

# Návrh stanice pro systém rychlé výměny chapadla na kovací lince

Bc. Ondřej Sadil

---

Diplomová práce  
2023

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2022/2023

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	<b>Bc. Ondřej Sadil</b>
Osobní číslo:	<b>T21416</b>
Studijní program:	<b>N3909 Procesní inženýrství</b>
Studijní obor:	<b>Konstrukce technologických zařízení</b>
Forma studia:	<b>Prezenční</b>
Téma práce:	<b>Návrh stanice pro systém rychlé výměny chapadla na kovací lince</b>

## Zásady pro vypracování

1. Provedte rešerši k problematice systémů pro rychlou výměnu chapadel a jejich příslušenství.
2. Provedte analýzu současného stavu a zpracování podkladů nezbytných pro návrh zařízení.
3. Navrhněte konstrukční řešení dle požadavků na konkrétní kovací linku.
4. Zpracujte 3D vizualizaci zvoleného řešení v CAD prostředí a vypracujte výrobní dokumentaci.
5. Ověřte navržené řešení v prostředí ABB Robot Studia.

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

Seznam doporučené literatury:

WOLF, Andreas; SCHUNK, Henrik A. *Grippers in motion: the fascination of automated handling tasks*. Carl Hanser Verlag GmbH Co KG, 2018, dostupné z:

<https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpGMTFAHT2/grippers-in-motion-fascination/grippers-in-motion-fascination>  
HARIK,

Ramy; WUEST, Thorsten. *Introduction to Advanced Manufacturing*. SAE, 2020, dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kplAM00001/introduction-advanced/introduction-advanced>

ÚŘEDNÍČEK, Zdeněk. *Robotika*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2012, 1 online zdroj (280 s.). ISBN 9788074542237. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/18589>

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

Datum zadání diplomové práce: **2. ledna 2023**  
Termín odevzdání diplomové práce: **12. května 2023**

**prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D. v.r.**  
děkan

L.S.

**Ing. Martin Bednařík, Ph.D. v.r.**  
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 7. února 2023

## **PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE**

Beru na vědomí, že:

- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji diplomovou 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;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou 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);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považuji se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

### **Prohlašuji,**

- že jsem diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....  
podpis studenta

## **ABSTRAKT**

Záměrem této diplomové práce je navrhnout konstrukční řešení výměnného mechanismu, který bude otáčet chapadla o 180° prostřednictvím specifikovaného pohonu. V současné situaci dochází k výměně chapadel na kovací lince manuálně. Tato metoda není zcela bezpečná, proto zde přichází v úvahu celý proces zautomatizovat a snížit tak i prostoje pomocí navrženého mechanismu. Na závěr je provedena pevnostní analýza, zdali při otáčení chapadel nebude docházet k deformaci dílčích součástí a je popsán princip automatické výměny chapadel ve virtuálním prostředí.

Klíčová slova: návrh, mechanismus, chapadlo, kování, otáčení, výměna chapadel.

## **ABSTRACT**

The intention of this thesis is to design a mechanism that will rotate the grippers by 180° using a specified actuator. In the current situation, the grippers are replaced manually. This method is not completely safe, so the aim is to automate the whole process and reduce downtime by using the proposed mechanism. Finally, a strength analysis is performed to determine whether deformation of the components will occur when the grippers are rotated and the principle of automatic gripper replacement is described in a virtual environment.

Keywords: design, mechanism, gripper, forging, rotation, changing grippers.

Chtěl bych touto formou poděkovat svému vedoucímu doc. Ing. Ondřeji Bílkovi, Ph.D. za jeho příjemný přístup, trpělivost, cenné rady a připomínky týkajících se mé diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat kolegům ve společnosti Kovárna VIVA a.s. za jejich výborný přístup, ochotu, trpělivost a podporu.

