
8	KONSTRUKČNÍ PROCES.....	45
8.1	POŽADAVKOVÝ LIST.....	45
8.2	MORFOLOGICKÁ MATICE ŘEŠENÍ.....	47
9	NÁVRH CHAPADLA PRO PODÉLNÉ UCHOPENÍ POLTOVARU.....	48
9.1	NÁVRH KONCEPCE.....	48
9.2	VYTVOŘENÍ MODELU	49
9.2.1	Nosná konstrukce	50
9.2.2	Spodní, otočná část.....	51
9.2.2.1	Pevná čelist	51
9.2.2.2	Posuvná čelist	51
9.2.2.3	Točna	52
9.3	NAKUPOVANÉ KOMPONENTY	57
9.3.1	Pneumatický válec upínací.....	57
9.3.2	Otočný prvek.....	58
9.3.3	Ostatní komponenty	59
9.3.3.1	Kulová spojka na pístní tyč.....	59
9.3.3.2	Komponenty pro rozvod vzduchu.....	59
9.3.3.3	Senzor polohy pneumatického válce	60
9.3.4	Cena nakupovaných komponent	60
10	VÝPOČTY	61
10.1	ODSTÍNĚNÍ TEPLA OD VÝKOVKU.....	61
10.1.1	Sálání (radiace tepla z polotvaru).....	62
10.1.2	Prostup tepla izolací	63
10.2	VÝPOČET UCHOPOVACÍ SÍLY	65
10.3	PRŮHYB U PROFILU	66
10.4	OVĚŘENÍ ÚNOSNOSTI LOŽISKA NA AXIÁLNÍ ZATÍŽENÍ.....	67
11	OVĚŘENÍ POMOCÍ POČÍTAČOVÉ ANALÝZY.....	68
11.1	POSUNUTÍ UCHOPOVACÍCH PRVKŮ	68
11.2	POSUNUTÍ NOSNÉ KONSTRUKCE	69
	ZÁVĚR	71
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	74
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	77
	SEZNAM OBRÁZKŮ	80
	SEZNAM TABULEK.....	83
	SEZNAM PŘÍLOH.....	84

ÚVOD

Při dnešním stavu trhu práce, kdy je trvalý nedostatek lidí, zní automatizace jako správná volba řešení tohoto problému. Kovářenský průmysl spadá do těžkého průmyslu, práce v něm je velmi fyzicky namáhavá a mnohdy navíc nebezpečná. Konstrukcí chapadla se zvýší produktivita a zmizí těžká a namáhavá práce vykonávaná lidmi. Tato diplomová práce se zabývá konstrukčním návrhem chapadla pro podélné uchopení polotovarů a výkovek pro kovárenské účely ve firmě Kovárna VIVA a.s.

Teoretická část práce se zabývá rešerší problematiky robotických chapadel používaných v těžkém a kovárenském průmyslu, a automatizačních prvků používaných v kovárenství. Dále se zabývá analýzou podkladů potřebných pro návrh robotu a návrhem chapadla.

Praktická část práce se zabývá samotnou konstrukcí chapadla pro podélné uchopení polotovarů a výkovek dle požadavků zadavatele. Je zde uvedena analýza současného stavu pracoviště, konstrukční proces, pomocí kterého je vytvořen funkční model chapadla, inženýrské výpočty a ověření pomocí počítačových simulací

Součástí práce je i výkresová dokumentace navrženého řešení.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY

1.1 KOVÁNÍ

Kování je způsob objemového tváření, které může probíhat jak za tepla, tak i za studena. Změna tvaru výkovku je způsobena působením vnější síly na tvářený materiál, a to rázem v případě ručního kování, nebo postupným působením síly v případě kování na lisu. Jedná se o přetržitý způsob tváření kovových materiálů a jejich slitin. V případě kování na lisu do zápustky se dosahuje celkem přesných rozměrů výsledného výkovku při současném zlepšení mechanických vlastností materiálu. V případě kování ručního výsledná kvalita a přesnost výkovku závisí na zručnosti a zkušenostech kováře. V průběhu kování je materiál ve výhni (ruční kování), popřípadě v peci (zápustkové kování), ohřát na kovací teplotu, kdy se materiál pohybuje v oblasti austenitu, což je nejtvárnější složka oceli. Přesná teplota ohřevu závisí na druhu tvářeného materiálu, nesmí však překročit maximální mez, musí být zaručena dobrá tvárnost, pokud možno při co nejmenší energetické náročnosti. Čím vyšší kovací teplota, tím menší jsou odpory proti deformaci. Nástroje, které udělují výslednému produktu tvar, se nazývají kovací zápustky (zápustkové kování), v případě volného kování se používá kladivo a kovádlina [3,11]

1.1.1 Volné kování

Jedná se o způsob tváření kovů za pomoci jednoduchých kovářských nástrojů a přípravků. Kovaný materiál je ohřát ve výhni na kovací teplotu a tvářen pomocí kladiva na kovářské kovádlině do výsledného tvaru. Odchyly rozměrů jsou velké, povrch hrubý a nerovný. Přídavek na obrábění musí být dostatečně velký, aby bylo možné dodržet předepsané rozměry při obrábění. Volné kování dále můžeme dělit na ruční nebo strojní, v případě strojního se většinou jedná o výkovky větších rozměrů, kde kladivo je nahrazeno buharem, nebo lisem pro vývin větší tvářecí síly. Ruční kování se v dnešní době používá při kusové výrobě, v rámci oprav a údržby, velké uplatnění má stále v případě uměleckého kovářství. [3,11]

1.1.2 Zápustkové kování

Princip zápustkového kování spočívá v ohřátí materiálu na jeho tvářecí teplotu, v sériové a hromadné výrobě nejčastěji v elektrické peci, poté je ohřátý materiál vložen do dutiny zápustky, jejíž tvar je shodný s tvarem výkovku. V dutině proběhne během jednoho nebo více cyklů tváření na výsledný tvar, který je rozměrově přesný a jakost povrchu je na

vysoké úrovni. Výhodou této technologie je její vysoká výkonnost, jednoduchá obsluha a snadná automatizace, tudíž je vhodná pro použití v sériové a hromadné výrobě. Výkovky mohou být dále obráběny celé nebo jenom na funkčních plochách. [3,11]



Obr. 1. Zápustkové kování v Kovárně VIVA a.s. [23]

1.2 ROBOTIKA A AUTOMATIZACE

Obecně se jedná o vědní obor zabývající se roboty, jejich designem a přednostně jejich použitím v praxi. Samotná industrializace a možnosti výpočetní techniky, které máme dnes k dispozici, nám dávají možnost částečného, popřípadě úplného, odstranění lidského faktoru z „jakéhokoliv“ procesu. Nejčastěji se automatizace uplatňuje tam, kde člověk vykonává monotónní a často těžkou práci. Nespornou výhodou je urychlení pracovních a mezioperačních časů, tyto úspory mohou být v řádech desítek procent v porovnání s činností vykonávanou člověkem. Důvodem pro automatizaci může být v dnešní době ekonomického růstu také nedostatek pracovní síly vzhledem k narůstajícímu počtu zakázek. [7]

Automatizace

Jak už bylo vysvětleno, automatizací rozumíme proces náhrady fyzické a duševní práce člověka činností strojů. Účelem automatizace je úplné nebo částečné vyloučení člověka z procesů, které chceme automatizovat. Důvody, které nás k takovému rozhodnutí vedou, je možno rozdělit do několika skupin:

- Vynucená automatizace
- Ekonomicky zdůvodněná automatizace
- Jiné důvody k automatizaci [7]

2 ROBOTICKÉ CHAPADLA SE ZAMĚŘENÍM NA KOVÁRENSVÍ A TĚŽKÝ PRŮMYSL

Hlavním účelem výstupních (uchopovacích) hlavic je bezpečné uchopení předmětů za účelem manipulace. Ve většině případů se jedná o hlavice zkonstruované pro danou aplikaci přímo uživateli robotů a manipulátorů. Části hlavic, které přicházejí přímo do styku s manipulovaným objektem se zpravidla označují jako „úchopné prvky“. Dle charakteru styku s manipulovanými objekty se tyto úchopné prvky dělí na: [1]

- Mechanické
- Magnetické
- Podtlakové

V kovárenství se podtlakové a magnetické úchopné prvky vyskytují pouze při manipulaci s hotovými, zchladnutými výkovky, a to nejčastěji při výstupní kontrole, popřípadě při přemístění výkovků z důvodu usnadnění a zvýšení pracovního komfortu pracovníků. Hlavními nevýhodami podtlakového systému je nutnost čistého povrchu výkovku, tudíž odstranění okují, a nemožnost jeho použití na horké výkovky, protože přísavky jsou nejčastěji vyrobeny z pryže. Magnetický systém naopak vyžaduje feromagnetické vlastnosti železa. [1,8]

Dále je možno úchopné prvky dělit na:

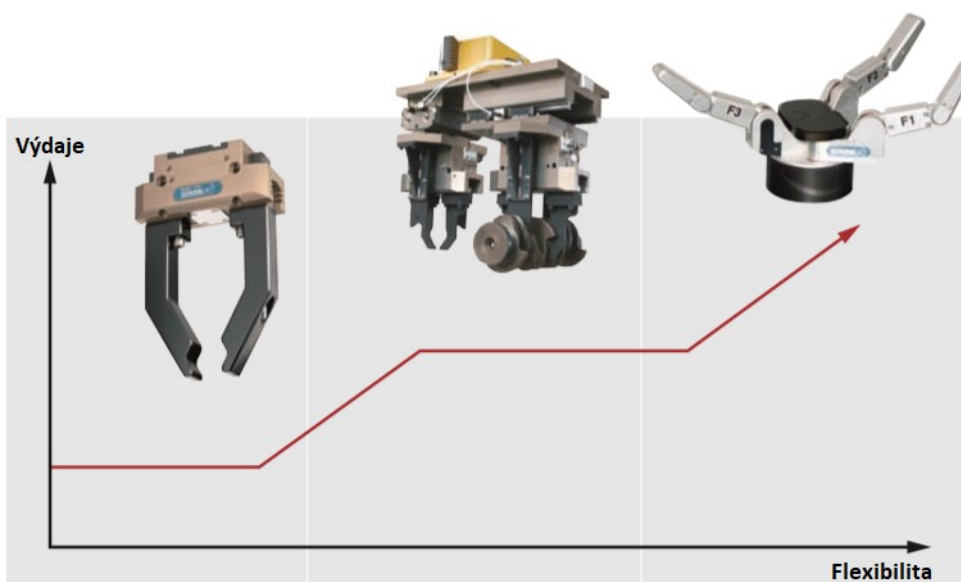
- Pasivní
- Aktivní

Hlavní rozdíl mezi pasivními a aktivními úchopnými prvky je schopnost ovládat úchopnou sílu. Aktivní prvky mohou samy o sobě ovládat úchopnou sílu, pasivní nikoliv. Úchopné hlavice tvořené pouze z pasivních prvků objekt uchopí, ale nemají možnost jej uvolnit bez vnějšího zásahu. Rozdělení úchopných prvků je uvedeno v Tab. č.1. [1]

Tab. 1. Rozdělení úchopných prvků dle výše uvedených hledisek. [1]

MECHANICKÉ	pasivní	Pevné a stavitelné opěry
		Pružné a odpružené čelisti
	aktivní	S hydromotorem
		S pneumatickým pohonem
		S elektrickým pohonem
S elektromagnetem		
MAGNETICKÉ	pasivní	Permanentní magnety
	aktivní	Elektromagnety
PODTLAKOVÉ	pasivní	Deformační přísavky
	aktivní	S vývěvou
		S ejektorem
SPECIÁLNÍ		

Důležitým faktorem při výběru správné konstrukce chapadla je také jeho výsledná cena. Obecně platí pravidlo, že čím větší flexibility musíme dosáhnout, tím vyšší je výsledná cena chapadla viz. Obr. č. 2.



Obr. 2. Závislost výdajů na flexibilitě chapadla [8]

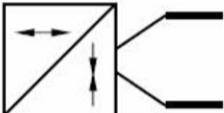
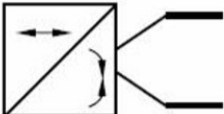
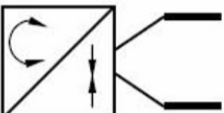

Dále se tato část práce zabývá aktivními úchopnými prvky mechanickými a speciálními, a to z důvodu nejčastějšího využití v kovárenství a těžkém průmyslu. I když speciální uchopovací nejsou stále moc rozšířené, mají velký potenciál využití u tvarově velmi složitých výrobků. [1,8]

2.1 Aktivní úchopné prvky mechanické

Jedná se o skupinu uchopovacích prvků na principu mechanismu, který odpovídá danému konstrukčnímu řešení a jsou právem označovány jako „chapadla“. Tyto úchopné prvky jsou vybaveny pohyblivými čelistmi – aktivními úchopnými prvky. Uvedení do pohybu je zde realizováno pomocí různých druhů motorů. [1]

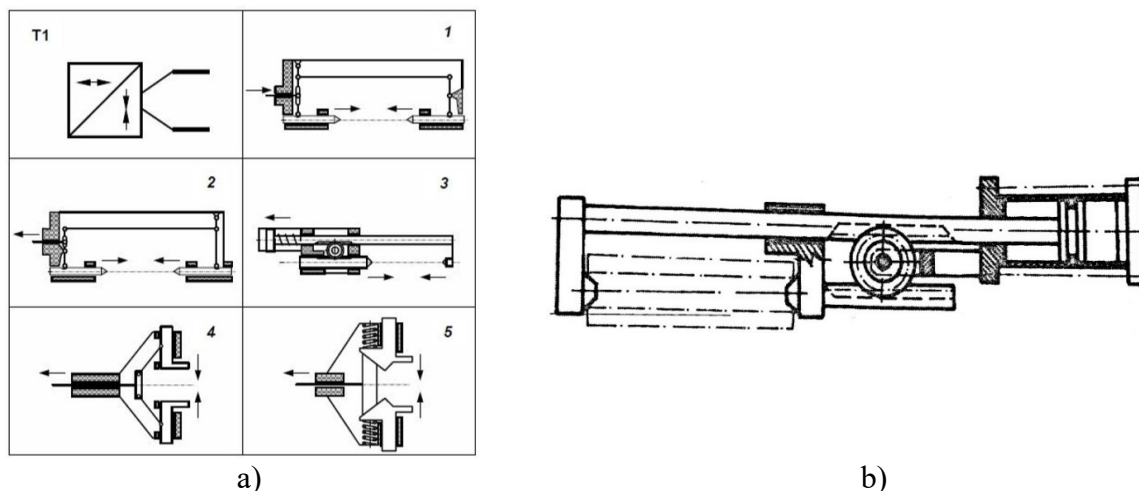
Při konstrukci mechanického chapadla, je snaha o ideální upnutí manipulovaného předmětu. Nejvhodnějším typem chapadla je lidská ruka, ta je ovšem v technické praxi velmi těžce napodobitelná. Jako optimální náhrada lidské ruky se jeví tříprsté řešení. Při běžné manipulaci si obvykle vystačíme se dvěma prvky, které nazýváme čelisti. Čelisti se pohybují směrem k sobě lineárně (posuvně) nebo pohybem kolem osy (rotačně). [1]

Motory používané k pohybu těchto prvků jsou taktéž buď lineární, především pneumatické a hydraulické válce, zřídka elektromagnety s posuvnou kotvou, nebo rotační (pneumatické a hydraulické motory, otočné elektromagnety) [1,8]

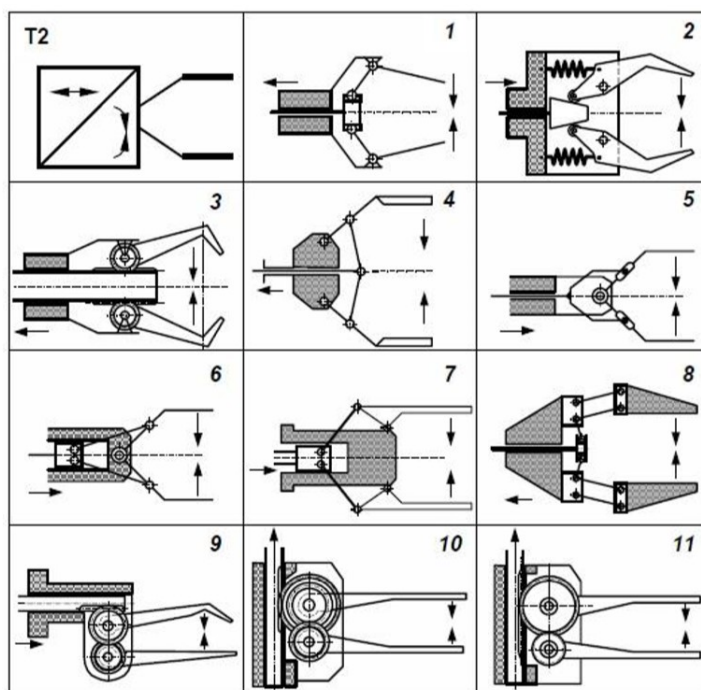
Motor	Úchopné prvky	Transformace pohybu	Typ MÚE
posuvný	posuvné		T1
posuvný	rotační		T2
rotační	posuvné		T3
rotační	rotační		T4

Obr. 3. Typy převodů transformačního bloku. [1]

Mezi motorem a čelistí je nutno instalovat transformační blok, sloužící pro převedení posuvného (rotačního) pohybu motoru na posuv (rotaci) čelisti. Transformace posuv – posuv, nebo rotace – rotace je identická. Naopak pokud se jedná o transformaci posuv – pohyb, nebo pohyb – posuv jedná se o transformaci neidentickou. Jednotlivé typy transformace jsou uvedeny na Obr. č. 4, 5. [1]



Obr. 4. kinematická struktura uchopovacích efektorů s převodem T1 (a) a chapa-dlo typu T1 s pohonem lineárním pneumatickým motorem a posuvnými protiběž-nými čelistmi č. 3 (b). [1]



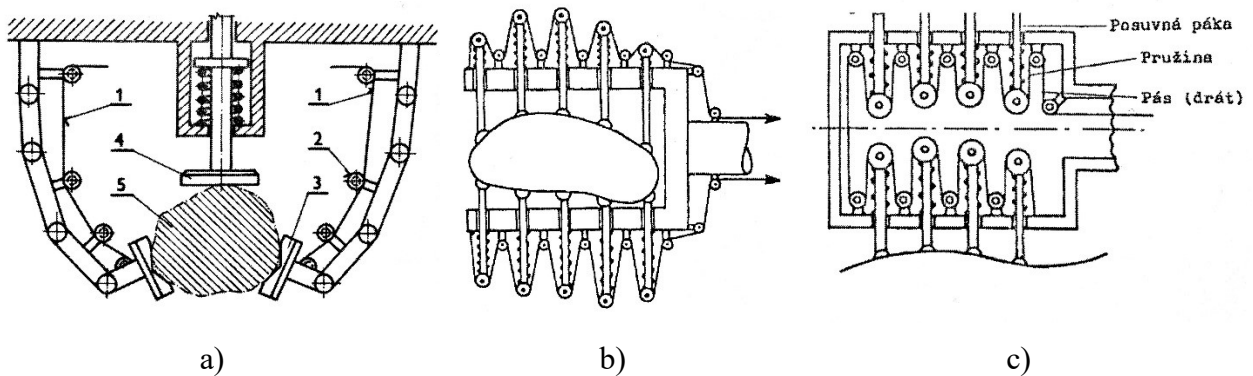
Obr. 5. Kinematická struktura uchopovacích efektorů s převodem T2. [1]

2.2 Aktivní úchopné prvky speciální

Tohoto typu úchopných prvků se v kovárenství a těžkém průmyslu zatím moc nevyužívá, především z důvodu složitého konstrukčního řešení v porovnání s mechanickým konstrukčním řešením. Od složitosti konstrukčního řešení se také odvíjí cena a náročnost na údržbu, ta je také v porovnání s mechanických konstrukčním řešením vyšší. [1,8]

Výběr speciálních úchopných prvků dává smysl pro uchopování tvarově velmi členitých předmětů, popřípadě tam, kde jsou mechanické chapadla nedostačující, zejména z hlediska bezpečnosti uchycení manipulovaného předmětu. [1,8]

Speciální uchopovací prvky mohou být složeny ze sestavy chapadel pro manipulaci s tvarově složitými objekty. Koncepční řešení koncových efektorů tohoto typu je založeno na tom, že posuvně uložené uchopovací prvky natlačují do kontaktu s manipulovaným předmětem silový pás viz. Obr. 6. Tento silový pás je poháněn proti tlačným pružinám. V momentě kontaktu všech uchopovacích prvků s povrchem objektu se pás rovnoměrně napne po celé své délce a silový účinek je aktivován. Dále může být využito principu uchopení pomocí několika desítek jehel uložených v chapadle, tyto jehly se pohybují vertikálně a dokonale se přizpůsobí tvaru uchopovaného tělesa Obr. 7. [1]



Obr. 6. Koncové efektor pro manipulaci s tvarově složitými objekty pro vnější uchopení (a, b) a pro vnitřní uchopení (c) [1]



Obr. 7. Jehlové chapadlo [8]

3 AUTOMATIZAČNÍ PROSTŘEDKY POUŽÍVANÉ V KOVÁRENSTVÍ

Automatizační prostředky jsou obecný pojem pro veškeré nástroje, konstrukční prvky a vybavení, které se používají při automatizaci. Společenský i ekonomický důraz kladený na automatizaci přinesl neobyčejný rozvoj celého sortimentu automatizačních prostředků. Současný konstruktér automatizovaných zařízení a procesů má při jejich projekční přípravě širokou nabídku nejrůznějších konstrukčních prvků, které může při své práci využít. [2]

Automatizační prostředky můžeme rozdělit do čtyř základních skupin:

- Zdroje informací (senzory a jejich čidla)
- Prostředky pro přenos informací (sběrnice, zesilovače, převodníky)
- Prostředky pro zpracování informací (logické obvody, regulátory, programovatelné automaty)
- Výkonné akční členy a pohony (pneumatické, hydraulické, elektrické a kombinované) [2]

3.1 SENZORY, SNÍMAČE

Senzory jsou důležitou součástí většiny moderních automatizovaných soustav a zařízení. Jejich prvořadým úkolem je zjišťovat přítomnost různých fyzikálních, většinou neelektrických veličin, a umožnit další zpracování získaných údajů. Rychle postupující vývoj mikroelektroniky napomohl rozšíření systémové schopnosti senzorů. Ty se postupně mění na tzv. inteligentní a kompaktní měřicí systémy s vestavěnými funkcemi zpracování signálu a specifickými možnostmi komunikace [4,5]

Uchopovací prvek nás tak může pomocí senzorů obohatit o cenné informace z prostředí, ve kterém je nasazen. Příkladem je snímač okolní teploty, který může pomoci určit správnou dobu pro chlazení kleštin nebo může sloužit pro přesné určení teploty v okolí pneumatického, popřípadě hydraulického válce. Snímač pro ověření správnosti, respektive přítomnosti uchycení polotovaru, pěchu nebo výkovku zvyšuje bezpečnost práce. Tyto výstupy informací ze snímačů jsou cenné údaje pro optimalizaci celého procesu [4,5,6]

Obecně můžeme měřit pomocí snímačů tyto neelektrické a elektrické veličiny:

- Neelektrické veličiny
 - Síla
 - Hmotnost
 - Kroutící moment
 - Tlak, tlaková diference
 - Rychlost
 - Zrychlení
 - Délka a úhel
 - Tloušťka povrchových vrstev
 - Vodivost
 - Množství
 - Teplota
 - Průtok
 - Vlhkost
- Elektrické veličiny
 - Napětí (stejnoseměrné, střídavé, vyšší frekvence, špička, minimum)
 - Proud (stejnoseměrný, střídavý, špička, minimum)
 - Výkon (okamžitý, průměrný, činným jalový, jednofázový, střídavý)
 - Energie [4,6]

3.1.1 Senzory pro bezkontaktní snímání polohy hnacích pístů

Do této podskupiny spadá senzor přítomnosti výkovku v kleštinách, v kovárenství se používají senzory založené na magnetickém principu. [2,5]

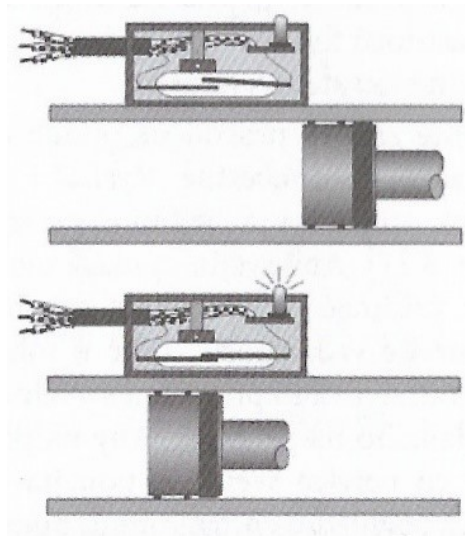
3.1.1.1 Magnetické senzory

Pro konstrukci těchto senzorů využívajících princip změny indukce pole B se jako čidlo používají magnetorezistory a Hallovy sondy. V případě senzorů se skokovou změnou odporu se ještě používají jazýčková relé. [2,5]

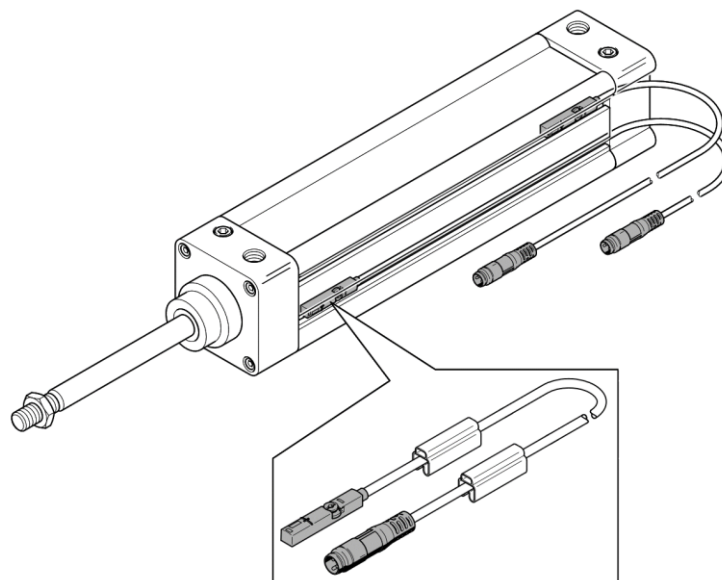
Magnetorezistory v případě, že na ně působí magnetické pole, zvětšují svůj odpor. Změna hodnoty závisí na použité technologii výroby součástky. Jsou vyráběny buďto jako feromagnetické AMR (Anizotropic Magneto Resistance) nebo polovodičové. Naproti tomu Hallova sonda pracuje na principu vzniku Hallova napětí. Velikost napětí U_H [V] je závislé

na velikosti řídicího proudu I_C [A], tloušťce d [m], Hallově činiteli R_H [m^3/As] a velikosti magnetické indukce B [T]. [2,5]

Senzory se používají pro detekci koncových poloh pohonů, nejčastěji u translačních pneumatických a hydraulických (jsou vloženy do drážek na pohonu Obr. 9.). V takovém případě mají senzory na svém výstupu pouze binární informaci. V pístním kroužku pneumatického válce jsou namontovány permanentní magnety, které jsou snímány přes jeho magnetickou stěnu viz. Obr. 8. Jak se píst blíží, stav výstupního signálu senzoru se změní. [2,5]



Obr. 8. Princip senzoru koncové polohy pneumatického válce [2]



Obr. 9. Použití senzoru SMT-/SME-8M na pneumatického válce od firmy FESTO

[21]

3.2 AKČNÍ ČLENY

Akčními členy jsou myšleny všechny prvky, které jsou určeny k použití zpracované informace. Jsou to tudíž prvky na konci řetězce jejího zpracování. Nastavují velikost akční veličiny, tj. realizují vstup do regulované soustavy nebo celého stroje. Jejich nejčastějšími zástupci jsou pohony. Pohon je obecný výraz, který nenaznačuje způsob generování pohybu a je obvykle vybaven dalšími prvky, jako zpětnou vazbou, výkonovým zesilovačem, indikátorem polohy a ručním ovládním a jeho součástí je také motorická jednotka. Motorická jednotka je obvykle vnímána jako elektromotor, avšak názvoslovná norma mluví i o pneumatických prvcích a hydromotorech. Výrazy pohon a motor je možné do jisté míry chápat jako synonyma. [2,5]

To jsou tedy zařízení, která převádějí signály z ústředních členů regulačního obvodu (členů pro zpracování informace) nebo programovatelných automatů či řídicích počítačů na požadovaný zásah (nejčastěji výchylku) konající požadovanou práci s požadovaným výkonem. [2,5]

3.2.1 Pneumatické akční členy

Pneumatické pohony (pneumatické válce) dělíme dle výstupního signálu na spojitě (proporcionální) a nespojitě (dvoupolohové) a podle dráhy pohybu jejich výstupní části na posuvné, kyvné a rotační. Některé konstrukce umožňují kombinovat posuvný i kyvný pohyb. Podle jejich chování v čase dělíme pohony na proporciální (výstupní poloha se spojitě – proporciálně – mění se spojitým ovládacím signálem) a astatické (výstupní poloha se na vstupní dvoustranný signál mění konstantní rychlostí) [2,5]

Při řízení procesů jsou na pneumatické pohony kladeny tyto základní požadavky:

- Přímočarý pohyb pro ovládní polohy regulačních ventilů a šoupátek v rozsahu řádově 10 až 100 mm (u šoupátek i více) při silách 100 N až 100 MN (u šoupátek méně)
- Úhlové vychýlení mechanismu pro ovládní škrťících klapky, žaluzií, kohoutů apod. s rozsahy úhlů 90° až 270° a kroutících momentů od 10 do 10 000 Nm.
- Otáčivý pohyb (až desítky otáčení) například pro ovládní šoupátek. [2,5]

Pneumatické pohony se vyznačují jednoduchým a robustním provedením, čistotou provozu, vysokou provozní spolehlivostí, velkými přestavnými silami (řádově až 10⁴ N) a poměrně

krátkými přestavnými dobami. Jsou vhodné do provozů s nepříznivým prostředím i nebezpečím požáru či exploze, a to vše při nízké ceně. Pneumatické motory (válce, membrány, vaky apod.) jsou při stejném výkonu mnohem rychlejší, lehčí a menší než elektrické. [2,5]

Rozdělení pohonů:

Pohony můžeme dělit podle vykonávaného pohybu na posuvný – přímočarý vratný – nebo na rotační – kyvný vratný s úhlem kyvu do 270° nebo na rotační pohyb. Posuvný pohyb je zapříčiněn pomocí pístových pohonů, pneumatických válců či membránových pohonů. Kyvný pohyb je realizován pomocí křídlových pohonů nebo pohonů s kombinací ozubeného pastorku a hřebene. Rotační pohyb se provádí pneumatickými pístovými motory, rotorem s výsuvnými lopatkami, turbínami atd. V kovárenství nacházejí uplatnění pístové pneumatické válce. [2,5]

Předností pneumatických pístových pohonů je jejich možný velký zdvih (řádově až metry), robustnost, jednoduchost a spolehlivost konstrukce, značné síly (desítky kN) nebo momenty (stovky Nm), malý zastavěný prostor a relativně nízká cena. Jejich nevýhodou je značné tření při pohybu (zhoršená přesnost přímého nastavení polohy), možná netěsnost. Životnost pneumatických pohonů výrazně ovlivňuje prostředí, ve kterém je pohon používán, ale životnost pneumatických pohonů pro ovládání se uvádí v km dráhy a překračuje 10 000 km. [2,5]

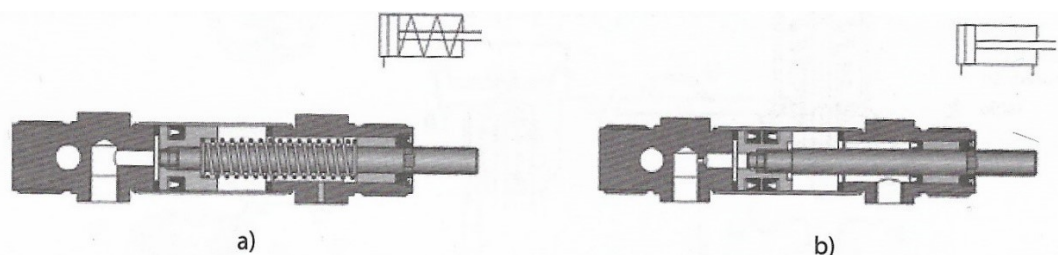
Sílu, kterou dokáže vyvinout pneumatický válec, určuje plocha pístu daná jeho průměrem, tlak vzduchu (6 bar) a odporové síly způsobené třením vedením a těsněním pístu a pístnice. Lineární pneumatické motory – pneumatické válce mají podle doporučení normy ISO 4393 a 478 R10 průměry od 2,5 do 320 mm. Konstrukčně mohou mít i nekruhový průřez (elipsa, obdélník – což zmenšuje nárok na prostor při montáži více válců vedle sebe a zamezuje otáčení pístnice). [2,5]

Pneumatické válce pro ovládání jsou většinou dvoupolohové pístnicové. U těchto pohonů se nedoporučuje radiální zatěžování, protože to snižuje životnost pohonu. Pouze u pohonů s průběžnou pístnicí je malé radiální zatížení možné. Je-li potřeba, je třeba radiální zátěž zachytit speciálním vedením nebo použitím ložiska pro zachycení axiální či radiální síly. [2,5]

Tyto dvoupolohové pneumatické válce pracují jako dvojčinné nebo jednočinné s pomocnou vratnou pružinou. Jejich zdvih je omezen stabilitou vratné pružiny viz. Obr. 10. Síla této pružiny je určena pouze pro bezpečný návrat do výchozí polohy a nesmí se zatěžovat

vnější silou. Vratná síla jednočinného motoru může být také realizována vnější silou, například tíhou nebo malým konstantním tlakem. Tyto pneumatické válce mají obvykle přívod vzduchu pouze na jedné straně válce [2,5]

Dvojčinné válce se uplatňují tam, kde musí mechanismus i při zpětném pohybu vykonávat práci. Při použití tohoto typu pneumatického válce musíme vzít do úvahy, že má při zasouvání menší sílu než při vysouvání. Přívod vzduchu je z obou stran válce. Dojezd pístu do koncové polohy je u některých provedení nastavitelně tlumen. Ve valné většině provedení je součástí pístu vestavěný magnet pro snímání polohy vnějším senzorem, nejčastěji indukčním. [2,5]



Obr. 10. a) Řez jednočinným pneumatickým válcem a jeho schematická značka, b) řez dvojčinným přímočarým pneumatickým válcem a schematická značka [2]

3.2.2 Rozváděče a ventily

Pneumatické obvody se skládají se signálních prvků například senzorů, řídicích prvků – rozvaděčů a výkonových prvků – pohonů. Rozvaděče slouží ke změně proudu energie stlačeného vzduchu, rozdělují jej nebo uzavírají. Ventily proto využíváme pro řízení tlaku a proudu. Dělí se podle funkce do základních skupin:

- Rozváděče – řídí směr proudu vzduchu, průchod signálu
- Ventily pro uzavření proudu vzduchu – uzavírají průtok vzduchu v jednom směru (logické ventily, zpětné ventily atd.)
- Ventily pro řízení tlaku proudu vzduchu – regulátory tlaku, přepouštěcí a pojistné ventily
- Ventily pro řízení průtoku vzduchu – škrtící ventily, převážně se používají k řízení rychlosti pneumatických pohonů [2,5]

3.2.2.1 Rozvaděče

Hlavní parametry rozvaděčů:

- Počet cest (počet vstupů a výstupů) a počet poloh jejich přestavení
- Způsob jejich ovládání (elektromagnetem, mechanicky, stlačeným vzduchem atd.)

Počet vstupních a výstupních kanálů se udává pomocí zlomku. První číslice udává počet cest a druhá počet poloh pro přestavení. Například označení rozvaděče 5/2 znamená pěti-cestný dvoupolohový ventil [2,5]

Monostabilní rozvaděče s pružinou 2/2 a 3/2 se ještě dělí podle stavu v klidové poloze tj., bez signálu, je-li v této poloze proud vzduchu zahrazen, označujeme jej jako uzavřený NC (normally closed), v opačném případě ho označujeme jako otevřený ventil NO (normally open). Dále se mohou rozvaděče dělit na bistabilní a monostabilní. Bistabilní rozvaděč nemá definovanou základní polohu. Ovládá se pomocí dvou nezávislých impulzů a zůstává v poloze, která je dána posledním impulzem. Monostabilní rozvaděč se po zrušení signálu okamžitě vrací do původní polohy (pružina). Ovládací signál musí mít délku odpovídající době požadovaného přestavení polohy. [2,5]

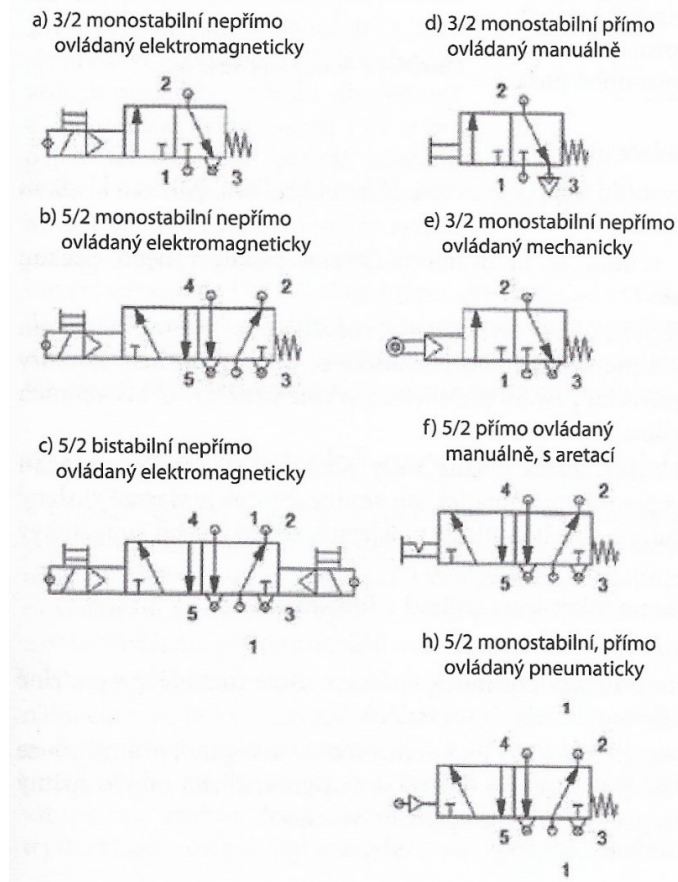
Podle způsobu ovládání dělíme rozvaděče na:

- Mechanicky ovládané – poloha ventilu je přestavována dříkem, kladkou, pákou s kladkou apod.
- Manuálně ovládané – poloha ventilu je určována tlačítkem, pedálem nebo páčkou a s aretací polohy nebo bez aretace
- Vzduchem ovládané – šoupátko vzduchem ovládaného rozvaděče se přesouvá tlakem pneumatického signálu, případě monostabilního rozvaděče se po odvzdušnění komory pro ovládání šoupátko vrátí do původní polohy působením vratné pružiny, u bistabilních rozvaděčů je přívod řídicího signálu z obou stran
- Elektricky ovládané – kotva elektromagnetu, která ovládá směr působení stlačeného vzduchu přímo nebo je ovládán nepřímo s pomocí pneumatického zesilovače, jedná se v podstatě o vložený malý rozvaděč 3/2, nejčastěji sedlový nebo šoupátkový rozvaděč [2,5]

Podle konstrukce dělíme rozvaděče na sedlové a šoupátkové:

- Sedlové rozvaděče uzavírají průtok vzduchu deskou nebo dříkem

- Šoupátkové rozváděče pracují na principu posunu šoupátka v tělese rozváděče v podélné ose nebo se otáčejí kolem osy u pákou ovládaných rozváděčů [2,5]



Obr. 11. Schematické značky rozvaděčů [2]

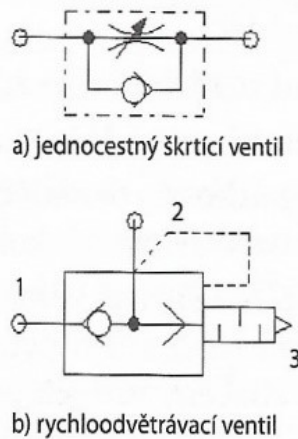
3.2.2.2 Ventily

Ventily rozdělujeme na:

- Jednocestné
- Rychloodvzdušňovací

Jednocestné škrťící ventily mají za úkol řídit rychlost pneumatického válce tím, že regulují průtok pouze v jednom směru. Při průchodu vzduchu v opačném směru se tlakem vzduchu otevře zpětný ventil a stlačený vzduch proudí plným průřezem sedla zpětného ventilu, schématická značka jednocestného ventilu je zobrazena na Obr. č.12. (a) [2,5]

Rychloodvzdušňovací ventily se montují, pokud okolí dovolí, co nejbližší k pneumatickému válci. Velký průřez umožní rychlé odvzdušnění komory pneumatického válce a tím i dosažení velké rychlosti pístu, schématická značka rychloodvzdušňovacího ventilu je zobrazena na Obr. č. 12. (b) [2,5]

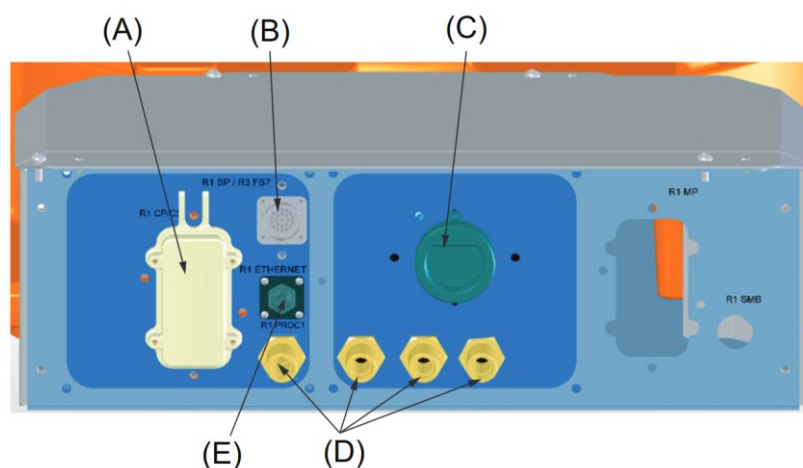


Obr. 12. Schematické značky [2]

3.3 Vedení kabeláže

Anglický pojem „Dress pack“ můžeme v českém jazyce chápat jako vedení kabeláže nezbytné pro ovládání a pohon daného stroje, popřípadě pro příjem zpětné vazby ze snímačů. Vedení kabeláže musí zajistit bezpečnou manipulaci s kabeláží, kabely nesmí být během pohybu stroje poškozeny, nesmí být překročen maximální úhel zkroucení [16]

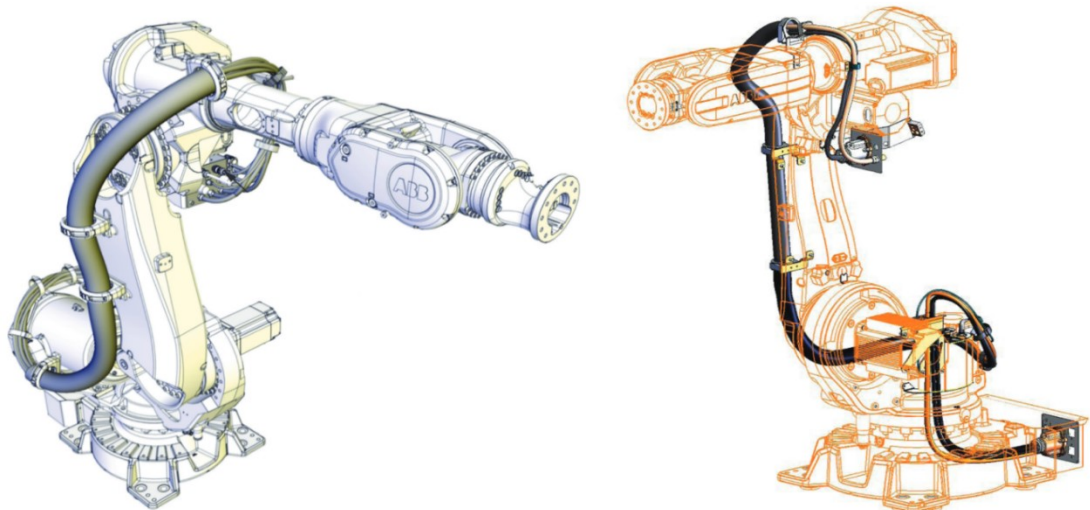
Kabeláž spojená s napájením robotu a vším potřebným pro samotný pohyb robotu je vedení uvnitř ramen, která jsou dutá z důvodu snížení hmotnosti. Všechny potřebné zásuvky a ventily pro přívod hydraulického oleje, popřípadě stlačeného vzduchu, jsou umístěny na patici robotu viz. Obr. č. 13. [16]



Obr. 13. Patice robotu ABB IRB 6640, A – R1.CP/CS konektor, B – R1.SP/FB7 konektor, C – R1 svařovací konektor, D – R1.PROC 1-4 konektor, E – R1.ETHERNET konektor. [16]

Ramena robotu mohou být dále opatřena další nezbytně nutnou kabeláží pro výkon práce, na kterou je robot použit, tyto kabely nesouvisí s vlastním pohonem robotu, ale jedná se o dodatečné vybavení. [16]

Použití různého materiálu a stupně ochrany kabeláže se může pro různé aplikace lišit, například u robotu sloužícího ke svařování bude mít vedení kabeláže z odolnějších materiálů, než u robot sloužícího pouze pro manipulaci s předměty (většinou je hlavní faktorem čistota prostředí a teplota, ve kterém se daný proces nachází). Kovářenský průmysl spadá do těžkého průmyslu a podmínky, se kterými se robot setkává, jsou značně nepříznivé, je zde zvýšená teplota a prašné prostředí z důvodu tvorby okují na pěchu/výkovku. Prach se usazuje na kluzných a pohyblivých částech robotu, a může způsobovat předčasný servisní interval. [16]



Obr. 14. Příklady vnějšího vedení kabeláže [16]

Různé druhy aplikací manipulátorů si vyžadují různé druhy osazení vedení kabeláže. Existuje několik druhů vedení kabeláže, kterým můžeme manipulátor osadit. Vedení kabeláže může být integrováno uvnitř manipulátoru nebo může být na vnější straně na ramenech viz Obr. 14.