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

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>10</b>
<b>1 PRŮMYSLOVÉ ROBOTY A MANIPULÁTORY</b> .....	<b>11</b>
1.1 AUTOMATIZACE A ROBOTIZACE .....	12
1.2 HISTORIE PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ A MANIPULÁTORŮ .....	13
1.3 KLASIFIKACE PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ A MANIPULÁTORŮ .....	13
1.4 APLIKACE PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ A MANIPULÁTORŮ .....	16
1.4.1 Robotické svařování .....	17
1.4.2 Robotické kování .....	17
<b>2 POHONY MANIPULÁTORŮ A PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ</b> .....	<b>19</b>
2.1 PNEUMATICKÉ POHONY .....	19
2.2 HYDRAULICKÉ POHONY .....	19
2.3 ELEKTRICKÉ POHONY .....	20
2.4 PŘEVODOVKY .....	21
2.4.1 Planetové převodovky .....	21
2.4.2 Harmonické převodovky .....	22
2.4.3 Cykloidní převodovky .....	23
2.4.4 Šnekové převodovky .....	23
<b>3 METODY VÝMĚNY NÁSTROJŮ</b> .....	<b>25</b>
3.1 MANUÁLNÍ VÝMĚNA NÁSTROJŮ .....	25
3.2 AUTOMATICKÁ VÝMĚNA NÁSTROJŮ .....	25
3.3 VÝHODY POUŽITÍ MĚNIČE NÁSTROJŮ .....	26
3.4 APLIKACE MĚNIČE NÁSTROJŮ .....	27
<b>4 SENZORY</b> .....	<b>28</b>
4.1 ODPOROVÉ SENZORY .....	28
4.2 KAPACITNÍ SENZORY .....	29
4.3 INDUKČNÍ SENZORY .....	30
4.4 MAGNETICKÉ SENZORY .....	31
4.5 OPTICKÉ SENZORY .....	31
4.6 ULTRAZVUKOVÉ SENZORY .....	32
<b>5 OBJEMOVÉ TVÁŘENÍ</b> .....	<b>33</b>
5.1 KOVÁNÍ .....	33
5.1.1 Kování s otevřenou zápustkou .....	33
5.1.2 Zápustkové kování .....	34
5.1.3 Pěchování .....	35

5.2	BĚŽNÉ VADY KOVÁNÍ.....	36
<b>6</b>	<b>SHRNUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI.....</b>	<b>37</b>
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST.....</b>	<b>38</b>
<b>7</b>	<b>ÚVOD DO PROBLEMATIKY.....</b>	<b>39</b>
7.1	O FIRMĚ.....	39
7.2	POPIS AKTUÁLNÍ VÝMĚNY CHAPADEL NA KOVACÍ LINCE.....	39
7.3	POŽADAVKOVÝ LIST.....	41
<b>8</b>	<b>NÁVRH KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ.....</b>	<b>42</b>
8.1	POPIS A PARAMETRY VYBRANÉ VARIANTY.....	43
<b>9</b>	<b>KONSTRUKČNÍ POSTUP.....</b>	<b>45</b>
9.1	KONSTRUKCE VÝMĚNNÉHO MECHANISMU.....	45
9.1.1	Konstrukce z jackelů.....	45
9.1.2	Profily nerovnoramenné L a profily U válcované za tepla.....	46
9.1.3	Krytování výměnného mechanismu.....	47
9.1.4	Specifikace pohonu pro otáčení.....	49
9.1.5	Bezpečnostní prvky mechanismu.....	52
9.1.6	Hřídelová spojka.....	55
9.1.7	Hřídele.....	56
9.1.8	Ložiskový domek.....	57
9.1.9	Rotační deska.....	58
9.1.10	Vidlička s žebry.....	59
9.1.11	Kartáčová lišta.....	61
9.1.12	Rozvaděčová skříň.....	61
9.1.13	PLC – programovatelný logický automat.....	62
<b>10</b>	<b>PEVNOSTNÍ ANALÝZA.....</b>	<b>63</b>
10.1	DEFORMACE.....	63
10.2	KOEFICIENT BEZPEČNOSTI.....	64
<b>11</b>	<b>VÝPOČTOVÁ DOKUMENTACE.....</b>	<b>65</b>
11.1	VÝPOČET KOUTOVÉHO SVARU VIDLIČKY A ROTAČNÍ DESKY.....	65
<b>12</b>	<b>PRINCIP AUTOMATICKÉ VÝMĚNY CHAPADEL.....</b>	<b>67</b>
12.1	AUTOMATICKÁ VÝMĚNA CHAPADEL VE VIRTUÁLNÍM PROSTŘEDÍ.....	67
<b>13</b>	<b>DISKUZE ŘEŠENÍ.....</b>	<b>70</b>
	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>71</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>72</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>77</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>79</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>81</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>82</b>