Rozlišujeme:

- Vnitřní vedení – pro aplikace s mnoha složitými pohyby kloubů manipulátoru
- Vnější vedení se stahovacím ramenem – doporučeno pro výrobu kde jsou omezené možnosti pohybu kloubů manipulátoru.
- Vnější vedení – tento typ se doporučuje tam, kde je menší složitost pohybu v kloubech, pouze pro nenáročné aplikace, individuální aplikace. [16]

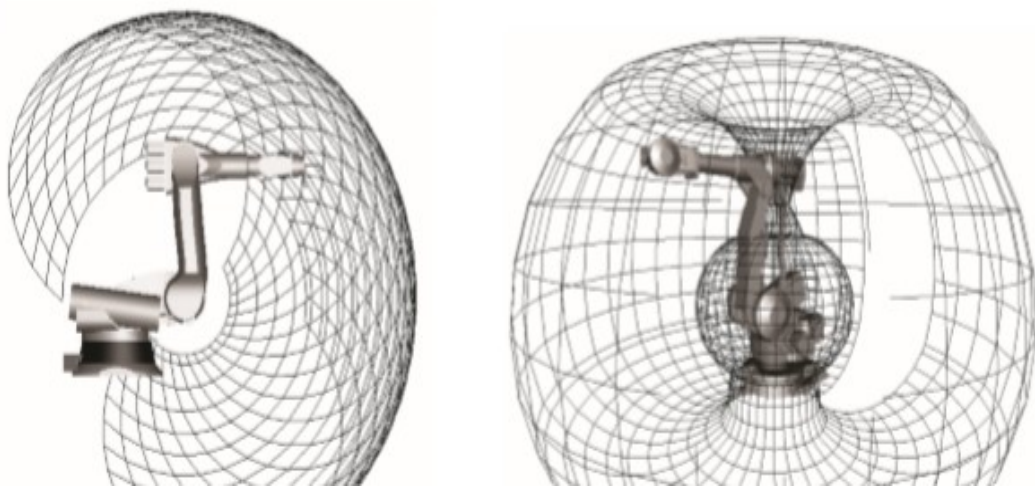
Při použití vnějšího vedení musíme počítat s omezením maximálních manipulačních vzdálenosti manipulátoru. [16,17]

Manipulátor/robot lze opatřit také úplným ochranným obalem, který zahaluje spodní i horní pohyblivé části, při volbě této ochranné pomůcky musí být brán zřetel na teplotu okolí, ve kterém se bude manipulátor/robot nacházet. Ochranný materiál může způsobit nedostatečnou cirkulaci vzduchu, ta zapříčiní zvýšení teploty uvnitř ochranného povlaku samotným chodem stroje a může působit spíše nepříznivě na chod stroje. Použití těchto ochranných pomůcek je proto specifické, jejich správná aplikace však může oddálit servis stroje a výrazně prodloužit životnost stroje. [16,17]

4 ANALÝZA PODKLADŮ POTŘEBNÝCH PRO NÁVRH ROBOTU

4.1 Velikost operačního prostoru

Jedná se o důležitý parametr, který udává dosah manipulace robotu, tento dosah se mění v závislosti na tíze a členitosti povrchu manipulovaného objektu. Při optimalizaci pracoviště se musí brát ohled na velikost operačního prostoru robotu a celkovou velikost pracoviště, aby nedocházelo ke kolizi s ostatními periferiemi pracoviště. Z toho důvodu je nutné omezit operační prostor robotu softwarovým omezením. [1,8]

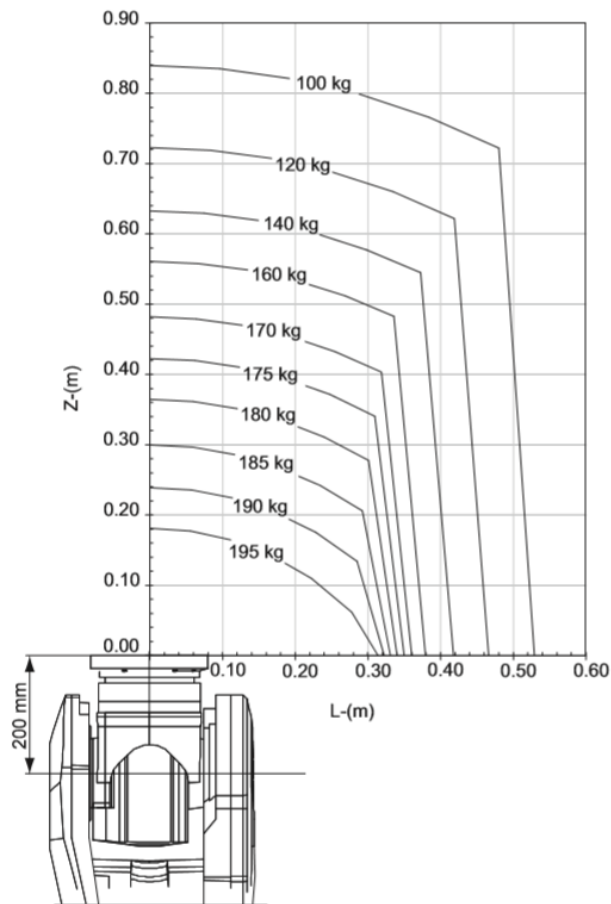


Obr. 15. Velikost operačního prostoru (zleva robot od firmy KUKA, vpravo ABB) [1]

4.2 Nosnost robotu

Nosnost robotu je jeden ze základních a rozhodujících faktorů při výběru. Obecně lze roboty rozdělit do skupin dle maximálního zatížení na lehké, střední, těžké a velmi těžké. S tímto rozdělením se mění i maximální nosnost, velikost a hmotnost robotu. Kovářenský průmysl spadá do průmyslu těžkého, a proto se zde vyskytují nejčastěji roboty ze skupiny těžkého zatížení, tato skupina má nosnost od 100 kg do 235 kg. Je snaha najít při výběru robotu ideální poměr maximální nosnosti robotu ku hmotnosti manipulovaného objektu. Pokud je robot tzv. „předimenzovaný“ a manipulované těleso má hmotnost odpovídající únosnosti nižší skupiny únosnosti dochází ke zbytečnému prodražení z hlediska spotřeby elektřiny a nákladů s tím spojených. [8,16]

Maximální únosnost se nejčastěji počítá od osy příruby, ve které je uchyceno chapadlo.



Obr. 16. Změna maximálního dosahu v závislosti na vzdálenosti těžiště nástroje od osy příruby tzv. LOAD DIAGRAM, robot ABB IRB 6640 [16]

4.3 Rychlost a zrychlení

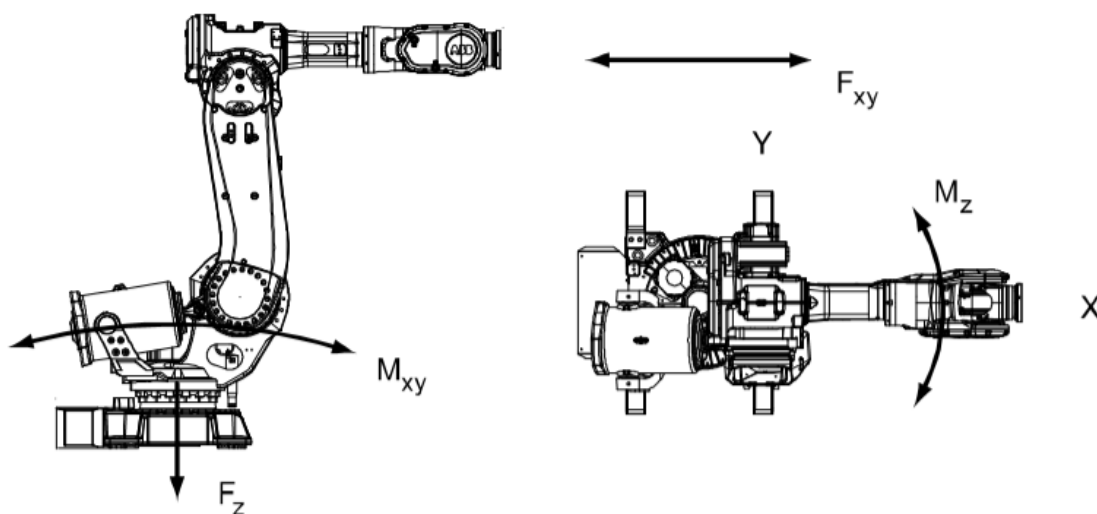
Hodnoty rychlosti otáčení a zrychlení se udávají pro každou osu zvlášť. Obvykle platí pravidlo, že menší roboty mají úhlové rychlosti a maximální natočení jednotlivých os větší než roboty větší. Toto omezení je dáno velkými dynamickými zatížením při pohybu vysokými úhlovými rychlostmi. [8]

4.4 Montážní prostor

Při výběru vhodného robotu je také nutnost dbát na zajištění správného místa pro uchycení do podlahy, popřípadě stropu. Důležitý faktor je tedy statika a únosnost podlahy, pokud je robot umístěn v patře tak i statika a únosnost stropní konstrukce. Na Obr. č. 17. jsou zobrazeny síly a momenty působící na místo uchycení v podlaze, v každé ose je maximální možná velikost síly a momentu odlišná. Příklady maximálního zatížení v jednotlivých osách jsou uvedeny v tab. č. 2. [8,16]

Tab. 2. Požadavky pro uchycení do podlahy ABB IRB 6640 [16]

Působící síla/moment	Provozní zatížení	Maximální přípustné zatížení
Síla xy (F_{xy})	8,5 kN	20,4 kN
Síla z (F_z)	15 9 kN	15 20 kN
Moment xy (M_{xy})	20,1 kNm	45,2 kNm
Moment z (M_z)	5,1 kNm	10,6 kNm



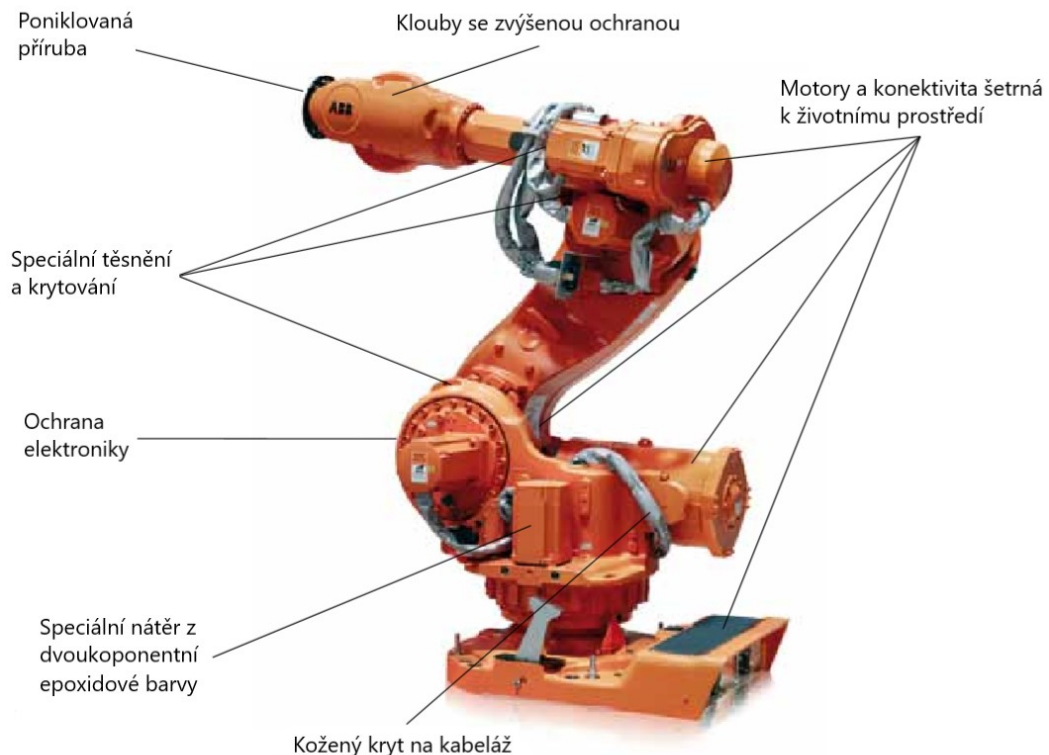
Obr. 17. Síly a momenty působící na uchycení v podlahy [16]

4.5 Kinematika, tuhost a přesnost polohování

Výsledná tuhost a přesnost polohování závisí na kinematické struktuře. Tyto struktury se dělí na sériový kinematický mechanismus a paralelní kinematický mechanismus. Valná většina sériově vyráběných robotů pracujících v sériově výrobě jsou založeny na principu sériového řazení rotačních a translačních kinematických dvojic. Přesnost na koncovém členu závisí na přesnosti jednotlivých kinematických dvojic. Dosahovaná přesnost se pohybuje v řádech desetin milimetrů (opakovatelná přesnost robotů v kovárenství +/- 0,2mm). Přesnost koncového členu lze dosáhnout v řádu setin milimetru při použití speciální konstrukce robotu, který je osazen šesti, popřípadě třemi vzpěrami nazývanými hexapod a tripod. [1,8]

4.6 Normy splňující sériové roboty od firmy ABB

Tato kapitola se zabývá normami, které splňují (a musí splňovat všechny) sériově vyráběné roboty od značky ABB, zaměření na značku ABB je z důvodu použití této značky v Kovárně VIVA a.s. Všechny sériově vyráběné roboty ABB splňují firemní normu ochrany nazývanou FoundryPlus. [22]



Obr. 18. FoundryPlus robot ochrana od Firmy ABB [22]

Součástí normy FoundryPlus je norma udávající stupeň ochrany (stupeň krytí). Stupeň krytí sériově vyráběných robotů splňuje normu IP67 dle normy ČSN EN 60 529.

První číslice normy (6) udává, že zkoušené těleso musí vydržet vniknutí zkušební drátu o průměru 1,0 mm při zachování přiměřené vzdušné vzdálenosti, zkoušené těleso musí zůstat prachotěsné. [9]

Druhá číslice normy (7) udává odolnost zkoušeného tělesa vůči vodě. Pokud je druhá číslice 7, norma říká, že zkouška se provádí úplným ponořením zkoušeného tělesa do vody, ve vodní nádrži 0,15 metrů nad horní částí zkoušeného tělesa a 1 m nad spodní částí zkoušeného tělesa, kdy teplota vody se neliší od teploty zkoušeného vzorku o více než 5 K. Zkoušené těleso musí vydržet po dobu 30 minut bez poškození. [9]

Sériové roboty ABB dále splňují normu třídy čistoty 5 vycházející z normy ČSN EN ISO 14644-1, která definuje pojem čistý prostor jsou uvedeny v Tab. č. 3. Čistý prostor je prostor s definovanou kvalitou vnitřního prostředí vyjádřenou počtem částic pevného aerosolu o daných velikostech částic. Dle normy ČSN EN ISO 14644-1 jsou čisté prostory rozděleny do 9 tříd. [10]

Tab. 3. Maximální počet částic ve vzduchu pro třídu 5 dle normy ČSN EN ISO 14644-1 [10]

Třída dle Normy	Maximální počet částic ve vzduchu					
	Velikost částic					
	0,1 μm	0,2 μm	0,3 μm	0,5 μm	1 μm	5 μm
Třída 5	100 000	23 700	10 200	3 520	832	29

5 NÁVRH CHAPADLA

Proces návrhu samotného chapadla musí zohlednit všechny faktory vstupující do procesu, jako je například typ robotu, výběr materiálu pro výrobu chapadla, uchopitelnost manipulovaného objektu, teplota tělesa, se kterým je manipulováno atd. Při návrhu vhodné konstrukce je snaha použít co nejvíce normalizovaných prvků pro snadnější výrobu. [8,31,32]

Obecně se dá při návrhu chapadla postupovat dle následující posloupnosti operací:

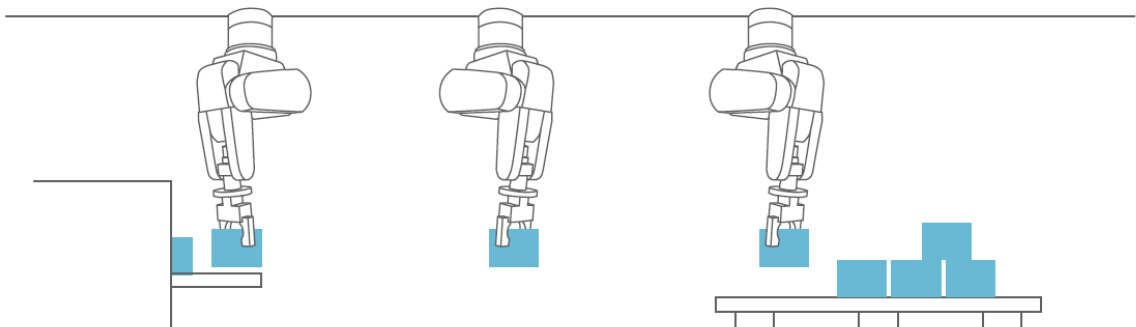
- Stanovení geometrických a fyzikálních rozměrů manipulovaného objektu
- Návrh trajektorie pohybu manipulovaného objektu
- Zjištění všech sil působících na objekt v průběhu procesu manipulace
- Návrh typu uchopovacího elementu
- Stanovení potřebné síly pro uchopení manipulovaného objektu
- Další požadavky (například přesnost)
- Samotný výběr chapadla [8,31,32]

5.1 Manipulovaný objekt

Manipulovaným objektem, též objektem manipulace, rozumíme jakýkoliv předmět, který chceme přemístit z bodu A do bodu B. V průmyslu se nejčastěji jedná o výtřísky, výkovky, obrobky, popřípadě sestavu části potřebnou přesunout na jiná pracoviště. [5,8,31,32]

Z pohledu přemístění manipulovaného tělesa se celkový proces dělí do 3 hlavních částí, kdy každá z těchto fází má své specifické podmínky a požadavky na chapadlo: [8,31,32]

- Uchopení
- Vlastní manipulace s přemísťovaným tělesem (přesun)
- Umístění do požadované pozice [8,31,32]



Obr. 19. Proces přemístění manipulovaného tělesa, zprava doleva [8]

Pro zajištění bezpečné manipulace a pevného uchopení je potřeba dokonale znát povrch manipulovaného tělesa ještě před samotnou konstrukcí čelistí chapadla. [8,31,32]

V tab. č. 4. jsou zobrazeny základní informace o manipulovaném předmětu. Zjednodušeně jsou potřeba znát rozměry a materiál, ze kterého je přenášející materiál vyroben. [8,31,32]

Tab. 4. Základní informace o manipulovaném předmětu [32]

Rozměry	Rozměry předmětu (délka, výška, šířka, tloušťka, průměr)
	Geometrický tvar (krychle, kvádr, válec, kužel)
	Těžiště
	Rozměry v místech pro uchopení
Materiál	Mechanické a fyzikální vlastnosti
	U železných materiálů jejich magnetické vlastnosti
	Teplota
	Tepelná a elektrická vodivost

5.2 Stanovení bodu působení úchopné síly

Důležitý je bod působení úchopné síly, popřípadě úchopná plocha. Čím větší je úchopná plocha, tím lepší je bezpečnost uchopení a bezpečnost práce, zvyšuje se také efektivnost a můžeme zvýšit rychlost robotu, aniž by uchopené těleso nevytlačilo. [31]

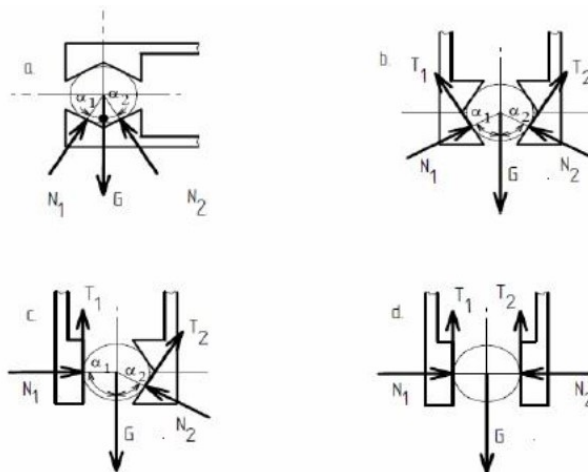
Důležitý poznatek pro správné a bezpečné uchycení tělesa je znalost těžiště. Pokud těleso není uchyceno co nejbližší těžišti dochází ke vzniku nežádoucích přídavných sil a momentů působících na uložení v tělese uchopovací hlavice. [31]

Stanovení ideálního místa pro uchopení v praxi nebývá vždy jednoduchým úkolem. Může nastat případ, kdy předmět potřebný k uchycení má složité tvary a těžiště leží mimo osu úchopné hlavice. Tento prostor je ale limitován pouze v určitém rozsahu. Tento rozsah je dán poměrem délky ramene čelisti k vyosení těžiště předmětu v závislosti na tlaku vzduchu. Přesnější informace o tomto prostoru udává výrobce v technické dokumentaci za pomoci diagramu. [31]

5.3 Výpočet úchopové síly

Při manipulaci s tělesem upnutým v čelistech je nutné zajistit, aby po celé trajektorii pohybu, z místa A do místa B bylo zaručeno bezpečné udržení manipulovaného tělesa v úchopných prvcích hlavice. K tomu nám slouží výpočet úchopové síly. [31]

Výpočet úchopových sil závisí na tvaru a na způsobu držení. Na Obr. 20. jsou znázorněny nejčastější případy uchopení objektu. [31]



Obr. 20. Nejčastější příklady uchopení objektu [31]

Z Obr. 20 je patrné že nejnevhodnější varianta úchopu je varianta D. Výpočet úchopové síly značíme U a pro tuto variantu je následující. [31]

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

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

Síla U je označována jako síla kritická a je stanovena z výslednice všech vnějších sil působících na objekt manipulace. [31]

K vypočítané síle se musí přidat rezerva, která odpovídá nejistotě ve stanovení součinitele tření f a velikosti působících sil při samotném provozu robotu. Tato rezerva je vyjádřena koeficientem bezpečnosti k . [31]

Při horizontálním pohybu se zrychlením a_h a úhlem α , který je zároveň úhel sklonu dotykových ploch čelistí, se úchopová síla vypočítá dle vzorce: [31]

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

Pokud při manipulaci je zahrnuta i rotace efektoru v horizontální rovině a známe úhlovou rychlost rotace ω , úhlové zrychlení ε a vzdálenosti osy rotace k ose objektu manipulace úchopová síla se vypočítá následovně: [31]

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

Společný vztah pro působení celkové úchopové síly lze tudíž vyjádřit dle vzorce: [31]

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

6 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Hlavním cílem této práce je konstrukční návrh chapadla pro podélné uchopení polotovarů.