## ÚVOD

Téma, které je rozebráno v předložené diplomové práci vzniklo v kovárenském průmyslu. Jedná se o konstrukční téma, kde cílem je navrhnout stanici pro systém rychlé výměny chapadla na kovací lince. Téma vzniklo vzhledem k vysokému riziku zranění při manuální výměně chapadel, jelikož samotné chapadlo váží přibližně 60–100 kg, mimo jiné také z důvodu urychlení procesu výměny – automatizace.

Teoretická část diplomové práce je rozdělena do šesti kapitol. V první kapitole je rozebrána klasifikace, historie a aplikace průmyslových robotů a manipulátorů. Druhá kapitola se zabývá rozdělením pohonů. Třetí kapitola je věnována metodám výměny nástrojů. Ve čtvrté kapitole jsou rozebrány typy senzorů. V páté kapitole jsou rozebrány druhy kování a na závěr je provedeno shrnutí teoretické části.

V praktické části diplomové práce je popsáno konstrukční řešení navrženého výměnného mechanismu, který bude využit v provozu ve společnosti Kovárna VIVA a.s. Navržené komponenty je nutné ověřit pomocí pevnostní analýzy, zdali jsou vyhovující. Na závěr je mechanismus zakomponován do výrobní linky a ověřuje se jeho funkčnost při procesu.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 PRŮMYSLOVÉ ROBOTY A MANIPULÁTORY

Průmyslový robot je definován jako skupina pevných článků spojených klouby různých typů, které jsou řízeny a monitorovány počítačem.

Jednou z vlastností robota je schopnost pracovat automaticky a samostatně. To znamená, že musí mít vestavěnou inteligenci, programovatelnou paměť nebo jednoduché uspořádání nastavitelných mechanismů, které dávají povely k manipulaci.

Průmyslové roboty jsou pokročilé automatizační systémy, které jsou většinou řízeny počítačem. Počítače dnes tvoří důležitou součást průmyslové automatizace. Dohlížejí na výrobní linky a řídí výrobní systémy (např. obráběcí stroje, svářečky, laserová řezací zařízení atd.). Nová generace robotů vykonává různé úlohy v průmyslovém odvětví a podílí se na plné automatizaci továren. [1]

Průmyslové roboty a manipulátory lze dělit:

1. Ruční manipulátory: provádějí pevné nebo předem nastavené sekvence úloh,
2. Roboty s funkcí opakování: opakují předem naprogramované pevné instrukce,
3. NC robot: provádí úlohy prostřednictvím číselně načtených informací,
4. Inteligentní roboty: provádějí úkoly prostřednictvím vlastních rozpoznávacích schopností.

Průmyslové roboty a manipulátory přinášejí konkrétní výhody pracovníkům, průmyslovým odvětvím i zemím. Pokud jsou průmyslové roboty správně nakonfigurovány, mohou zlepšit kvalitu výroby tím, že zbaví pracovníky špinavé, nudné, nebezpečné a těžké práce. [1]

Mezi hlavní výhody použití robotů lze řadit:

- Zvýšení produktivity, bezpečnosti, efektivity, kvality a konzistence výrobků při použití robotů.
- Práce v nebezpečných prostředích bez obav o bezpečnost,
- Není nutný komfort prostředí, jako je osvětlení, klimatizace, větrání a ochrana proti hluku,
- Opakovatelná přesnost za všech okolností,
- Mohou pracovat nepřetržitě bez náznaku únavy.

Nevýhody použití robotů:

- Při vzniku mimořádné situace není robot schopen reagovat, pokud situaci nelze předvídat. Z tohoto důvodu je nutné zavést bezpečnostní opatření, aby nedošlo ke zranění pracovníků nebo k poškození strojů,
- Vysoká pořizovací cena. [1]

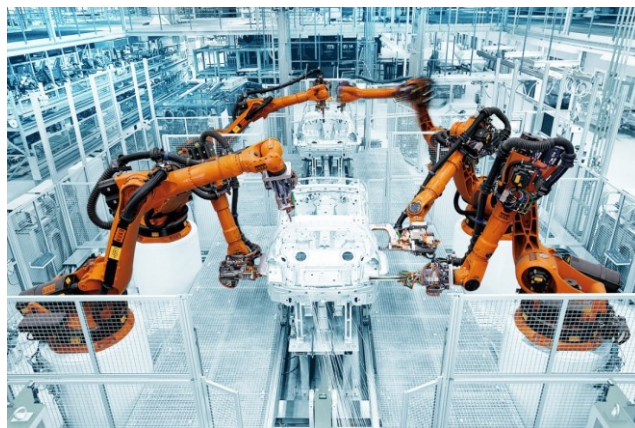
## 1.1 Automatizace a robotizace

Slovo automatizace pochází z řeckého slova "automatos", což znamená samočinný. Automatizaci lze obecně definovat jako proces, při kterém se provádí předem stanovená posloupnost operací s malým množstvím lidské práce nebo zcela bez ní, a to pomocí specializovaných zařízení, strojů a přístrojů, které provádějí a řídí výrobní procesy. Automatizace v plném slova smyslu lze dosáhnout pomocí různých zařízení, senzorů, techniky a vybavení, které jsou schopny sledovat výrobní proces, rozhodovat o změnách. [2]

Druhy automatizace:

- pevná automatizace,
- programovatelná automatizace,
- flexibilní automatizace.[1]

Robotizace je definována jako implementace robotů v průmyslu místo člověka. V dnešní době se jedná o velmi častý krok, který využívají spousta firem pro větší efektivitu výroby především v průmyslu. Na obrázku 1 je znázorněn automatizovaný proces výroby za pomoci průmyslových robotů a manipulátorů.[3]



Obr. 1 Průmyslová automatizace a robotizace [4]

## 1.2 Historie průmyslových robotů a manipulátorů

Slovo robot vždy označuje automatizovaný multifunkční manipulátor, který pracuje pomocí energie a vykonává různé úkoly. Slovo robot se objevilo v roce 1920 ve hře Karla Čapka R.U.R. [5]

Jedním z prvních typů robotů byl zpětnovazební (samoopravný) řídicí mechanismus. roce 1954 vyvinul americký vynálezce George Devol, Jr. primitivní rameno, které bylo možné naprogramovat k provádění konkrétních úkolů. V roce 1975 vyvinul americký strojní inženýr Victor Scheinman skutečně flexibilní víceúčelový manipulátor známý jako Programovatelná univerzální manipulační ruka, která je znázorněna na obrázku 2. Dokázala pohybovat předmětem a umístit jej s libovolnou orientací na požadované místo.



*Obr. 2 Programovatelná univerzální manipulační ruka [5]*

Před rokem 1960 pojem robot obvykle znamenal mechanické zařízení podobné člověku (humanoid), které je schopno vykonávat lidské úkoly nebo se chovat lidským způsobem. Dnes se roboty vyskytují v mnoha odvětvích a velikostech, od malých robotů pro různé aplikace až po větší roboty na kolečkách, které dokážou hrát fotbal s míčem.[6]

V roce 1995 bylo na světě v provozu přibližně 700 000 robotů. Významným uživatelem robotů je automobilový průmysl. Jen v České republice se používá až 75 % pořízených robotů v automobilovém průmyslu.