Teoretická část diplomové práce se zabývá rešerší problematiky kování, robotiky a automatizace, robotickými chapadly se zaměřením na kovárenství a těžký průmysl, automatizačními prostředky používanými v kovárenství, analýzou podkladů potřebných pro návrh robotu a problematikou procesu návrhu chapadla.

V praktické části je cílem vytvořit funkční model chapadla dle požadavků zadavatele (Kovárna VIVA a.s.) pomocí obecného konstrukčního procesu. Tento konstrukční proces zahrnuje požadavkový list, koncepční návrhy, konstrukci jednotlivých částí chapadla, sestavu, ověření konstrukčního návrhu pomocí výpočtů a počítačových simulací.

Součástí cílů diplomové práce je vypracování výkresové dokumentace navrženého řešení.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

7 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU

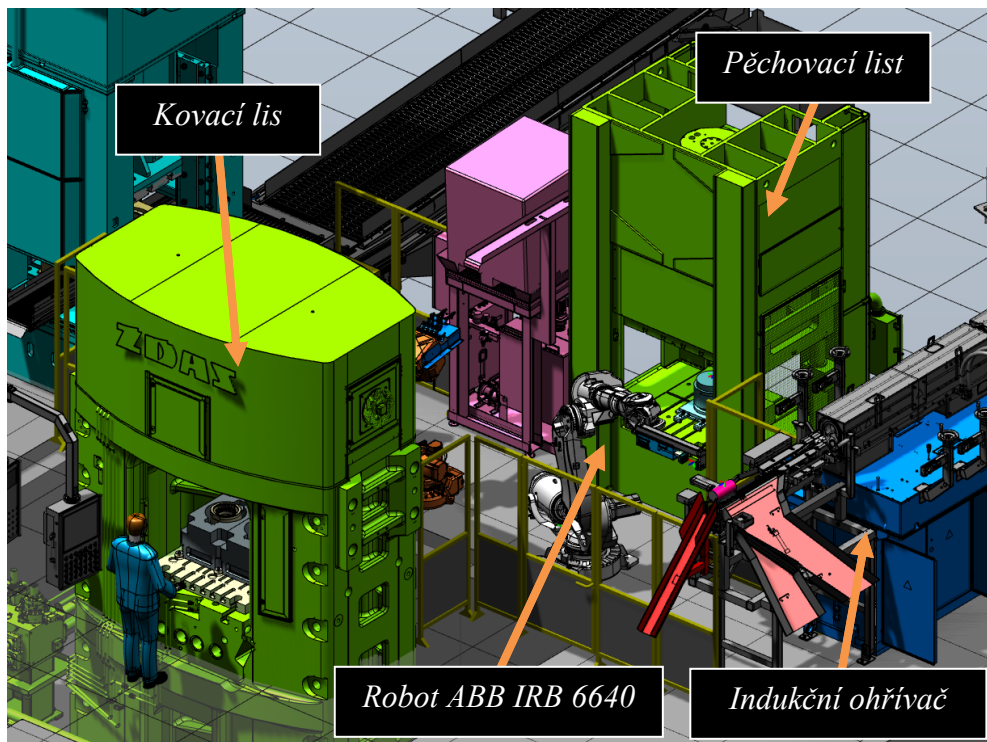
Tato část se zabývá popisem stávajícího řešení a popisem jednotlivých komponent kovací linky.

7.1 Popis procesu

Robot je za pomoci příruby pevně spojen s chapadlem, které musí obsloužit kovací linku, tato linka se skládá z následujících tří strojů:

- Indukční ohříváč
- Pěchovací lis
- Kovací lis

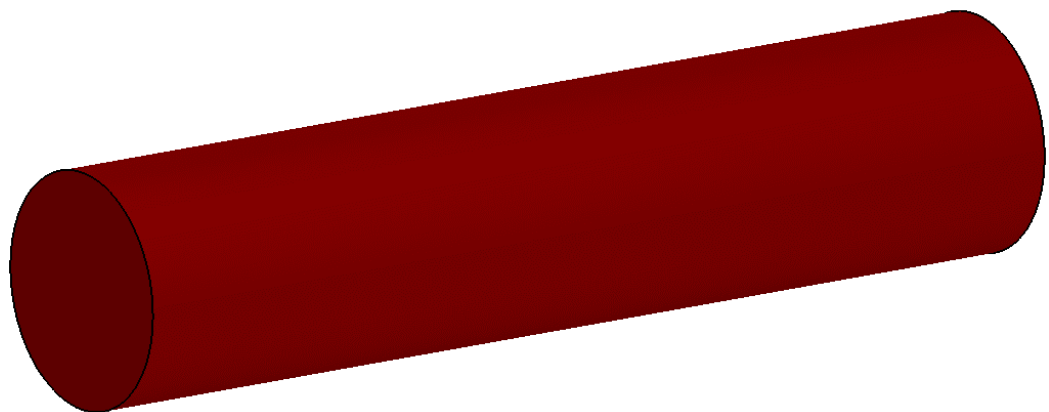
Polotovary jsou dopraveny pomocí vibračního dopravníku do ohříváče, kde proběhne ohřev za pomoci indukčního ohříváče na požadovanou kovací teplotu 1200 °C a dále je dopravníkem, který je součástí indukčního ohříváče, dopraven k odběru chapadlem robotu pro další zpracování. Robot ABB IRB 6640 pomocí chapadla odebere předehřátý polotovary a umístí ho do pěchovacího lisu, který dá předehřátému polotovaru částečný, zjednodušený, tvar výsledného výrobku. Po vytvoření pěchu odebere chapadlo pěch a vloží jej do kovacího lisu pro další zpracování. Vizualizace celé linky („layout“) je zobrazena na Obr. č. 21.



Obr. 21. Rozložení linky „layout“

7.1.1 Indukční ohříváč

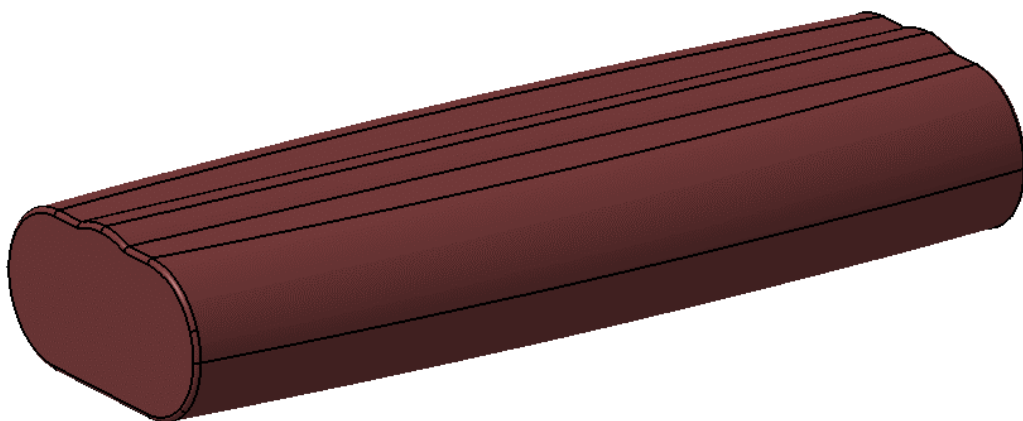
Ohříváč je určen k indukčnímu ohřevu ocelových přířezů kruhového průřezu (náš případ viz. Obr. 22. na kovací teplotu. Vstupní mechanizace umožňuje buď plně automatické zakládání studených přířezů nebo ruční zakládání. To se využívá na krátké přířezy, které není možné v automatickém režimu správně orientovat. Ohříváč může fungovat v automatickém i manuálním režimu. Teplota ohřátého přířezu je snímána bezdotykovým měřičem teploty. Dle hodnoty teploty je regulován výkon ohříváče a je řízena funkce třídičky ohřátých přířezů. Řízení ohříváče je volně programovatelným logickým automatem (PLC). [24]



Obr. 22. polotovaru ohřátý v indukčním ohříváči

7.1.2 Pěchovací lis

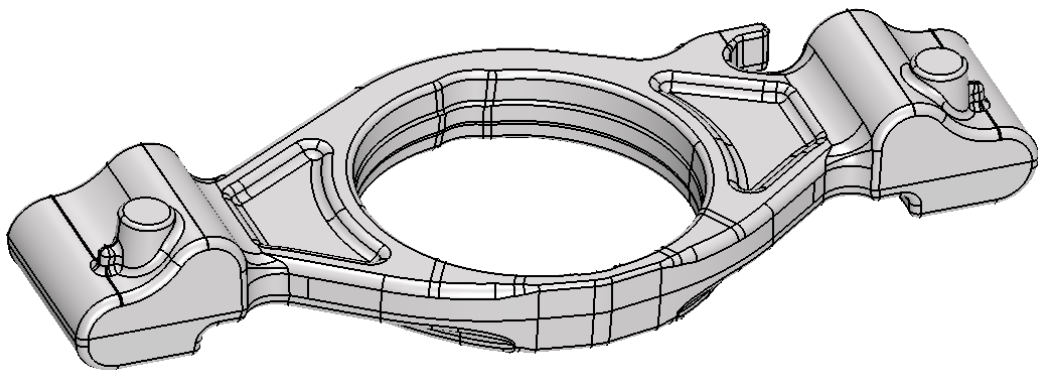
Jedná se o vřeteno-hydraulický lis sloužící pro předkování polotovaru do pěchu. Tato operace je zařazena do procesu kování z důvodu zjednodušení tvaru polotovaru a přiblížení výslednému tvaru výkovku. Výška zdvihu lisu je 300 mm. Grafické zobrazení pěchu viz. Obr. 23.



Obr. 23. Tvar polotovaru po operaci pěchování (pěch)

7.1.3 Kovací lis

Jedná se o vřeteno-hydraulický kovací lis. Na tomto typu zařízení se nejčastěji kovou zápuskové výkovky do jednotlivé hmotnosti v rozmezí od 5 do 50 kg, a to z konstrukčních ocelí, slitin hliníku, mědi, vysoce legovaných ocelí, nerezových ocelí a speciálních materiálů jako je titan (prvek) a Nimonic. Zápuskové kování na kovacím lisu zaručuje přesné výkovky s minimálním kovářským přídavkem k finálnímu tvaru a mnohonásobný stupeň předkování. [25]



Obr. 24. Výsledný výkovek

7.2 Stávající řešení

Stávající řešení chapadla je již zastaralé koncepce a je nevyhovující z důvodu nemožnosti otočení polotovaru mezi přechováním a samotným kovááním o 90°. Stávající koncept uchopuje polotovar za průměr, z tohoto důvodu zadavatel vyslovil požadavek nahradit stávající koncept za chapadlo umožňující uchopení podélně. U nového konceptu je snaha ohřátý polotovar z induktoru uchopit za podélnou stranu již v první fázi, před vložením do přechovacího lisu.

7.3 Požadavek zadavatele na nové konstrukční řešení chapadla

Nové konstrukční řešení musí splňovat všechny bezpečnostní a pevnostní požadavky jako chapadlo původní. Další požadavek zadavatele je, aby vývoj nového chapadla probíhal obecným konstrukčním procesem. Obecný konstrukční proces zahrnuje požadavkový list, koncepční návrhy, konstrukci jednotlivých částí chapadla, sestavu, pevnostní analýzu a výkresy.

7.4 Robot ABB IRB 6640-185/2.8

Pracoviště je osazené robotem od firmy ABB. Firma ABB je předním dodavatelem průmyslových robotů a služeb s automatizací spojených. Firma ABB působí po celém světě a počet instalací každoročně stoupá.



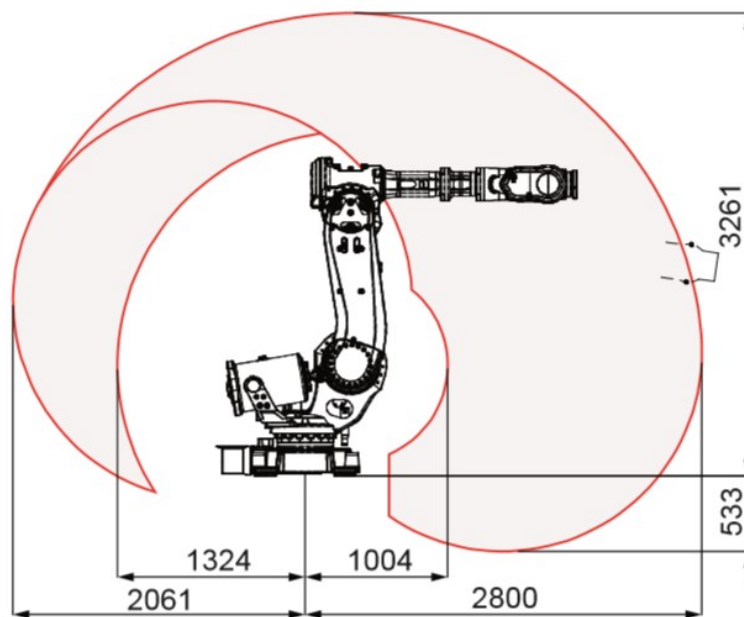
Obr. 25. ABB IRB 6640-185/2.8 [17]

7.4.1 Parametry robotu

Všechny důležité informace pro výběr správné řady robotu, popřípadě velikosti a únosnosti lze získat z katalogového listu, který je dostupný na webových stránkách výrobce, v tomto případě na firemním webu firmy ABB. Tyto parametry jsou přehledně uvedeny v Tab. č. 5.

Tab. 5. Vybrané informace z katalogového listu [17]

Katalogová specifikace ABB IRB 6640-185/2.8	
Dosah [m]	2,8
Nosnost [kg]	185
Počet os	6
Rozměry základny [mm]	1107x720
Výška [mm]	2240
Váha [kg]	1310



Obr. 26. Pracovní rozsah ABB IRB 6640-185/2.8 [17]

Na Obr. č. 26. je zobrazen maximální pracovní dosah robotu od firmy ABB řady IRB 6640 v konfiguraci 185/2.8. Tento prostor je ohraničen maximálním možným dosahem i limitem pro vlastní kolizi robotu samého se sebou.

8 KONSTRUKČNÍ PROCES

Podle požadavků zadavatele by měl proces konstrukce chapadla být podmíněn obecným konstrukčním procesem. Zadavatel vyslovil vstupní požadavky a okrajové podmínky. Tyto předem zadané vstupní parametry jsou uvedeny v požadavkovém listu. Po stručném sepsání požadavkového listu se začaly skicovat první návrhy a možná řešení. V průběhu konstrukce se vyskytly nové nápady a problémy, každý jednotlivý problém či nápad byl po konzultaci se zadavatelem proveden či připsán na zmíněný požadavkový list, až se došlo k výslednému řešení.

V Tab. č. 6. jsou vypsány jednotlivé rozměry polotovarů, se kterými musí být konstruovaný efektor schopen manipulovat. Maximální a minimální hodnoty jsou uvedeny přímo v tabulce a následně shrnuty na maximální možnou variantu a minimální možnou variantu. Na oba tyto okrajové případy je následně navrhované chapadlo konstruováno.

Tab. 6. Základní rozměry polotovarů

Označení výkovku	Průměr [mm]	Délka [mm]	Hmotnost [kg]
1	100	415,7	25,6
2	100	420	25,9
3	100	354,4	21,85
4	100	394	24,5
5	85	447,8	19,9
Maximální rozměr polotovaru	100	447,8	25,9
Minimální rozměr polotovaru	85	354,4	19,9

8.1 Požadavkový list

V Tab. č. 7. jsou uvedeny čtyři základní parametry, na které se při konstrukci nového chapadla musí brát ohled. Tyto jednotlivé parametry jsou dále rozepsány na konkrétní požadavky, které se musí bezpodmínečně splnit, anebo se jedná pouze o přání, která není podmínkou splnit. Jedná se o podmínky na funkci a funkční parametry, ekonomii, životnost a ergonomii konstruovaného efektoru zadané zadavatelem diplomové práce.

Tab. 7. Požadavkový list

POŽADAVKOVÝ LIST		
Požadavek	Podmínka	Přání
Funkce a funkční parametry		
Odebrat polotovary z induktoru	X	
Odebrat pěch	X	
Pokryt celkový rozsah objektů manipulace	X	
Zajistit bezpečnou manipulaci	X	
Vyrobitelnost pouze konvenčními metodami	X	
Přesnost	X	
Nepřekročit maximální nosnost robotu (dle zátěžového diagramu)	X	
Pohyblivost pouze jedné čelisti, druhá pevná	X	
Zajistit tuhou konstrukci (maximální deformace 1 mm.)	X	
Přesnost uchopení	X	
Možnost otočení efektoru v průběhu manipulace o 90°	X	
Pneumatický pohon s co nejmenším zdvihem	X	
Podélné uchopení polotovaru	X	
Volit přívodní hadice o vnějším průměru 10 mm	X	
Chapadlo nesmí kolidovat s pracovním prostorem lisu 320	X	
Co nejmenší šířka spodní, otočné části	X	
Ekonomie		
Maximální cena 120 000 Kč	X	
Nízké náklady na provoz		x
Životnost		
Snadná údržba		x
Vyměnitelné čelisti	X	
Odolnost vůči zvýšeným (kovacím) teplotám	X	
Životnost po celou dobu série		x
Odolnost vůči prachu, grafitu	X	
Ochrana pomocí krytu	X	
Bezúdržbovost		x
Ergonomie		
Snadná montáž na přírubu robotu	X	
Rychlá výměna		x
Snadná výměna komponent	X	
Odstranit ostré rohy po předchozích výrobních operacích	X	
Snadná výměna uchopovacích čelistí	X	

8.2 Morfologická matice řešení

Morfologická matice zahrnuje možné varianty řešení při konstrukci a výběru správných komponent při vývoji prvku. V Tab. č. 8. jsou zaznamenány všechny uvažované varianty řešení. Výsledná vybraná varianta je zvýrazněna zelenou barvou.

Tab. 8. Morfologická matice řešení

Problém	Řešení č. 1	Řešení č. 2	Řešení č. 3	Řešení č. 4
Profil nosné konstrukce	Jackel profil	U profil	I profil	O profil
Upínací válec (výrobce)	Festo	Stránský a Petržík	SMC	Stasto
Pohon upínacího válce	pneumatický	elektrický	-	-
Zdvih upínacího válce [mm]	140	150	160	170
Průměr pístu upínacího válce [mm]	50	63	80	100
Pohon kyvného válce	pneumatický	elektrický	-	-
Kyvný válec (výrobce)	Festo	SMC	Stasto	Stránský a Petržík
Průměr kyvného válce [mm]	50	63	80	100
Úhel kyvu [°]	45°	90°	120°	180°
Šířka U profilu [mm]	80	100	120	140
Ložisko	radiální	axiální	kuželíkové	válečkové
Šrouby	válcová hlava	šestihranná hlava	zápustná hlava	závrtný šroub
Nástrčné šroubení	poniklovaná mosaz	plastové	-	-
Hadice rozvodu vzduchu	plastové	měděné	-	-

9 NÁVRH CHAPADLA PRO PODÉLNÉ UCHOPENÍ POLTOVARU

Tato část se zabývá návrhem koncepce chapadla pro podélné uchopení polotovaru, následným vytvořením modelu a nakupovanými komponenty.

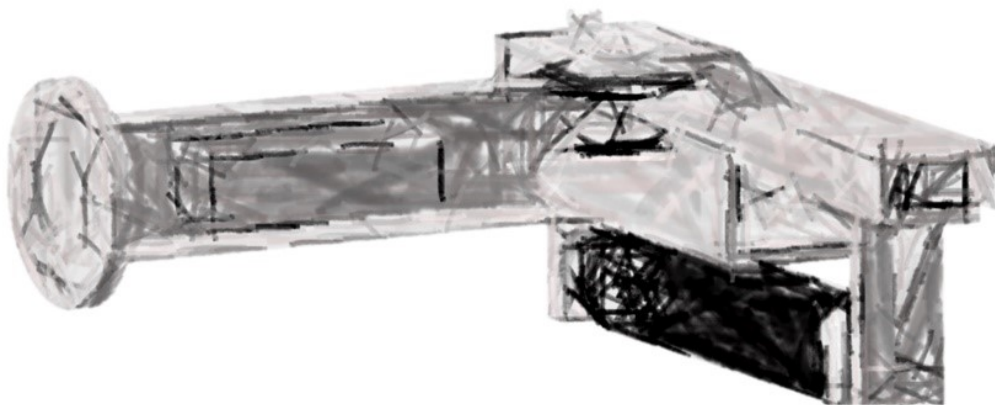
9.1 Návrh koncepce

Byly vytvořeny 3 základní koncepční řešení, kterými se vývoj chapadla mohl dále vyvíjet, tyto řešení jsou zobrazeny na Obr. č. 27, 28, 29.