## 1.3 Klasifikace průmyslových robotů a manipulátorů

Strukturálně se roboty dělí podle souřadnicového systému takto:

- Kartézský robot: Vlastnosti kartézského robota (elektronické vybavení, řídicí program) jsou stejné jako u CNC obráběcích strojů. Kartézské roboty nejsou v průmyslu upřednostňovány, protože nemají mechanickou flexibilitu,

- Cylindrický (válcový) robot: Válcové roboty mají jeden úhlový rozměr a 2 lineární rozměry. Hlavní tělo takového robota se skládá z vodorovného ramene upevněného na svislém sloupu. Sloup je namontován na otočné základně,
- Sférický (polární) robot: Roboty tohoto typu se skládají z otočné základny, zvedací části a teleskopického ramene, které se pohybuje dvěma směry. Dva rozměry sférických robotů jsou úhly a třetí je lineární vzdálenost od výchozího bodu. Tyto roboty pracují podle sférických souřadnic a nabízejí větší flexibilitu,
- Kloubový robot: Kloubové roboty se skládají ze tří konstantních částí (článků), které jsou spojeny otočnými klouby a umístěny na otočné základně. Nástroj (chapatlo) je upevněn na spodní části příruby robota za pomoci šroubů. Příklad kloubového robota lze vidět na obrázku 3 od firmy ABB,
- Robot SCARA: Jedním z mnoha typů robotů, které se v poslední době staly poměrně populární, je kombinace kloubového ramene a válcového robota. Tento robot má více než tři osy. [7]



*Obr. 3 Kloubový robot [8]*

Roboty podle zdroje energie lze dělit:

- Roboty s elektrickým pohonem,
- Roboty s pneumatickým pohonem,
- Roboty s hydraulickým pohonem.

Jednotlivé pohony jsou rozebrány níže v kapitole 2 – Pohony manipulátorů a průmyslových robotů. Na obrázku 4 je znázorněn příklad kolaborativního pneumatického robota.

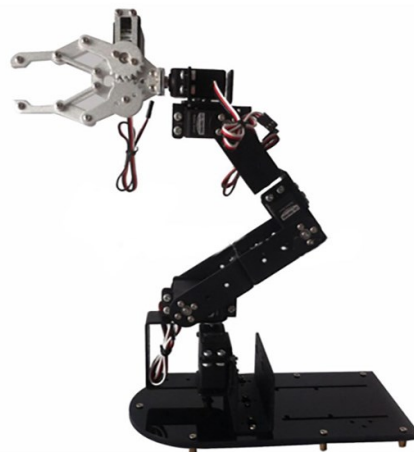


*Obr. 4 Kolaborativní pneumatický robot [9]*

Roboty dle způsobu řízení lze rozdělit:

- Roboty bez řízení servopohonu: mechanický systém dorazů a koncových spínačů, které jsou předem naprogramovány pro specifické opakované pohyby,

Roboty řízené servopohonem: Servopohon je schopen řídit rychlost, zrychlení a dráhu pohybu od začátku do konce dráhy. Využívá komplexní řídicí programy. Na obrázku 5 je znázorněn typický příklad robota řízený servopohonem.[7]



*Obr. 5 Robot řízený servopohonem [10]*

Roboty lze rozdělit podle způsobu programování, např.:

- Ruční programování,
- Průběžné programování,

- Průchozí programování.[7]



*Obr. 6 Ručně programovaný robot [11]*

#### **1.4 Aplikace průmyslových robotů a manipulátorů**

Roboty se používají v široké škále průmyslových aplikací. První komerční použití průmyslového robota se uskutečnilo v roce 1961, kdy byl instalován robot pro nakládání a vykládání stroje na tlakové lití. Použití robotů se uskutečnilo v oblastech, kde existoval vysoký stupeň nebezpečí pro člověka, například při svařování, lakování nebo slévárenských operacích. První aplikace se týkaly manipulace s materiálem, bodového svařování a lakování stříkáním. Roboty se zpočátku používaly při pracích, které byly těžké a nebezpečné, například při tlakovém lití, kování a bodovém svařování.

Mezi hlavní aplikace průmyslových robotů lze řadit:

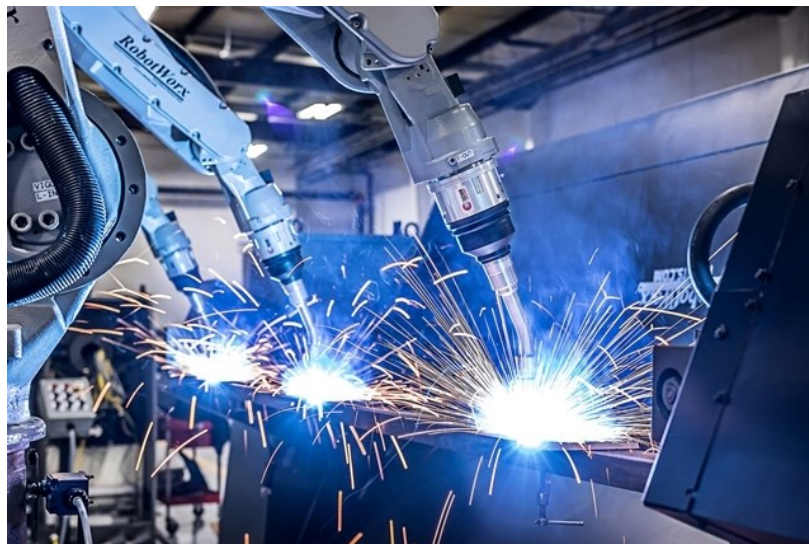
- Lakování,
- Nakládání a vykládání strojů,
- Obrábění,
- Tlakové lití,
- Kování,
- Přenos dílů,
- Lisování plastů,
- Dokončovací práce,
- Montáž.



### 1.4.1 Robotické svařování

Proces svařování, který obsahuje opakující se úlohy na podobných dílech, by mohl být vhodný i pro automatizaci. Náročnost automatizace procesu se určuje i dle potřebného počtu kusů dílů, které je nutno svařit. V případě, že svařované díly vyžadují vysokou přesnost a úpravu, bude automatizace obtížná nebo nemožná. Roboty se používají především u opakujících se úloh nebo u dílů stejných rozměrů, kde lze provádět svary i ve více osách. Proces robotického svařování je zaznamenán na obrázku 7.

Nejvýznamnějšími výhodami automatizovaného svařování jsou přesnost a produktivita. Robotické svařování zlepšuje opakovatelnost svarů. Jakmile jsou roboty správně naprogramovány, zajišťují pokaždé stejné svary na obrobcích.[1].



*Obr. 7 Robotické svařování [12]*

### 1.4.2 Robotické kování

Roboty se používají v mnoha různých typech kovacíh aplikací, jako jsou kovářské operace s kladivem, válcové kování nebo lisování pro tváření za tepla. V některých případech robot plní funkci obsluhy kovacího stroje nebo roli kovářského pomocníka.

Při klasickém kování obsluha určuje, kdy je vhodné vyjmout díl z jedné zápusky a přesunout jej do další. Funkce robota v této aplikaci může spočívat v tom, že funguje jako kovářský pomocník. Při práci s těžšími díly lze robota použít k nakládání a vykládání nebo ke zpracování zápusky do kovacího lože, kde je může převzít obsluha a díly zpracovat. Robot pak může manévrovat s hotovým výrobkem. Na obrázku 8 lze vidět automatizovaný proces kování s využitím průmyslových robotů.[1]



*Obr. 8 Robotické kování [13]*

## 2 POHONY MANIPULÁTORŮ A PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ

Schopnost ovládat různé druhy motorů je důležitá v řadě současných aplikací, od montážních robotů, dálkově ovládaná vozidla, přesné polohování lékařských přístrojů přes hydromotory pro lisu, stavební stroje až po pneumatické nářadí nebo pásové dopravníky.[14]

### 2.1 Pneumatické pohony

Pneumatické neboli vzduchové motory se používají k výrobě nepřetržitého rotačního výkonu ze systému stlačeného vzduchu. Tyto motory jsou svou konstrukcí a funkcí podobné hydraulickým motorům. Pneumatické motory se používají v aplikacích, kde je vyžadován nízký až střední točivý moment. Typický příklad pneumatického motoru je znázorněn na obrázku 9.

Výhodou pneumatického pohonu je jeho nízká cena v kombinaci s velkými ovládacími momenty a rychlými regulačními časy v poměru k jeho velikosti.