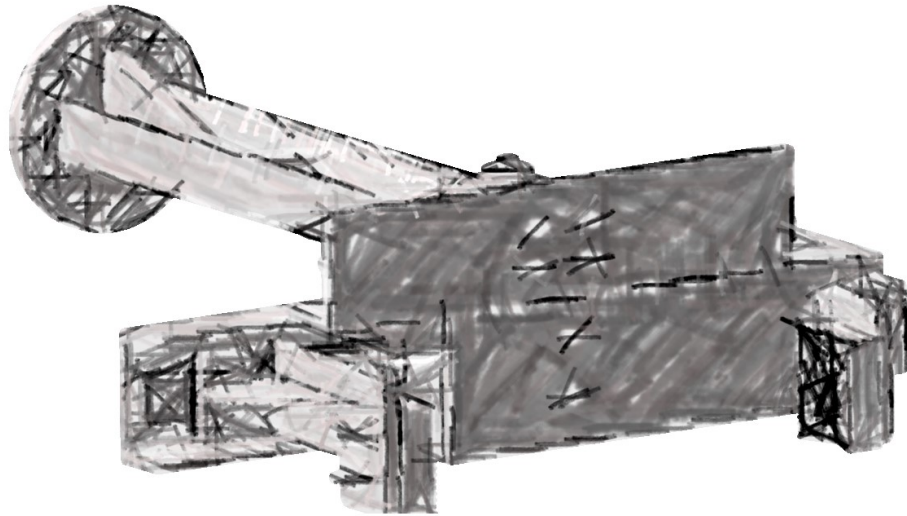
Obr. 27. Koncepční řešení č. 1.

Koncepce číslo 1 vychází ze stávajícího řešení, ale z důvodu velké velikosti ramene a velikosti pneumatického prvku nebyl koncept dále rozvíjen.



Obr. 28. Koncepční řešení č. 2.

V koncepčním řešení číslo 2 byla délka ramene značně snížena použitím pneumatického prvku nad výkovkem a proces upínání probíhá při zasouvání pneumatického válce. Toto řešení sice snížilo velikost ramene, ale značně se zvýšila tepelná zátěž na pneumatický válec a tudíž jsou kladeny větší požadavky na odstínění vysálaného tepla polotovaru. Toto koncepční řešení nebylo zvoleno z důvodu velkého kroučícího momentu vytvořeného na otočný válec a také z důvodu kolize s pracovním prostorem pýchovacího a kovacího lisu.



Obr. 29. Konceptní řešení č. 3.

Výsledná koncepce, která byla dále rozvíjena a zvolena jako nejlepší je koncepce číslo 3. Od koncepce číslo 2 se liší otočením spodní, otočné části o 90° a uložením otočného pneumatického válce co nejbližší těžišti spodní otočné části, pneumatický válec pro vytvoření uchopovací síly byl ponechán jako v koncepci číslo 2. V tomto řešení vzniká mnohonásobně nižší kroutící moment potřebný k dosažení na otočný pneumatický válec. Postupnou úpravou konceptních řešení se došlo až k výsledné podobě chapadla.

9.2 Vytvoření modelu

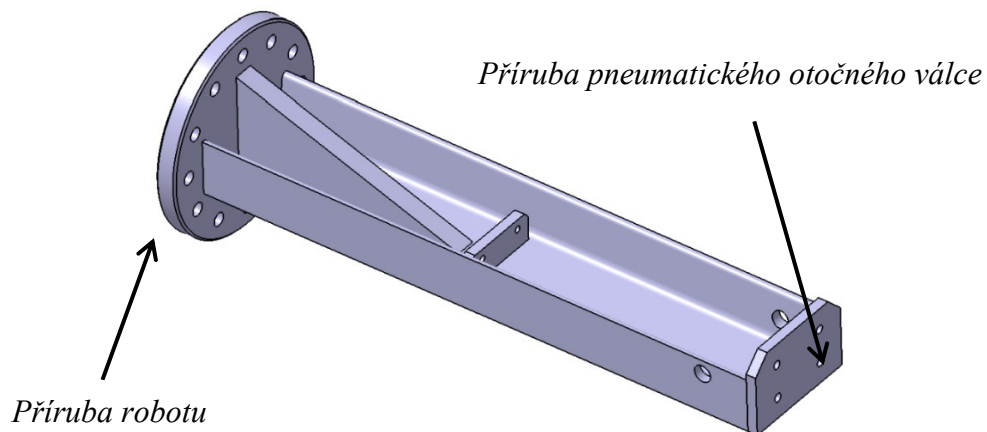
Jednotlivé díly chapadla i výsledná sestava byla zkonstruována v programu Catia V5 R19. Konstrukce dílů v prostředí Part Design a sestava v prostředí Assembly Design. Výsledný vzhled a funkčnost chapadla vycházející z koncepce číslo 3 se skládá ze dvou hlavních částí. Horní část, která je přímo za pomoci šroubů spojena s přírubou robotu a spodní, otočnou částí s čelistmi. Samotná otočná část s čelistmi se skládá ze 3 podsestav.

Výsledná sestava chapadla na podélné uchopení polotovaru se skládá z následujících podsestav:

- Nosná konstrukce (horní část)
- Spodní, otočná část
 - Pevná čelist
 - Posuvná čelist
 - Točna

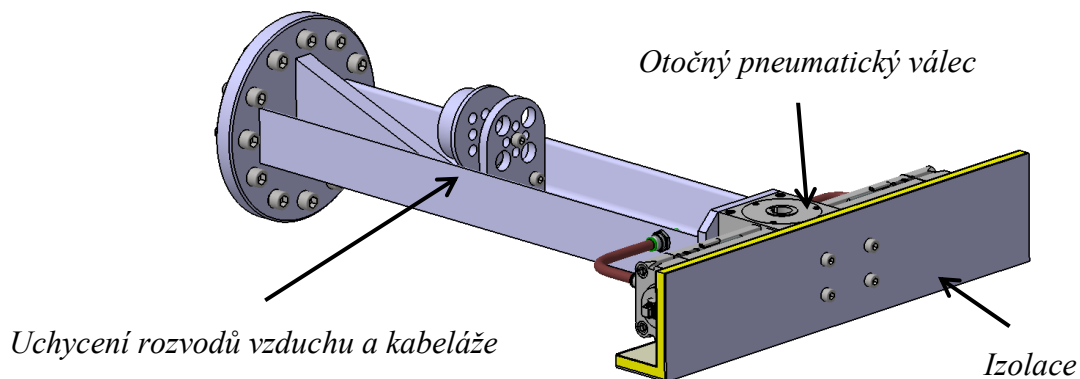
9.2.1 Nosná konstrukce

Jako hlavní nosný prvek nosné konstrukce slouží normalizovaná tyč profilu „U“ šířky 120 mm. Na tuto tyč je navařena z jedné strany příruba robotu s vyztužujícím žebrem o tloušťce stěny 20 mm pro zvýšení tuhosti a ze strany druhé je k profilu přivařena plochá tyč o tloušťce 10 mm s dírami pro uchycení otočného pneumatického prvku viz. Obr. 30. Na dno profilu, přibližně v polovině, je navařen prvek pro uchycení kabeláže a rozvodu vzduchu, spojení těchto dvou částí je realizováno za pomoci šroubů. Boční stěny profilu jsou opatřeny dírami pro montáž průchodky vzduchu sloužící pro přívod stlačeného vzduchu k pneumatickému válci.



Obr. 30. Nosná konstrukce

Otočný pneumatický válec je spojen za pomoci čtyřech šroubů se svařencem a tvoří tak dokonale tuhé a pevné spojení. Na tělo pneumatického válce je pomocí šroubů připevněna izolace proti sálajícímu teplu výkovku. Tato izolace se skládá ze 3 stěn, vnějšího plechu o tloušťce 2 mm, 10 mm skelné vaty a vnitřního plechu o tloušťce 1 mm. Vedení vzduchu k pneumatickému prvku je realizováno za pomoci měděných trubek svedených do vnitřní části „U“ profilu. Pneumatický otočný válec je opatřen čidly pro zjištění polohy kyvu.



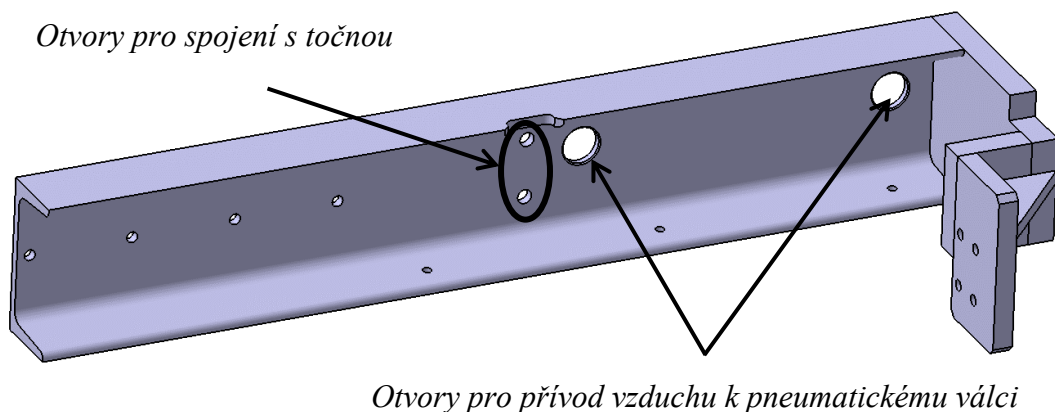
Obr. 31. Celková sestava nosné konstrukce

9.2.2 Spodní, otočná část

Spodní, otočná část se skládá ze tří podsestav, a to konkrétně pevné čelisti, posuvné čelisti a točny, na které je umístěn pneumatický upínací válec.

9.2.2.1 Pevná čelist

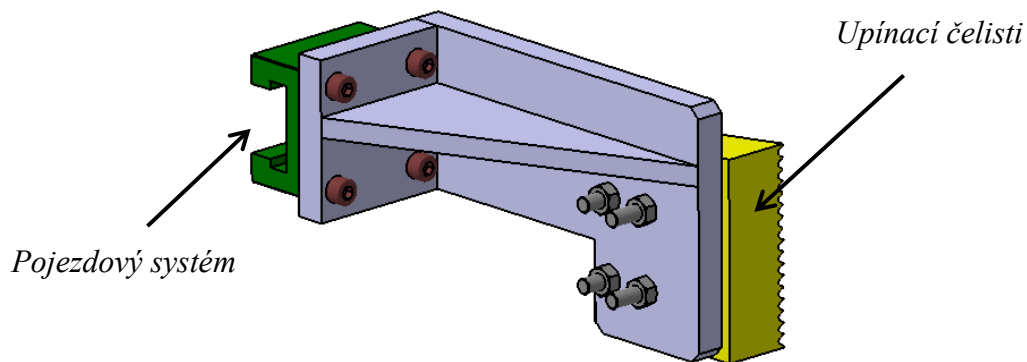
Hlavní nosný prvek spodní otočné části a současně pevné čelisti tvoří normalizovaná tyč profilu „U“ o šířce 120 mm. Na tyč je z jedné strany navařeno několik tyčí plochého profilu o tloušťce 15–20 mm tvořících pevnou čelist připravenou pro montáž samotných čelistí. Montáž čelistí je realizována za pomoci čtyřech šroubů. Pro zvýšení tuhosti upínací sestavy je umístěno žebro tloušťky 10 mm za prvek sloužící k montáži čelistí. Tyč profilu „U“ je po stranách i na dně opatřena dírami, zářezy a závity pro uchycení pojezdového systému, průchodu vedení vzduchu a uchycení třívrstvé izolační vrstvy.



Obr. 32. Nosný prvek spodní, otočné části (pevná čelist)

9.2.2.2 Posuvná čelist

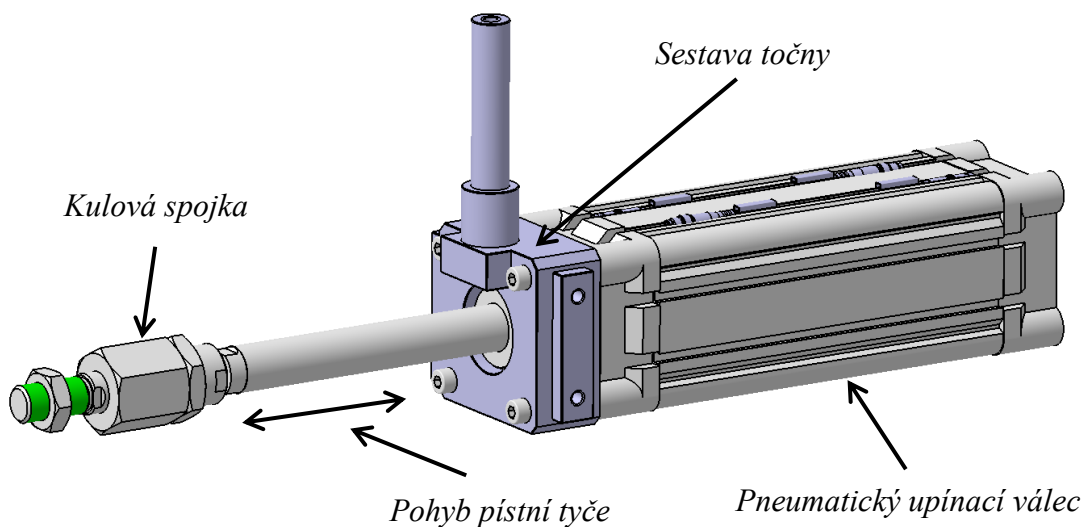
Posuvná čelist se skládá ze svařence tyčí plochého průřezu o tloušťce 15 mm opatřených žebrem o tloušťce 10 mm pro zvýšení tuhosti celkové sestavy. Montáž čelistí je realizována za pomoci čtyřech šroubů pro snadnou výměnu čelistí. Další čtyři průchozí díry slouží k uchycení pojezdového systému. Sestava je opatřena závitovou dírou pro spojení pístní tyče pneumatického upínacího prvku.



Obr. 33. Posuvná čelist

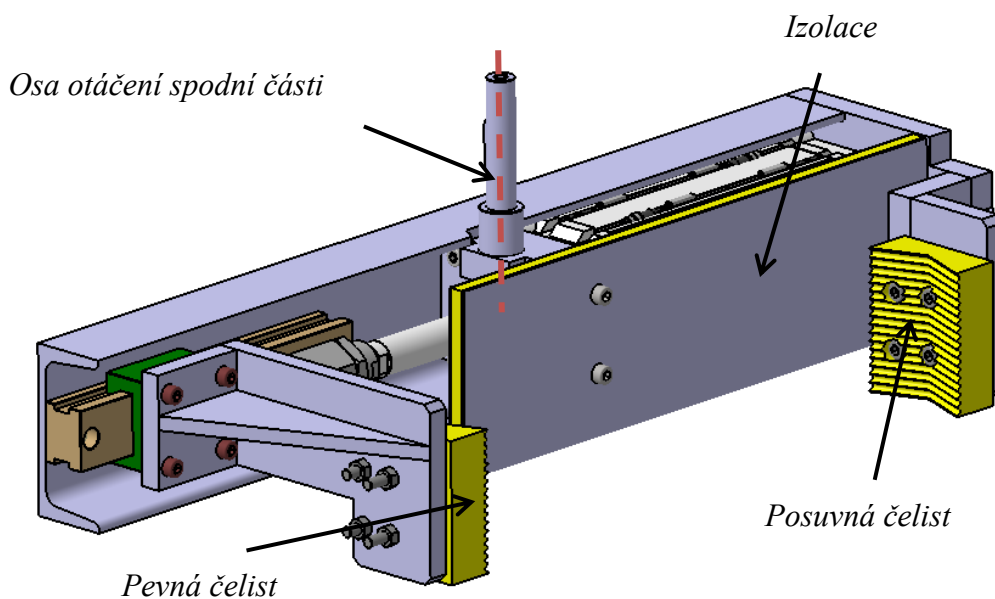
9.2.2.3 Točna

Jedná se o frézovanou „kostku“ na kterou je za pomoci svaru připojena hřídel tvořící osu otáčené celé spodní otočné části. Přenos kroutícího momentu je realizován perem. Frézovaná část je opatřena průchozími dírami pro uchycení pneumatického válce a závitovými dírami pro spojení s „U“ profilovou tyčí a uchycení třívrstvé izolační vrstvy.



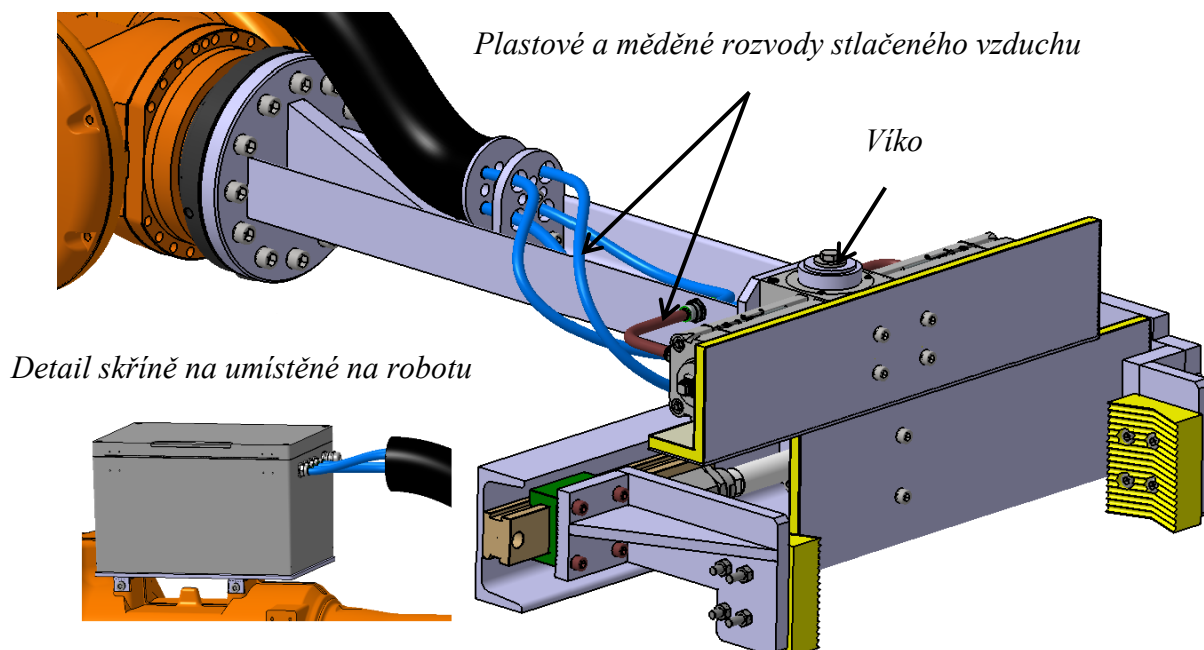
Obr. 34. Prvek s hřídelí a pneumatickým upínacím prvkem

Na Obr. 35. je zobrazena celková sestava spodní, otočné části, včetně všech tří podsestav. Sestava je opatřena třívrstvou ochrannou izolací chránící pneumatický válec vůči sálavému teplu, které vyzařuje polotovar. Tato izolace se skládá ze 3 stěn. Vnější plech o tloušťce 2 mm, 10 mm skelná vata a vnitřního plechu o tloušťce 1 mm. Pneumatický upínací válec je opatřen senzory polohy otevření, či sevření čelistí.



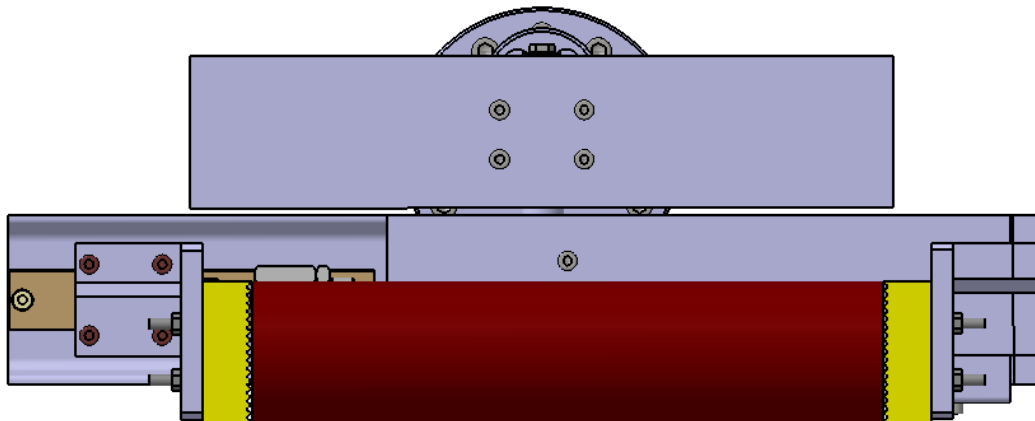
Obr. 35. Sestava spodní, otočné části chapadla

Spojení horní části a spodní, otočné části je realizováno pomocí hřídele, která pomocí víka a šroubu s šestihřannou hlavou a podložkou tvoří spolehlivé spojení těchto dvou částí. Pod víkem se nachází axiální jednořadé ložisko pro zachycení axiální síly. Tato síla musí být zachycena a nesmí namáhat otočný pneumatický válec. Sestava je také opatřena rozvodou vzduchu pro ovládání otočného i upínacího pneumatického válce. Všechny rozvodné hadice jsou svedeny do jedné velké trubky přivádějící rozvodný systém do skříně umístěné na robotu obsahující rozvaděče a elektrické prvky pro sběr dat z polohových čidel.