Hlavní nevýhodou pneumatických pohonů je obtížné dosažení přesné polohy, a proto je nutné použít další regulační prvky pro přesné zastavení v mezipolohách. Tato nevýhoda vedla k rozsáhlému přechodu od pneumatických pohonů k elektrickým pohonům.[14]



Obr. 9 Pneumatický motor [15]

### 2.2 Hydraulické pohony

Hydraulické motory přeměňují hydraulickou energii na mechanickou. V průmyslových hydraulických okruzích se čerpadla a motory obvykle kombinují s vhodnými ventily a potrubím a vytvářejí hydraulicky poháněný převod. Čerpadlo, které je mechanicky spojeno s hlavním motorem, čerpá kapalinu ze zásobníku a přenáší ji do motoru. Kapalina uvádí do

pohybu pohyblivé součásti motoru. Hřídel, která je mechanicky spojena s pracovním zatížením, zajišťuje rotační mechanický pohyb. Nakonec je kapalina vypouštěna pod nízkým tlakem a převáděna zpět do čerpadla. Na obrázku 10 lze vidět příklad hydraulického motoru.

Hydraulické motory jsou součástí hydrostatických systémů přenosu výkonu. V závislosti na konkrétních aplikacích se tyto motory ukazují jako účinnější, vhodnější a hospodárnější než elektrické nebo pneumatické motory. [16]



*Obr. 10 Hydraulický motor [17]*

### **2.3 Elektrické pohony**

Elektromotory způsobují dohromady největší spotřebu elektřiny na světě. Elektromotory jsou účinné, spolehlivé, mají dlouhou životnost a většina z nich vyžaduje poměrně malou údržbu. Motory se nacházejí téměř na každém zařízení, které se používá k provádění nějakého procesu ve výrobě, těžbě a zemědělství. Dokonce i zařízení, která plní speciální funkce, mají často motory jako svou hlavní součást – například chladicí zařízení a vzduchové kompresory. Příklad elektromotoru lze vidět na obrázku 11.

Elektromotory jsou zařízení, která přeměňují elektrickou energii na rotační mechanickou energii. Motory lze dělit podle typu proudu. Existují motory buď se střídavým proudem nebo se stejnosměrným proudem. Motory se střídavým proudem mají mnohonásobně vyšší využití než se střídavým proudem.

Použití stejnosměrných motorů u chladičů, ventilátorů, čerpadel a dalších velkých zařízení se vyskytuje jen zřídka. Většina střídavých motorů jsou indukční motory, které jsou jednodušší, lehčí a levnější než alternativa – střídavý synchronní motor.[18]



*Obr. 11 Elektromotor [19]*

## 2.4 Převodovky

Převodovky se používají ve velmi široké škále průmyslových oblastí. Díky použití převodovek lze malou otáčivou sílu (točivý moment) využít k vytvoření mnohem větší otáčivé síly, a i malou rychlost otáčení lze zrychlit. V mnoha průmyslových odvětvích je převodovka, což je zařízení, které přenáší mechanickou sílu, nezbytnou součástí vybavení.[20]

### 2.4.1 Planetové převodovky

Planetová převodovka je souosá a je vhodná zejména pro aplikace s vysokým točivým momentem a nízkými otáčkami. Je cenově velmi výhodná oproti jiným převodovým systémům a nabízí vysokou účinnost při minimálních rozměrech. Pro podobné výstupní momenty je planetová převodovka nejkompaktnější převodovkou na trhu. Na obrázku 12 je znázorněn příklad planetové převodovky.[21]