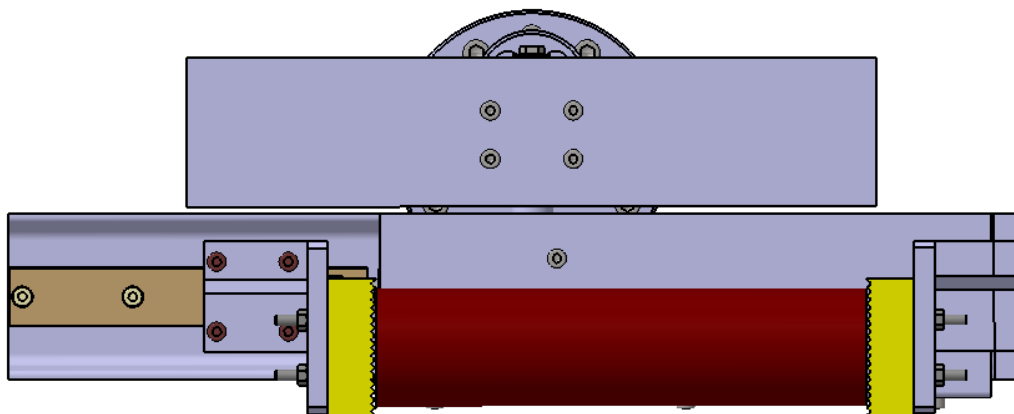


Obr. 36. Sestava chapadla pro podélné uchopené polotovaru, včetně rozvodu vzduchu

Na Obr. 37, 38. jsou zobrazeny dvě extrémní situace, a to upnutí maximálního, popřípadě minimálního možného polotovaru. Rozměry těchto polotovarů jsou uvedeny v Tab. č 6. Zdvih čelistí byl zkonstruován s bezpečnostní rezervou 20 mm na každou stranu.

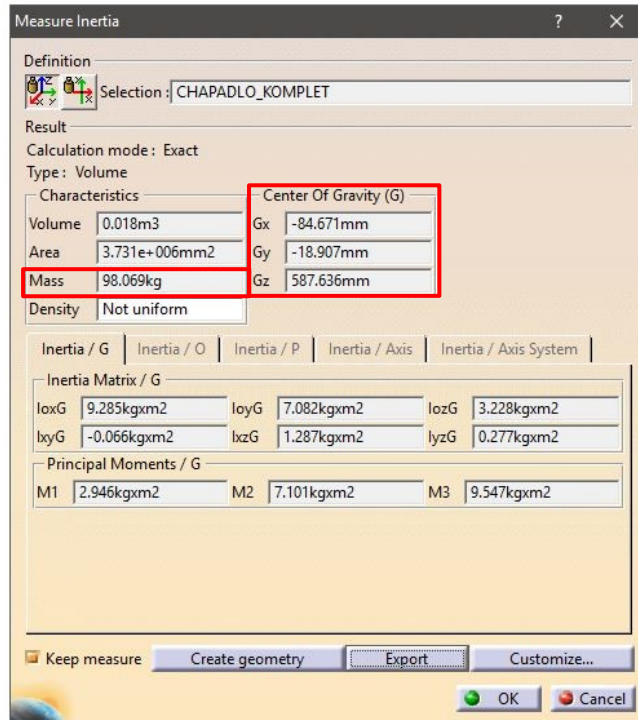


Obr. 37. Uchycení maximálního možného polotovaru

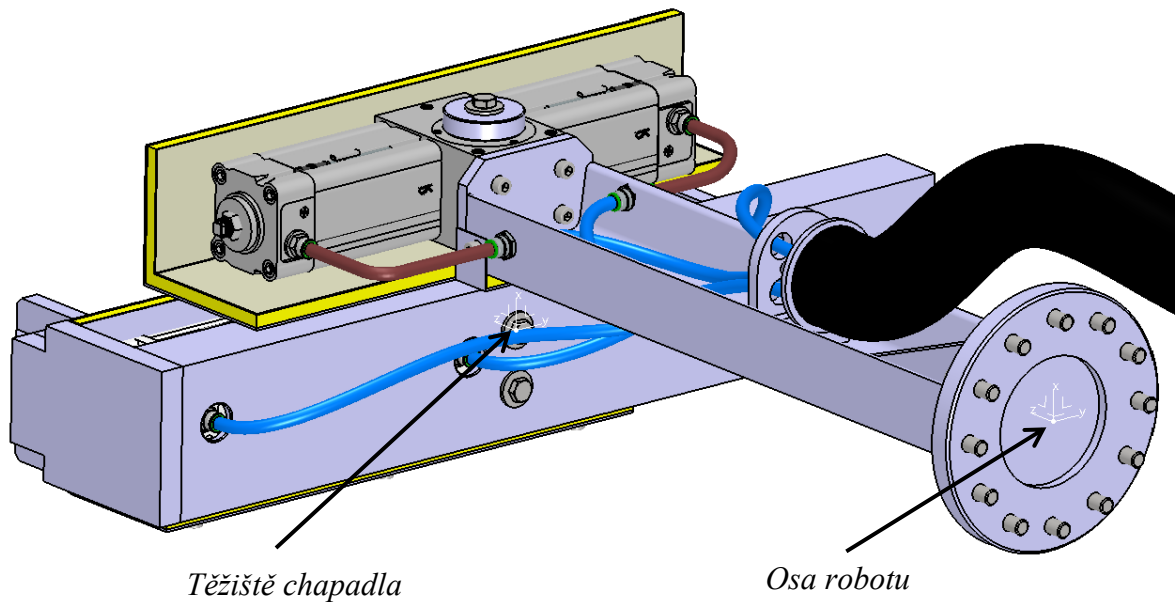


Obr. 38. Uchycení polotovaru s minimálními možnými rozměry

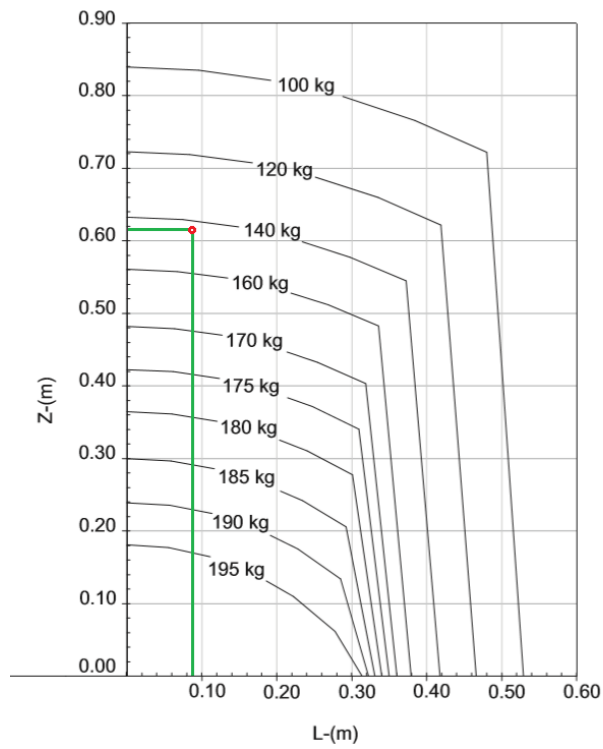
Z programu Catia V5R19 bylo po aplikaci materiálu na jednotlivé díly odečteno celkové těžiště a hmotnost chapadla Obr. 40. Celková hmotnost chapadla při upnutí nejtěžšího polotovaru činí 98 kg, viz. Obr. 39. Tyto hodnoty byly zaznamenány v zátěžovém diagramu robotu IRB 6640. Maximální únosnost robotu při aktuální poloze těžiště se blíží k hranici 140 kg. Podmínka únosnosti robotu z požadavkového listu je splněna, viz. Obr. 41.



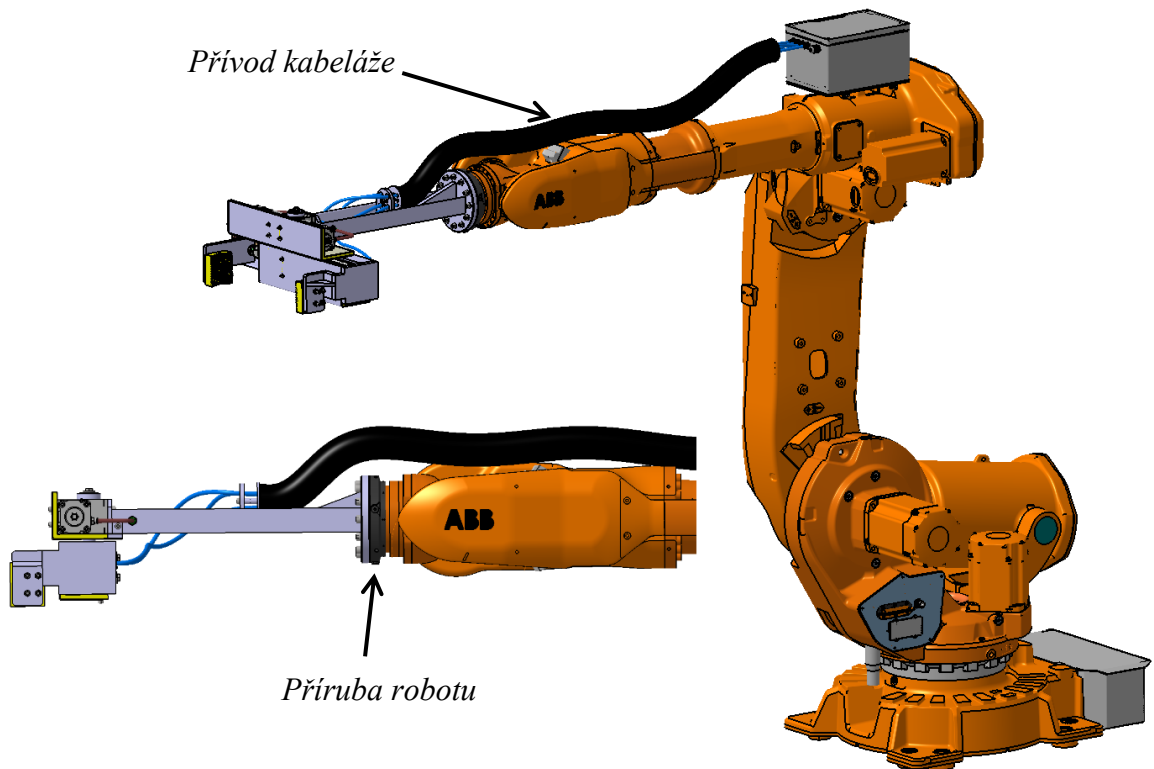
Obr. 39. Odečtení polohy těžiště a celkové hmotnosti chapadla (Mass = celková hmotnost, Center of Gravity = poloha těžiště)



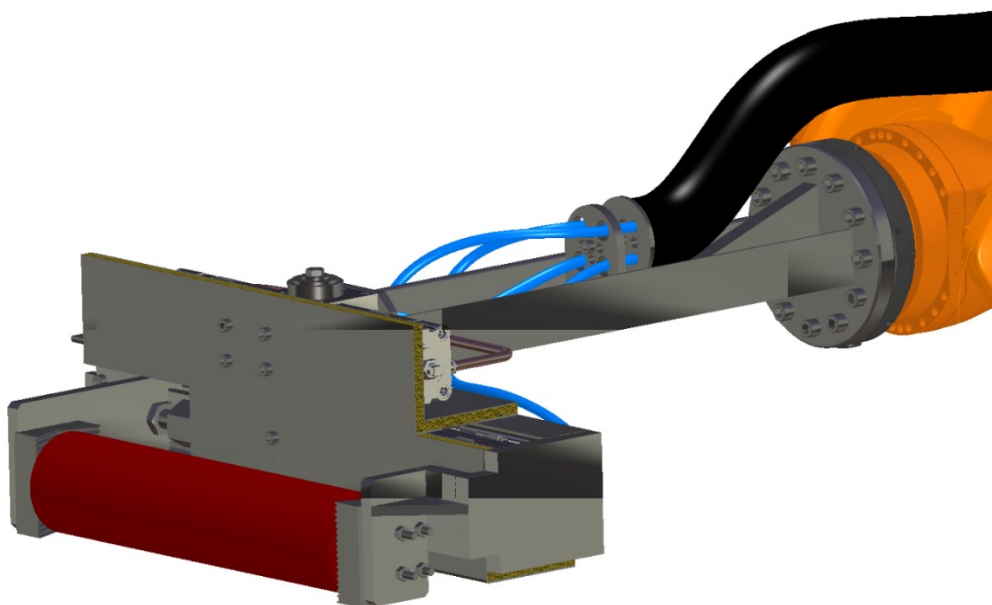
Obr. 40. Těžiště chapadla



Obr. 41. Zaznačení hodnoty polohy těžiště chapadla s výkovkem do zátěžového diagramu IRB 6640. [18]



Obr. 42. Upevnění chapadla na přírubu robotu IRB 6640, včetně rozvodů vzduchu



Obr. 43. Renderovaný snímek zobrazení materiálu na jednotlivých částech sestavy chapadla

9.3 Nakupované komponenty

Normalizované tyče „U“ profilu a ploché válcované tyče tloušťky 10, 15, 20 mm, šrouby M8 a M10 různých délek.

9.3.1 Pneumatický válec upínací

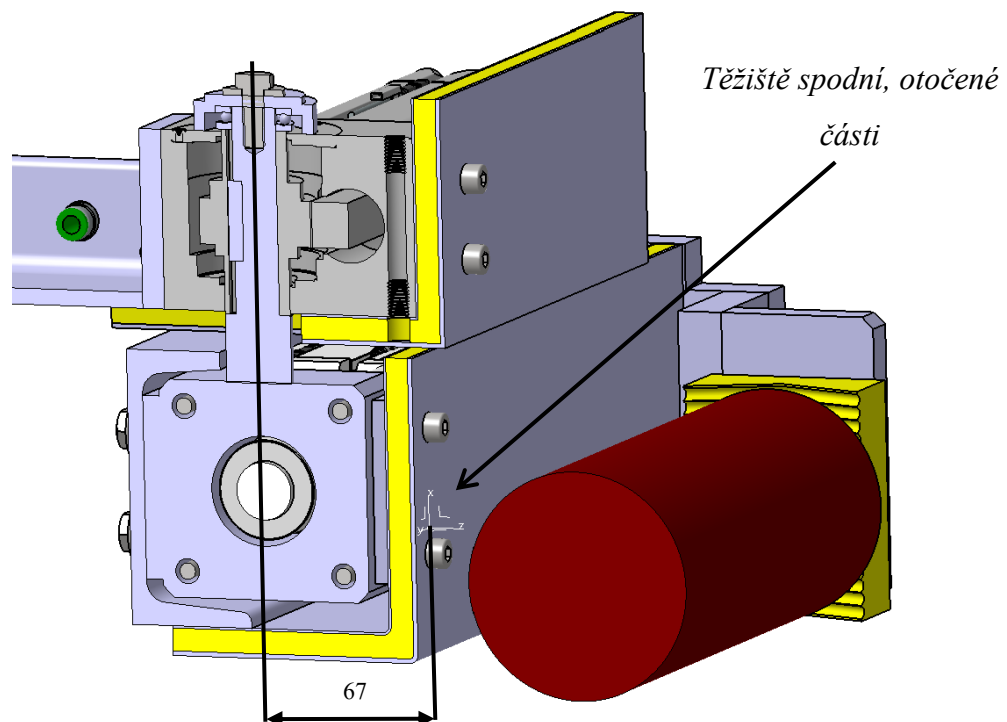
V konfiguračním příkazovém řádku na webu firmy Stránský a Petržík byl zvolen dvojčinný pneumatický válec splňující rozměrové normy ISO 15552, VDMA 24562 a NF E 49003.1 o průměru válce 80 mm, průměru pístní tyče 25 mm a zdvihu 160 mm. Vysouvací síla při tlaku 0,6 MPa činní 3015 N. Závitové přípoje G3/8“.



Obr. 44. Upínací pneumatický válec od firmy Stránský a Petržík [26]

9.3.2 Otočný prvek

Hlavní faktor při výběru otočného prvku byl maximální dosahovaný kroučící moment. V průběhu konstrukce spodní, otočné části chapadla byla snaha přiblížit těžiště této sestavy, pokud možno, co nejbližší k ose otáčení točny a tím zamezení vyvinutí přílišného kroučícího momentu na otočný pneumatický válec. Rameno je 67 mm a hmotnost spodní, otočné části, s nejtěžším výkovkem je 68 kg. Výsledný kroučící moment, který musí otočný pneumatický válec vyvinout musí být větší než 44,5 Nm



Obr. 45. Vzdálenost těžiště spodní, otočné části od osy otáčení

Byl zvolen pneumatický otočný válec od firmy Stasto série CRW o průměru pístu 63 mm. Tento válec dokáže vyvinout kroučící moment 48 Nm při tlaku vzduchu 0,6 MPa. Tělo pneumatického válce je vyrobeno z hliníkové slitiny, tlumení koncových poloh je nastavitelné. Závitové přípoje G3/8". V úvahu byla i možnost elektrického otočného prvku, ale ten se z důvodu zahřívání nehodí do kovárenského průmyslu, navíc byla snaha o co největší jednoduchost chapadla, v případě zvolení elektrického otočného prvku by musel být vyřešen přívod elektrické energie a logické jednotky pro samotné ovládání prvku.



Obr. 46. Pneumatický otočný válec od firmy Stasto série CRW [27]

9.3.3 Ostatní komponenty

9.3.3.1 Kulová spojka na pístní tyč

Kulová spojka na pístní tyč slouží pro zachycení kyvu při přímočarém vratném pohybu pístní tyče pneumatického upínacího prvku.



Obr. 47. Kulová spojka na pístní tyč [28]

9.3.3.2 Komponenty pro rozvod vzduchu

Pro kovářské účely se výhradně používají kovové průchodky a šroubení pro rozvod vzduchu, z důvodu vysokých teplot dosahovaných v bezprostřední blízkosti těchto komponent. Bylo zvoleno šroubení od firmy Stránský a Petržík, velikost závitové přípoje G3/8“.

Nástrčné šroubení z poniklované mosazi:

- Šroubení přímé
- Průchodka



Obr. 48. Nástrčné šroubení z poniklované mosazi, vlevo přímé šroubení, vpravo průchodka [29]

9.3.3.3 Senzor polohy pneumatického válce

Senzory polohy pneumatického válce slouží pro zvýšení bezpečnosti chapadla, tyto senzory nám dávají informace o poloze pístu uvnitř pneumatického válce, tyto informace jsou důležité pro zjištění například přítomnosti polotovaru v čelistech chapadla. Pokud nedostane řídicí jednotka signál o přítomnosti polotovaru, ze snímače v dané části pneumatického válce, nespustí se další operace manipulace. Senzory se umisťují přímo do normalizované drážky na těle pneumatického válce. V Kovárně VIVA a.s. se používají senzory od značky Festo, konkrétně SMT-/SME-8M, tento typ senzorů je osvědčený, a proto byl zvolen i pro náš konstrukční návrh



Obr. 49. Senzor SMT-/SME-8M od firmy FESTO [20]

9.3.4 Cena nakupovaných komponent

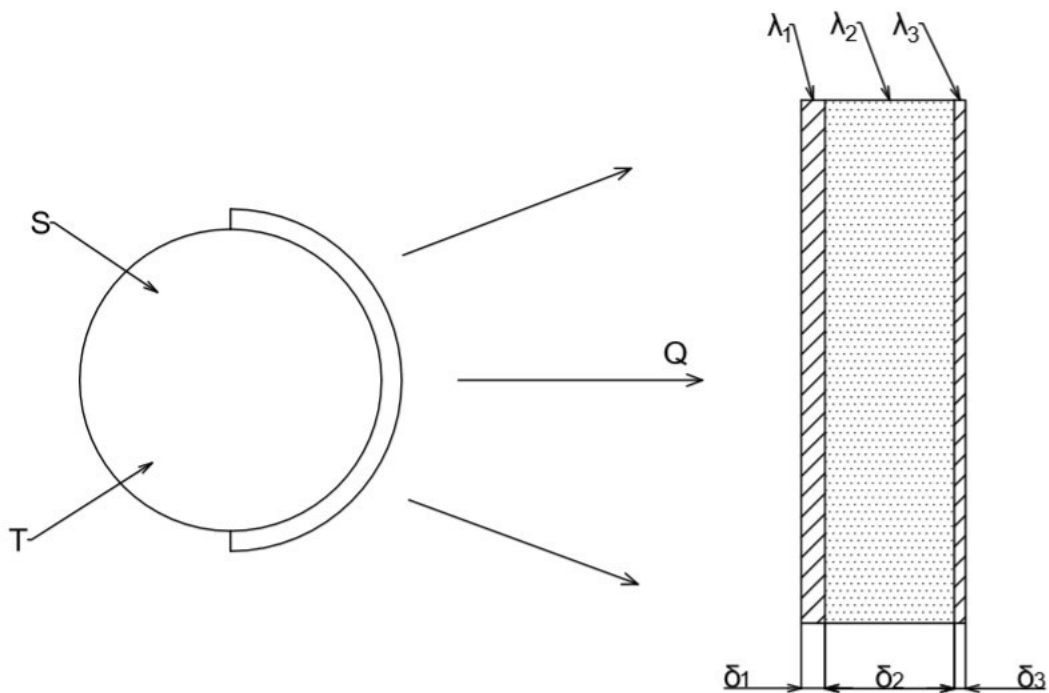
Při návrhu chapadla byl dle požadavkového listu zadán maximální cenový rozpočet 120 000 Kč. Výsledný návrh tuto hodnotu nepřevyšuje. Pneumatický upínací válec stojí 3 163 Kč, pneumatický otočný válec 19 128 Kč. Ostatní komponenty cca 4 500 Kč. Cena nakupovaných válcovaných tyčí plochého a U profilu a šroubů různých průměrů a délek je cca 5 000. Celková orientační částka nakupovaných komponent chapadla je 31 769 Kč.

10 VÝPOČTY

10.1 Odstínění tepla od výkovku

Výkovek o teplotě 1200 °C vyzařuje radiací teplo, které působí na okolní prostředí o teplotě 35 °C, z důvodu maximální přípustné pracovní teploty okolí pneumatického válce 180 °C je potřeba odstínit tepelný tok za pomoci vhodné izolace. Navržená izolace se skládá ze tří vrstev, mezi dva ocelové plechy různých tloušťek je vložena skelná vata. Pro výpočet sálajícího povrchu polotovaru byla zvolena varianta s největším průměrem a délkou polotovaru, dále pro výpočet sálajícího povrchu byla uvažována pouze jedna polovina povrchu.

Pro výpočet prostupu tepla složenou stěnou byla potřeba vypočítat teplotu na vnější straně izolace. Tato teplota byla stanovena pomocí Stefanova-Boltzmannova zákona.



Obr. 50. Grafické zobrazení případu sálání s následným prostupem tepla složenou stěnou izolace

Tab. 9. Tabulka vstupních parametrů

Parametr	Hodnota	
Teplota výkovku t [$^{\circ}\text{C}$]; T [K]	1200	1473,15
Teplota okolí t [$^{\circ}\text{C}$]; T [K]	35	305,65
Průměr výkovku d [m]	0,1	
Délka výkovku L [m]	0,4478	
Relativní sálavost oceli ε_o [-]	0,8	
Stefanova-Boltzmannova konstanta σ_o [$\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}$]	$5,67 \cdot 10^{-8}$	
Emisní konstanta černého tělesa C_o [$\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$]	5,669	
Součinitel tepelné vodivosti λ [$\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$]	ocel	52
	minerální vata	0,04
Tloušťka izolace δ [m]	vrstva 1	0,002
	vrstva 2	0,01
	vrstva 3	0,001

10.1.1 Sálání (radiace tepla z polotovaru)

Sálající povrch polotovaru:

$$S = \frac{\pi \cdot d \cdot L}{2} \quad (6)$$

$$S = \frac{\pi \cdot 0,1 \cdot 0,4478}{2} = \mathbf{0,078 \text{ m}^2}$$

Vysálané teplo:

$$Q = \varepsilon_o \cdot \sigma_o \cdot S \cdot T^4 \quad (7)$$

$$Q = 0,8 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 0,078 \cdot 1479,15^4 = \mathbf{16 \ 663 \text{ W}}$$

Zjištění teploty na vnější straně izolace, vyjádření ze vzorce vysálaného tepla:

$$Q = S \cdot C_o \cdot \varepsilon_o \cdot \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \quad (8)$$

$$T_2 = \sqrt[4]{\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \frac{Q}{S \cdot C_o \cdot \varepsilon} \cdot 100}$$

$$T_2 = \sqrt[4]{\left(\frac{1479,15}{100}\right)^4 - \frac{16\,663}{0,078 \cdot 5,669 \cdot 0,8}} \cdot 100 = 992,6 \text{ K} = 719,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

10.1.2 Prostup tepla izolací

Pro výpočet prostupu tepla složenou stěnou je potřeba zjistit součinitel místního přestupu tepla $\alpha_k \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]$, jeho hodnoty jsou uvedeny v tab. č. 10.

Tab. 10. Obvyklé hodnoty součinitele místního přestupu tepla [18]

Prostředí	Součinitel místního přestupu tepla $\alpha_k \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]$
Plyny při přirozené konvekci	5-100
Voda při přirozené konvekci	100-1000
Plyny při proudění v trubkách a mezi trubkami	10-5000
Voda při proudění v trubkách	50-10000
Voda při bublinkovém varu	2000-40000
Pára při blánové kondenzaci	4000-15000
Pára při kapkové kondenzaci	30000-140000

Dle hodnoty z Tab. č. 10. pro plyny při přirozené konvekci byla hodnota součinitele místního přestupu tepla stanovena na hodnotu $\alpha_k = 5 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]$.

Pro výpočet prostupu tepla složenou stěnou je potřeba zjistit hustotu tepelného toku, která se nemění a v průběhu prostupu složenou stěnou je konstantní.

Hustota tepelného toku:

$$q = \alpha_k \cdot (\Delta T) = \alpha_k \cdot (t_1 - t_{okolí}) \quad (9)$$

$$q = 5 \cdot (719,5 - 35) = 3422,5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Teplota na rozhraní byla vypočítána dle vzorce hustoty tepelného toku složenou stěnou ($t_1 = 719,5 \text{ }^\circ\text{C}$ teplejší strana, λ součinitel tepelné vodivosti materiálu izolace, δ tloušťka stěny izolační vrstvy).

$$q = \frac{\lambda}{\delta} \cdot (t_1 - t_2) \quad (10)$$

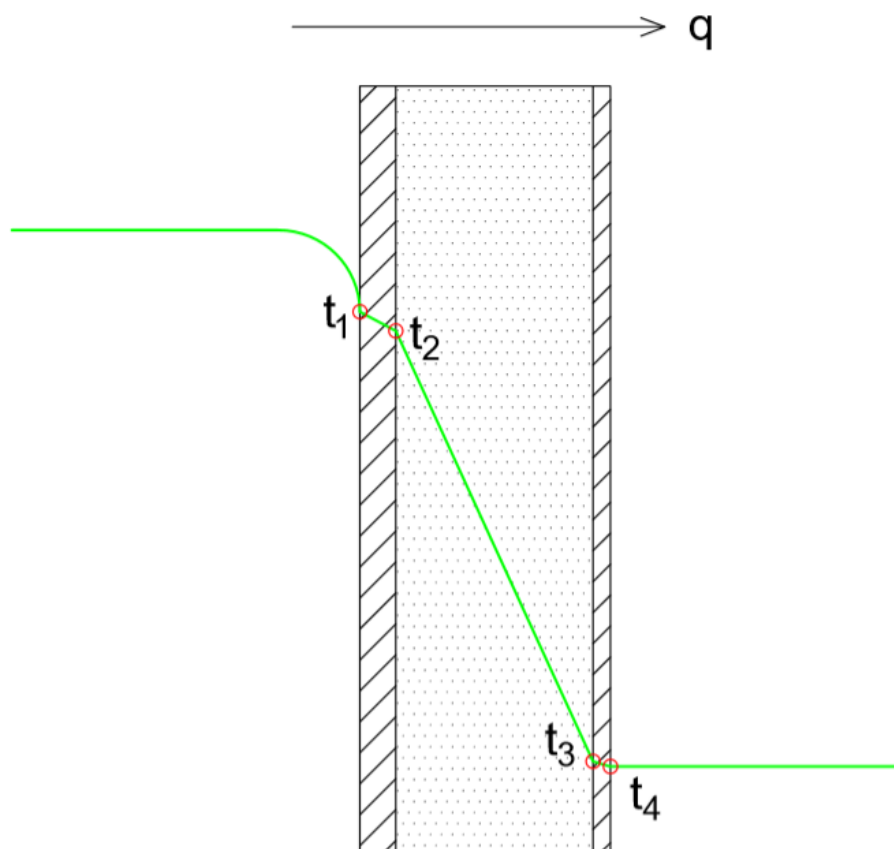
$$t_2 = \frac{q \cdot \delta}{\lambda} - t_1$$

$$t_2 = 719,5 - \frac{3422,5 \cdot 0,002}{52} = 719,37 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_3 = \frac{3422,5 \cdot 0,01}{0,04} - 719,37 = 136,25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_4 = 136,25 - \frac{3422,5 \cdot 0,001}{52} = 136,19 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Výsledná teplota na vnitřní straně izolace je dle výpočtu 136,19 °C. Gradient teploty v závislosti na tloušťce složené stěny (izolace) je znázorněn na Obr. 51.



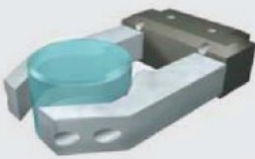



Obr. 51. Gradient teploty složené stěny

10.2 Výpočet uchopovací síly

Pro výpočet uchopovací síly byl zvolen polotovaru s nejvyšší hmotností. Součinitel smykového tření ocel – ocel je dle tabulek při použití v dynamické zátěži 0,1, tato hodnota bude v reálné praxi vyšší. A to hlavně z důvodu měknutí materiálu při ohřevu na kovací teplotu (1200 °C). Z tohoto důvodu byl součinitel zvolen na 0,12. Nejvyšší dosahované zrychlení robotu v provozních podmínkách Kovárny VIVA a.s. je $7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. Při manipulaci s polotovarem je také nutnost dbát na bezpečnost, tudíž byl zvolen koeficient bezpečnosti 1,3. Úhel α je úhel prizmatických vložek, pomocí kterých je realizováno uchycení rozehřátého polotovaru. Vzorce pro výpočet velikosti uchopovací síly jsou uvedeny na Obr. č. 52.

Tab. 11. Hodnoty pro výpočet uchopovací síly

Symbol	Název	Hodnota
m	Hmotnost polotovaru [kg]	25,9
f	Součinitel smykového tření ocel – ocel (zahřátá) [–]	0,12
a	Zrychlení robotu [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]	7
k	Koeficient bezpečnosti [–]	1,3
α	Úhel prizmatu [°]	110

Uchopení	Směr	Potřebná úchopová síla na jednu čelist
		$F_g = m(a_z + g) \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{2\mu} S$
		$F_{G,z} = mg \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{2\mu} S$ $F_{G,x} = ma_x \frac{\tan \frac{\alpha}{2}}{2\mu} S$
		$F_{G,z} = mg \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{2\mu} S$ $F_{G,y} = ma_y S$

Obr. 52. Výpočet uchopovací síly pro náš případ uchycení polotovaru [8]

Pohyb vertikální:

$$F_g = m \cdot (a_z + g) \cdot \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{2 \cdot f} \cdot k \quad (11)$$

$$F_g = 25,9 \cdot (7 + 9,81) \cdot \frac{\sin \frac{110}{2}}{2 \cdot 0,12} \cdot 1,3 = 1931 \text{ N}$$

Pohyb horizontální:

$$F_g = m \cdot g \cdot \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{2 \cdot f} \cdot k \quad (12)$$

$$F_g = 25,9 \cdot 9,81 \cdot \frac{\sin \frac{110}{2}}{2 \cdot 0,12} \cdot 1,3 = \mathbf{1965 \text{ N}}$$

$$F_g = m \cdot a \cdot \frac{\tan \frac{\alpha}{2}}{2 \cdot f} \cdot k \quad (13)$$

$$F_g = 25,9 \cdot 7 \cdot \frac{\tan \frac{110}{2}}{2 \cdot 0,12} \cdot 1,3 = \mathbf{1402 \text{ N}}$$

Největší potřebná síla pro uchopení polotovaru je $F_g = 1965 \text{ N}$. Pro sílu uchopovacího prvku, v našem případě pneumatického, musí být splněna podmínka:

$$F_{v\acute{a}lce} \geq F_g$$

Námi zvolený pneumatický válec má průměr pístu $d_1 = 80 \text{ mm}$, protože válec vykonává práci při zasouvání, je pro výpočet potřebný i průměr pístní tyče $d_2 = 25 \text{ mm}$, tlak přivedeného vzduchu $p = 0,6 \text{ MPa}$

Výpočet upínací síly při zasouvání:

$$F_{v\acute{a}lce} = \left(\frac{\pi \cdot d_1^2}{4} - \frac{\pi \cdot d_2^2}{4} \right) \cdot p \quad (14)$$

$$F_{v\acute{a}lce} = \left(\frac{\pi \cdot 80^2}{4} - \frac{\pi \cdot 25^2}{4} \right) \cdot 0,6 = \mathbf{2721 \text{ N}}$$

$$\mathbf{2721 \geq 1965 \rightarrow VYHOVUJE}$$

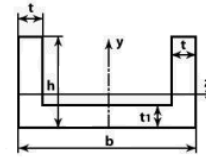
10.3 Průhyb U profilu

Orientační výpočet průhybu tyče U profilu pod zatěžující silou $F = 700 \text{ N}$, šířkou profilu $b = 120 \text{ mm}$ a délkou nosníku $L = 580$ proběhl na webovém portálu e-konstrukter v sekci technické výpočty. Pro výpočet byl na stejném portálu zjištěn i kvadratický moment průřezu U profilu. Tyto orientační výpočty jsou vhodné při prvotním výběru velikosti (šířky) normalizované tyče U profilu. Výsledný průhyb nosníku vyšel dle orientačního výpočtu

0,529 mm. Na základě tohoto orientačního výpočtu byl uznán profil jako vyhovující a byl použit do reálného modelu.

Vstupní parametry

h výška	55	mm
b šířka	120	mm
t tloušťka	9	mm
t ₁ toušťka	7	mm



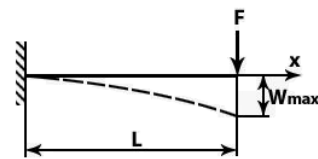
Výstupní hodnoty

I _y kvadratický moment k ose y	3675168	mm ⁴
I _z kvadratický moment k ose z	410179.05033907	mm ⁴
W _{oy} modul průřezu v ohybu	61252.8	mm ³

Obr. 53. Výpočet kvadratického momentu průřezu v ohybu U profilu [30]

Vstupní parametry

F síla	0,7	kN
L délka nosníku	580	mm
E modul pružnosti v tahu	210	GPa
I kvadr. mom. průřezu	410179	mm ⁴



Výstupní hodnoty

W max (max. průhyb)	0.529	mm
x (bod max. průhybu)	580	mm

Obr. 54. Výpočet průhybu staticky určitého nosníku [30]

10.4 Ověření únosnosti ložiska na axiální zatížení

Statická únosnost axiálního ložiska 51206 od firmy ZKL Group $C_o = 58\,200\text{ N}$, $F_a = 700\text{ N}$ reálné axiální zatížení ložiska.

Axiální statická únosnost ložiska, čisté axiální zatížení:

$$F_a \leq C_o \cdot 0,5 \quad (15)$$

$$700 \leq C_o \cdot 58\,200$$

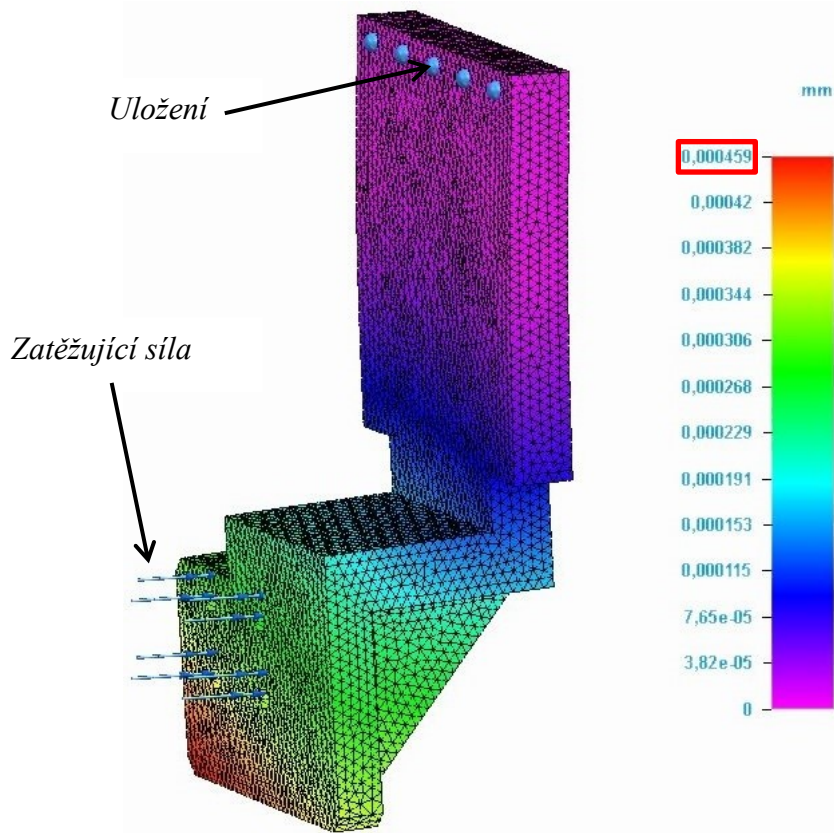
$$700 \leq 29\,100 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

11 OVĚŘENÍ POMOCÍ POČÍTAČOVÉ ANALÝZY

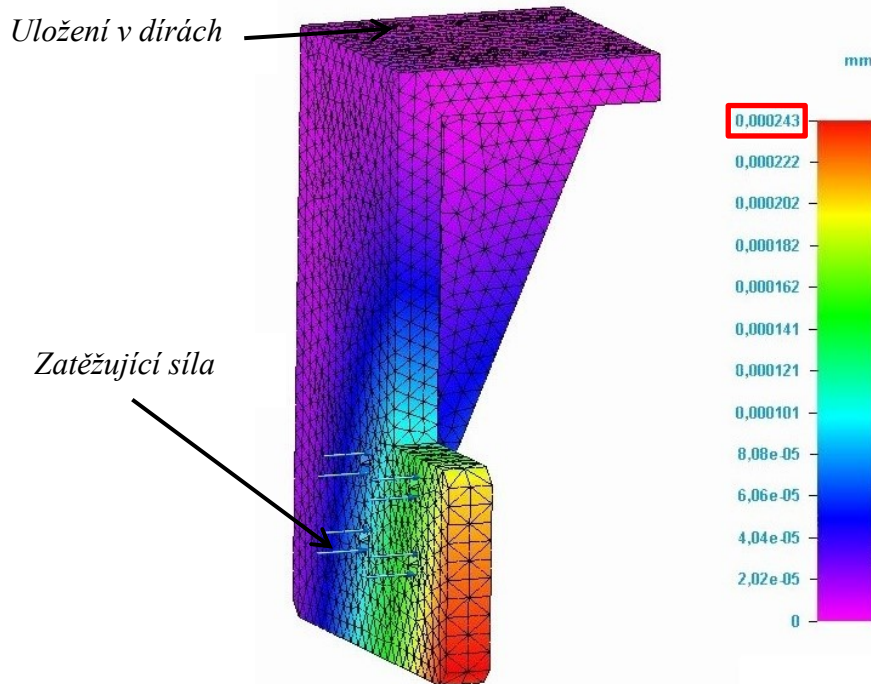
11.1 Posunutí uchopovacích prvků

Analýza posunutí pomocí metody konečných prvků probíhala v programu Solid Edge ST9 v prostředí pro simulaci, zvolena byla analýza čistě statická bez vlivu teploty. Následně proběhlo vytvoření okrajových podmínek uložení a zatížení prvku. Zatěžující síla = uchopovací síla, vyvolaná silou pneumatického prvku dle výpočtu č. 14. Do okrajových podmínek byla zvolena zatěžující síla $F = 2700\text{ N}$. Prvek byl uložen v místě uchycení šroubů dle reálných podmínek. Jako materiál byla zvolena ocel z knihovny programu. Poslední proběhlo „vysítování“ geometrie prvku trojúhelníky o délce strany 2 mm a byl spuštěn výpočet.

Výsledné posunutí pravé strany dle analýzy v programu Solid Edge ST 9 činí 0,0005 mm Obr. 55. Největší posunutí je ve spodní části, kde jsou uchyceny čelisti. Dle zadání zadavatele je v požadavkovém listu podmínka předdimenzování, výsledná hodnota posunutí potvrzuje, že je uchopovací prvek dostatečně pevný a tuhý.



Obr. 55. Posunutí pravé strany uchopovacího prvku při zatížení upínací silou F

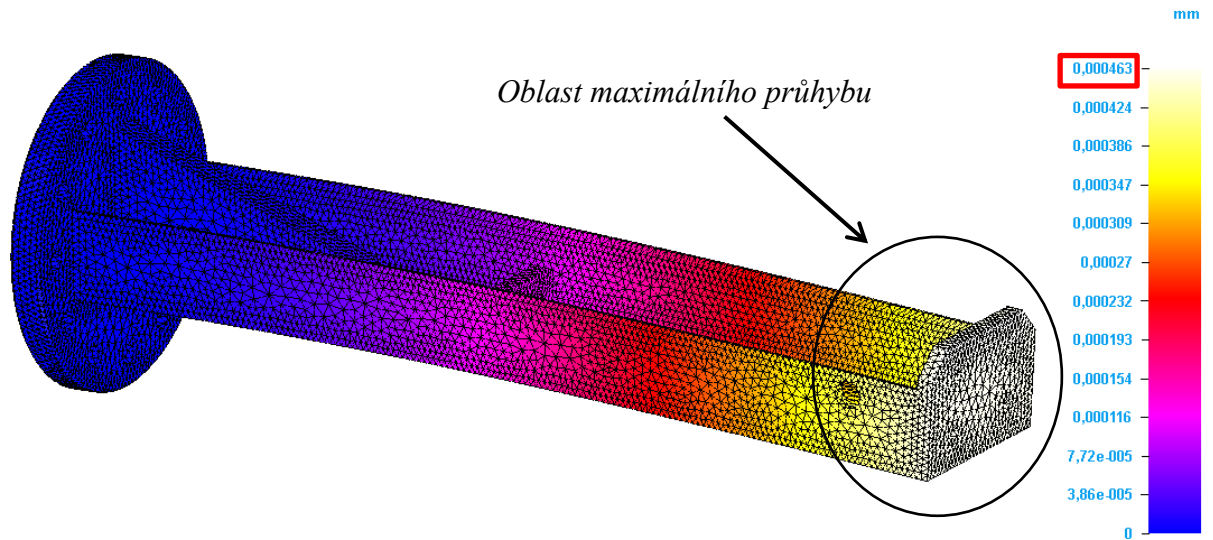


Obr. 56. Posunutí levé strany uchopovacího prvku při zatížení upínací silou F

Výsledné posunutí levé strany dle analýzy v programu Solid Edge ST 9 činí 0,0002 mm Obr. 56. Největší posunutí je ve spodní části, kde jsou uchyceny čelisti. Dle zadání zadavatele je v požadavkovém listu podmínka předdimenzování, výsledná hodnota posunutí potvrzuje že i levá strana uchopovacího prvku je dostatečně pevná a tuhá.

11.2 Posunutí nosné konstrukce

Pro výpočet analýzy posunutí nosné konstrukce, která je jako svařenec připevněna k přírubě robotu byl použit zjednodušený model. Pro výpočet prohnutí byla zjištěna hmotnost celého otočného prvku včetně nejtěžšího polotovaru. Výsledná hmotnost byla následně přepočítána na sílu a profil byl v místě spojení s otočným prvkem zatížen silou $F = 700 \text{ N}$. Analýza proběhla v programu Solid Edge ST9 v prostředí pro simulaci, jako pro výpočet uchopovacích prvků byl zvolen typ statické analýzy se zanedbáním vlivu teploty. Celé těleso bylo v místě spojení s přírubou robotu vetknuto a tím byla splněna podmínka uložení. Jako materiál byla zvolena ocel z knihovny programu. Poslední proběhlo „vysítování“ geometrie prvku trojúhelníky o délce strany 2 mm a byl spuštěn výpočet.



Obr. 57. Posunutí U profilu zatíženého vlastní hmotností otočného prvku.

Na Obr. 57. je graficky zobrazeno posunutí nosné konstrukce zatížené silou F . Tato síla má velikost odpovídající hmotnosti otočné části chapadla s upnutým nejtěžším polotovarem. Dle analýzy v programu Solid Edge ST9 je výsledná deformace 0,0005 mm. I zde je splněna podmínka zadavatele na předimenzování a dosažení velké přesnosti a tuhosti soustavy. Dle požadavkového listu je splněna podmínka maximální deformace 1 mm.

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo vytvoření konstrukčního návrh chapadla pro podélné uchopení polotovarů, dle požadavků zadavatele.

Teoretická část diplomové práce se zabývá rešerší problematiky kování, robotiky a automatizace, robotickými chapadly se zaměřením na kovárství a těžký průmysl, automatizačními prostředky používanými v kovárství, analýzou podkladů potřebných pro návrh robotu a problematikou procesu návrhu chapadla.

Praktická část se skládá z 5 kapitol, a to konkrétně analýzou současného stavu, konstrukčním procesem, návrhem chapadla pro podélné uchopení polotovaru, výpočty a ověřením pomocí počítačové analýzy.

První kapitola praktické části diplomové práce s názvem analýza současného stavu má za úkol seznámit s aktuálním stavem a rozložením pracoviště, v této kapitole je popsán proces kovací linky, pro kterou bylo chapadlo zkonstruováno. Jsou zde popsány jednotlivé komponenty linky, jako je indukční ohřívač, pýchovací lis a kovací lis. Jsou zde vypsány parametry použitého robotu od firmy ABB řady IRB 6640 s maximální hmotností 185 kg. Tato kapitola také pojednává o požadavku zadavatele na nové konstrukční řešení chapadla, které má za úkol nahradit stávající, již zastaralé řešení, kdy je polotovar uchycen za průměr, nikoliv podélně.

Druhá kapitola se zabývá tvorbou požadavkového listu a morfologické matice řešení, jsou zde také uvedeny rozměry polotovarů, se kterými musí být navržené chapadlo schopno manipulovat, hlavní faktor zde hraje maximální zdvih čelistí pro pokrytí všech rozměrů používaných polotovarů na tomto pracovišti. V požadavkovém listu jsou uvedeny čtyři základní parametry, na které se musí při konstrukci chapadla brát ohled, tento list byl vytvořen společně se zadavatelem a v průběhu konstrukce požadavků přibývalo. V morfologické matici řešení jsou uvedeny jednotlivé varianty řešení, které byly v průběhu konstrukce chapadla uvažovány, konečné, zvolené, varianty jsou zvýrazněny a uvedeny v příslušné tabulce č. 8.

Třetí kapitola se zabývá již samotnou konstrukcí chapadla. V prvotní fázi bylo navrženo několik koncepčních variant řešení chapadla. Následně bylo vybráno jedno koncepční řešení, které bylo dále rozvíjeno do finální podoby. Konstrukce chapadla i tvorba sestav probíhala v programu CATIA V5 R19 v prostředí „Part“ a „Assembly“ design. Je zde popsána a graficky znázorněna konstrukce jednotlivých sestav a komponent. Chapadlo se skládá ze

čtyřech hlavních sestav, a to konkrétně sestavy nosné části, pevné čelisti, posuvné čelisti a točny. Poloha celkového těžiště chapadla při upnutí nejtěžšího polotovaru bylo zaznamenáno v zátěžovém diagramu robotu ABB IRB 6640 a bylo zjištěno že navržené chapadlo nepřekračuje maximální přípustnou hmotnost. Součástí této kapitoly je také seznam nakupovaných komponent jako jsou válcované tyče různých průřezů, šroubů, pneumatických válců, a ostatních komponentů.

Čtvrtá kapitola pojednává o výpočtech, stěžejní část této kapitoly se zabývá výpočtem izolace, která má za úkol odstínit vysoké teploty z důvodu umístění upínacího válce v bezprostřední blízkosti rozehrátého polotovaru na teplotu 1200°C. Navržená izolace se skládá ze tří vrstev, kdy je mezi dva plechy rozdílné tloušťky vložena skelná vata. Je zde uveden výpočet teploty na vnější stěně izolace, který vychází ze Stefanova-Boltzmannova zákona. Po zjištění teploty na vnější straně izolace (719,37 °C) byla vypočítána hustota tepelného toku pro prostup tepla složenou stěnou a následně byly vypočítány jednotlivé teploty na vnějších a vnitřních stranách izolace. Dle výpočtu je maximální dosahovaná teplota na vnější straně vnitřní izolace 136,19 °C. V další části této kapitoly jsou uvedeny maximální potřebné upínací síly potřebné pro bezpečnou manipulaci s polotovarem v čelistech chapadla. Tyto hodnoty nejsou překročeny a upínací síla zvoleného pneumatického válce je vyšší. Dále jsou zde uvedeny inženýrské výpočty maximálního posunutí při zatížení silou o velikosti odpovídající hmotnosti spodní, otočné části chapadla při upnutí nejtěžšího polotovaru. Tento jednoduchý výpočet sloužil pro výběr správné šířky tyče průřezu „U“ nosné konstrukce. Pro spojení spodní, otočné části a nosné konstrukce bylo zapotřebí odstranit axiální zatížení vyvolané hmotností spodní, otočné části použitím axiálního ložiska. Z tohoto důvodu byl při výběru proveden rychlý výpočet maximálního možného statického zatížení ložiska. Tato hodnota je mnohonásobně vyšší než zatěžující síla a ložisko vyhovuje.

Poslední, pátá kapitola se zabývá ověřením tuhosti upínacích čelistí a nosné konstrukce. Tato analýza byla provedena v programu Siemens Solid Edge ST9 v prostředí pro simulace. Pomocí simulací při použití reálných okrajových podmínek zatížení a uložení byly zjištěny maximální hodnoty posunutí jednotlivých součástí. Hodnota posunutí pevné čelisti činí 0,0005 mm, posuvné čelisti 0,0002 mm a posunutí nosné konstrukce je 0,0005 mm. Byla splněna podmínka z požadavkového listu na předimenzování z hlediska tuhosti.

Po vytvoření modelu i s návrhem rozvodů vzduchu byla provedena simulace na kolize s ostatními periferiemi linky v programu RobotStudio od firmy ABB. Při vytvoření simulace chapadlo nekolidovalo s ostatními díly a navržené konstrukční řešení je plně funkční.

Součástí cílů diplomové práce je vytvoření kompletní výkresové dokumentace chapadla na podélné uchopení polotovarů čítající 21 výkresu, zahrnující celkovou sestavu chapadla, 3 sestavy svařenců včetně kusovníku jednotlivých částí, nosné konstrukce, pevné čelisti, posuvné čelisti a točny a výkresové dokumentace dílců dle požadavků zadavatele.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KOLÍBAL, Zdeněk, 2016. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně – nakladatelství VUTIUM, 787 s. ISBN 978-80-214-4828-5.
- [2] *Automatizace a automatizační technika: systémové pojetí automatizace*, 2014. Brno: Computer Press, 2 sv. (217; 241 s.). ISBN 978-80-251-3628-7.
- [3] ČADA, Radek, 2010. *Technologie tváření a slévání*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava. ISBN 978-80-248-2274-7.
- [4] ZEZULKA, František, 2004. *Prostředky průmyslové automatizace*. Brno: VUTIUM, 176 s. ISBN 8021426101.
- [5] BENEŠ, Pavel, 2000. *Automatizace a automatizační technika*. Praha: Computer Press, x, 254 s. ISBN 80-7226-248-3.
- [6] HRUŠKA, František, 2001. *Technické prostředky automatizace IV: snímače, převodníky, regulátory, průmyslová výpočetní technika, ovládací jednotky*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 107 s. ISBN 807318026X.
- [7] NEUSTUPA, Zdeněk, 2013. *Technické prostředky automatizace* [online]. Ostrava: VŠB-TU Ostrava [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: http://homen.vsb.cz/~neu10/studium/Technicke%20prostredky%20automatizace/Tech-nicke%20prostredky%20automatizace_INOHGF.pdf
- [8] WOLF, Andreas, Ralf STEINMANN a Henrik SCHUNK, 2005. *Grippers in motion: the fascination of automated handling tasks*. 1. Berlin: Springer. ISBN 3540256571.
- [9] ČSN EN 60 529 *Stupně ochrany krytem (Krytí – IP kód)*, 1993. 1. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT.
- [10] ČSN EN ISO 14644-1, *Čisté prostory a příslušné řízené prostředí – Část 1: Klasifikace čistoty vzduchu podle koncentrace částic*, 2016. 1. Praha 1: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- [11] HAŠEK, Vladimír, 1965. *Kování: pomůcka pro studenty vysokých a odborných škol*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury. Řada strojírenské literatury.
- [12] SICILIANO, Bruno a Oussama KHATIB, ed., [2016]. *Springer handbook of robotics*. 2nd edition. Berlin: Springer. ISBN 978-3-319-32550-7.

- [13] VELÍŠEK, Karol, Branko KATALINIČ a Angela JAVOROVÁ, 2006. *Priemyselné roboty a manipulátory*. Bratislava: Vydavateľstvo STU. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 80-227-2492-0.
- [24] CHVÁLA, Břetislav, Robert MATIČKA a Jaroslav TALÁCKO, 1990. *Průmyslové roboty a manipulátory*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 275 s. ISBN 80-03-00361-X.
- [15] PISKAČ, Luděk, 2004. *Průmyslové roboty. 2.*, přeprac. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 149 s. ISBN 8070432780.
- [16] Produktová specifikace ABB IRB 6640, 2017. *ABB* [online]. [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: <https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3HAC028284-001&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- [17] *IRB 6640* [online], 2019. *ABB* [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: <https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=ROB0001EN&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- [18] PŘÍHODA, Miroslav a Miroslav RÉDR, 2008. *Sdílení tepla a proudění. 2.*, přeprac. vyd. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava. ISBN isbn978-80-248-1748-4.
- [19] *Kovárna VIVA a.s.* [online], 2019. [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: <https://www.viva.cz/>
- [20] *Proximity sensors SMT/SME-10, for C-slot* [online], 2016. In: FESTO [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: <https://docs-emea.rs-online.com/web-docs/14f1/0900766b814f1364.pdf>
- [21] *FESTO SENSORS* [online], 2018. FESTO [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/53453/Sensoren_en_V05_M.pdf
- [22] *Foundary Plus 2, Foundary robot protection* [online], 2010. *ABB* [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: https://library.e.abb.com/public/ffa244fbc5cad573c1257b130057a565/ROB0180EN_C%20LR.pdf
- [23] *Ct24.ceskatelevize* [online], 2015. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://ct24.ceskatelevize.cz/ekonomika/1606911-v-zari-pribylo-pripadu-hromadneho-propousteni-nejhur-zasahlo-karvinou>
- [24] Indikční ohřivače, *Roboterm* [online]. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://www.roboterm.cz/reference/indukcni-ohrivace/kso-do-630-kw/kompaktni-stredofrekvencni-ohrivac-kso-630/3-c25>

- [25] Kovací lis, *Cpforge* [online]. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <http://www.cpforge.com/cs/page/male-zapustkove-kovani>
- [26] *Katalogový list PNEUMATICKÉ VÁLCE DVOJČINNÉ ISO 15552, VDMA 24562, NF E 49003.1* [online], [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: https://www.stranskyapetrzik.cz/objekty/katalog_14_strana_2-2.pdf
- [27] *Katalogový list otočný magnetický válec série CRW* [online], [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: https://www.stasto.eu/crmablage/dokumenteweb/Otočný%20magnetický%20válec%20série%20CRW-01_1019_4_5460_CS_V1.pdf
- [28] *Katalogový list kulová spojka na pístní tyč* [online], [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: https://www.stranskyapetrzik.cz/objekty/katalog_14_strana_4-3.pdf
- [29] *Katalogový list NÁSTRČNÉ ŠROUBENÍ Z PONIKLOVANÉ MOSAZI* [online], [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: https://www.stranskyapetrzik.cz/objekty/katalog_14_strana_10-2.pdf
- [30] *TECHNICKÉ VÝPOČTY* [online], [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/technicke-vypocty>
- [31] HAVRLANT, Oldřich, *Konstrukční řešení uchopovacích prvků průmyslového robotu v Kovárně VIVA a.s.* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: http://digital.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/28583/havrlant_2014_dp.pdf?sequence=1
- [32] SKAŘUPA, Jiří, 2007. *Průmyslové roboty a manipulátory: učební text* [online]. Ostrava [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/PRM/Text/Skripta_PRaM.pdf

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CAD Computer Aided Design

ČSN Česká státní norma

DIN Německá národní norma

FEM Finite Element Method

ISO International Organization for Standardization

t	Teplota	$[^{\circ}C]$
T	Teplota v Kelvinech	$[K]$
a	Zrychlení robotu	$[m \cdot s^2]$
a_z	Zrychlení vertikální	$[m \cdot s^2]$
F	Síla	$[N]$
p	Tlak vzduchu	$[MPa]$
f	Součinitel smykového tření	$[-]$
g	Gravitační zrychlení	$[m \cdot s^2]$
m	Hmotnost	$[kg]$
α	Úhel prizma	$[^{\circ}]$
d	Průměr výkovku	$[mm]$
G	Síla vyvolaná tíhou manipulovaného objektu	$[N]$
ε	Úhlové zrychlení	$[^{\circ} \cdot s^{-2}]$
ω	Úhlová rychlost	$[^{\circ} \cdot s^{-1}]$
L	Délka výkovku	$[m]$
σ_o	Stefanova-Boltzmannova konstanta	$\left[\frac{W}{m^2 \cdot K^4} \right]$
C_o	Emisní konstanta černého tělesa	$\left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$
k	Koeficient bezpečnosti	$[-]$
ε_o	Relativní sálavost oceli	$[-]$
λ	Součinitel tepelné vodivosti	$\left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$
δ	Tloušťka izolace	$[m]$
S	Sálající plocha	$[m^2]$
Q	Vysálané teplo	$[W]$
T_2	Teplota na vnější straně izolace	$[K]$

α_k	Součinitel místního přestupu tepla	$\left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$
q	Hustota tepelného toku	$\left[\frac{W}{m^2} \right]$
t_1	Teplota na vnější straně izolace	$[^\circ]$
t_2	Teplota na vnitřní straně vnější izolace	$[^\circ]$
t_3	Teplota na vnitřní straně vnitřní izolace	$[^\circ]$
t_4	Teplota na vnější straně vnitřní izolace	$[^\circ]$
F_g	Síla potřebná pro uchopení polotovaru	$[N]$
$F_{v\acute{a}lce}$	Upínací síla pneumatického válce	$[N]$
F_a	Reálné zatížení ložiska	$[N]$
C_o	Statická únosnost ložiska	$[N]$

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Zápustkové kování v kovárně VIVA a.s. [23]</i>	12
<i>Obr. 2. Závislost výdajů na flexibilitě chapadla [8]</i>	14
<i>Obr. 3. Typy převodů transformačního bloku. [1]</i>	15
<i>Obr. 4. kinematická struktura uchopovacích efektorů s převodem T1 (a) a chapadlo typu T1 s pohonem lineárním pneumatickým motorem a posuvnými protiběžnými čelistmi č. 3 (b). [1]</i>	16
<i>Obr. 5. Kinematická struktura uchopovacích efektorů s převodem T2. [1]</i>	16
<i>Obr. 6. Koncové efekторы pro manipulaci s tvarově složitými objekty pro vnější uchopení (a, b) a pro vnitřní uchopení (c) [1]</i>	17
<i>Obr. 7. Jehlové chapadlo [8]</i>	17
<i>Obr. 8. Princip senzoru koncové polohy pneumatického válce [2]</i>	20
<i>Obr. 9. Použití senzoru SMT-/SME-8M na pneumatického válce od firmy FESTO [21]</i>	20
<i>Obr. 10. a) Řez jednočinným pneumatickým válcem a jeho schematická značka, b) řez dvojčinným přímočarým pneumatickým válcem a schematická značka [2]</i>	23
<i>Obr. 11. Schematické značky rozvaděčů [2]</i>	25
<i>Obr. 12. Schematické značky [2]</i>	26
<i>Obr. 13. Patice robotu ABB IRB 6640, A – R1.CP/CS konektor, B – R1.SP/FB7 konektor, C – R1 svařovací konektor, D – R1.PROC 1-4 konektor, E – R1. ETHERNET konektor. [16]</i>	26
<i>Obr. 14. Příklady vnějšího vedení kabeláže [16]</i>	27
<i>Obr. 15. Velikost operačního prostoru (zleva robot od firmy KUKA, vpravo ABB) [1]</i>	29
<i>Obr. 16. Změna maximálního dosahu v závislosti na vzdálenosti těžiště nástroje od osy příruby tzv. LOAD DIAGRAM, robot ABB IRB 6640 [16]</i>	30
<i>Obr. 17. Síly a momenty působící na uchycení v podlaze [16]</i>	31
<i>Obr. 18. FoundryPlus robot ochrana od Firmy ABB [22]</i>	32
<i>Obr. 19. Proces přemístění manipulovaného tělesa, zprava doleva [8]</i>	34
<i>Obr. 20. Nejčastější příklady uchopení objektu [31]</i>	36
<i>Obr. 21. Rozložení linky „layout“</i>	40
<i>Obr. 22. polotovar ohřátý v indukčním ohříváči</i>	41
<i>Obr. 23. Tvar polotovaru po operaci pēchování (pēch)</i>	41

<i>Obr. 24. Výsledný výkovek.....</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 25. ABB IRB 6640-185/2.8 [17].....</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 26. Pracovní rozsah ABB IRB 6640-185/2.8 [17].....</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 27. Koncepční řešení č. 1</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 28. Koncepční řešení č. 2</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 29. Koncepční řešení č. 3</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 30. Nosná konstrukce</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 31. Celková sestava nosné konstrukce</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 32. Nosný prvek spodní, otočné části (pevná čelist).....</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 33. Posuvná čelist.....</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 34. Prvek s hřídelí a pneumatickým upínacím prvkem.....</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 35. Sestava spodní, otočné části chapadla</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 36. Sestava chapadla pro podélné uchopené polotovaru, včetně rozvodu vzduchu</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 37. Uchycení maximálního možného polotovaru</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 38. Uchycení polotovaru s minimálními možnými rozměry</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 39. Odečtení polohy těžiště a celkové hmotnosti chapadla (Mass = celková hmotnost, Center of Gravity = poloha těžiště)</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 40. Těžiště chapadla</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 41. Zaznačení hodnoty polohy těžiště chapadla s výkovek do zátěžového diagramu IRB 6640. [18]</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 42. Upevnění chapadla na přírubu robotu IRB 6640, včetně rozvodů vzduchu</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 43. Renderovaný snímek zobrazení materiálu na jednotlivých částech sestavy chapadla</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 44. Upínací pneumatický válec od firmy Stránský a Petržík [26]</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 45. Vzdálenost těžiště spodní, otočné části od osy otáčení</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 46. Pneumatický otočný válec od firmy Stasto série CRW [27].....</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 47. Kulová spojka na pístní tyč [28]</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 48. Nástrčné šroubení z poniklované mosazi, vlevo přímé šroubení, vpravo průchodka [29].....</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 49. Senzor SMT-/SME-8M od firmy FESTO [20]</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 50. Grafické zobrazení případu sálání s následným prostupem tepla složenou stěnou izolace</i>	<i>61</i>

<i>Obr. 51. Gradient teploty složené stěny.....</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 52. Výpočet uchopovací síly pro náš případ uchycení polotovaru [8]</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 53. Výpočet kvadratického momentu průřezu v ohybu U profilu [30].....</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 54. Výpočet průhybu staticky určitého nosníku [30].....</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 55. Posunutí pravé strany uchopovacího prvku při zatížení upínací silou F</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 56. Posunutí levé strany uchopovacího prvku při zatížení upínací silou F.....</i>	<i>69</i>
<i>Obr. 57. Posunutí U profilu zatíženého vlastní hmotností otočného prvku.....</i>	<i>70</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Rozdělení úchopných prvků dle výše uvedených hledisek. [1]</i>	<i>14</i>
<i>Tab. 2. Požadavky pro uchycení do podlahy ABB IRB 6640 [16].....</i>	<i>31</i>
<i>Tab. 3. Maximální počet částic ve vzduchu pro třídu 5 dle normy ČSN EN ISO 14644-1 [10]</i>	<i>33</i>
<i>Tab. 4. Základní informace o manipulovaném předmětu [32]</i>	<i>35</i>
<i>Tab. 5. Vybrané informace z katalogového listu [17]</i>	<i>44</i>
<i>Tab. 6. Základní rozměry polotovarů</i>	<i>45</i>
<i>Tab. 7. Požadavkový list</i>	<i>46</i>
<i>Tab. 8. Morfologická matice řešení</i>	<i>47</i>
<i>Tab. 9. Tabulka vstupních parametrů</i>	<i>62</i>
<i>Tab. 10. Obvyklé hodnoty součinitele místního přestupu tepla [18]</i>	<i>63</i>
<i>Tab. 11. Hodnoty pro výpočet uchopovací síly.....</i>	<i>65</i>

SEZNAM PŘÍLOH

PI Výkresová dokumentace:

- DP-PI-001-A3 – Sestava chapadla
- DP-PI-002-A3 – Nosná konstrukce
- DP-PI-003-A4 – Příruba robotu
- DP-PI-004-A4 – Žebro nosné konstrukce
- DP-PI-005-A4 – Uchytení kabeláže
- DP-PI-006-A4 – Příruba pneumatického válce
- DP-PI-007-A3 – U profil nosné konstrukce
- DP-PI-008-A3 – Pevná čelist
- DP-PI-009-A3 – U profil pevná čelist
- DP-PI-010-A4 – Plochá tyč 1
- DP-PI-011-A4 – Plochá tyč 2
- DP-PI-012-A4 – Plochá tyč 3
- DP-PI-013-A4 – Žebro pevná čelist
- DP-PI-014-A3 – Pevná čelist
- DP-PI-015-A4 – Plochá tyč 4
- DP-PI-016-A4 – Plochá tyč 5
- DP-PI-017-A4 – Žebro posuvná čelist
- DP-PI-018-A4 – Točna
- DP-PI-019-A3 – Blok
- DP-PI-020-A4 – Hřídel
- DP-PI-021-A4 – Víko

PII DVD-ROM obsahující:

- Diplomová práce
- Sestava chapadla
- Výkresová dokumentace