*Obr. 12 Planetová převodovka [22]*



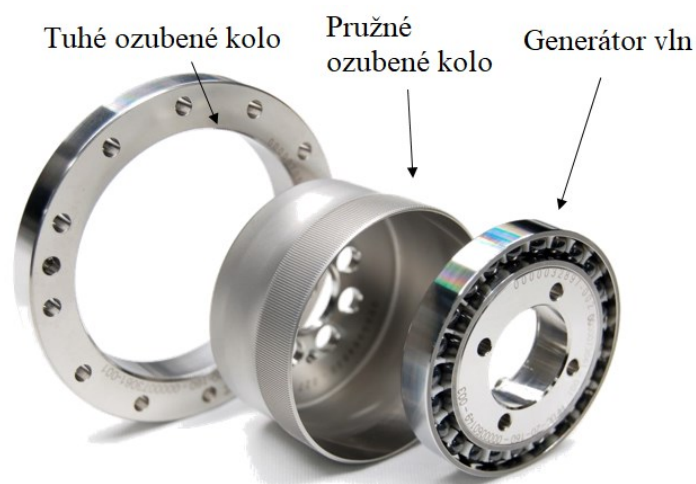
Tato konstrukce má za následek relativně nízké rychlosti mezi jednotlivými ozubenými koly a poskytuje vysoce efektivní konstrukci. Jednou z výhod je, že převodovka nemá žádné ohybové momenty generované přenášeným kroutícím momentem, takže tuhost je podstatně vyšší. Tyto převodovky mohou být také sestaveny koaxiálně s motorem, což vede ke kompaktnějšímu celkovému provedení. [21]

#### 2.4.2 Harmonické převodovky

Harmonická převodovka poskytuje velmi vysoký převodový poměr s minimálními vůlemi v kompaktní jednotce. Harmonický převod se skládá ze tří hlavních součástí:

- tuhé ozubené kolo,
- eliptický generátor vln,
- pružné ozubené kolo.

Tyto části jsou zaznamenány graficky níže na obrázku 13. Konstrukce těchto součástí závisí na typu převodovky, v tomto příkladu pružné ozubené kolo tvoří kalich. Fungování harmonické převodovky si lze představit tak, že tuhé ozubené kolo považujeme za pevné, přičemž zuby pružného ozubeného kola dokonale zapadnou do tuhého ozubeného kola. Klíčem k fungování je rozdíl dvou zubů mezi pružným ozubeným kolem a tuhým ozubeným kolem. Ložiska na generátoru vln podírají pružné ozubené kolo, zatímco generátor vln způsobuje její ohyb. Pouze malé procento zubů pružného ozubeného kola je zabíráno na koncích oválného tvaru, takže pružné ozubené kolo se může během otáčení generátoru vln volně otáčet o ekvivalent dvou zubů vůči tuhému ozubenému kolu.[21]



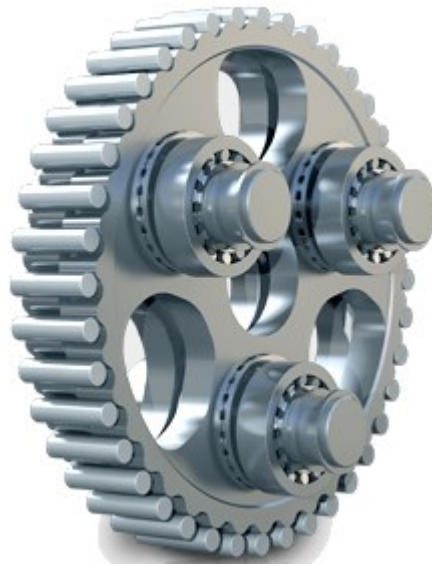
Obr. 13 Harmonická převodovka [23]

### 2.4.3 Cykloidní převodovky

Cykloidní převodovka má souosou konstrukci, nabízí vysoké redukční poměry v jednom stupni a vyznačuje se vysokou tuhostí a malou vůlí. Převodovka je vhodná pro náročné aplikace, protože má velmi vysokou rázovou zatížitelnost – až 500 %. Komerčně jsou cykloidní převodovky k dispozici v řadě velikostí s převodovými poměry od 6:1 do 120:1 a s možností přenosu výkonu až do přibližně 100 kW.

Konstrukce převodovky, která je vysoce spolehlivá a účinná, provádí převod otáček pomocí valivých pohybů, přičemž výkon je přenášen cykloidními kotouči poháněnými excentrickým ložiskem. Převodovka se skládá ze čtyř hlavních součástí, které jsou i znázorněny graficky na obrázku 14:

- Vysokorychlostní hřídel s excentrickým ložiskem,
- Cykloidní kotouč(e),
- Skříň převodovky obsahující čepy a válečky,
- Pomaloběžný hřídel poháněný kolíky a válečky.[21]



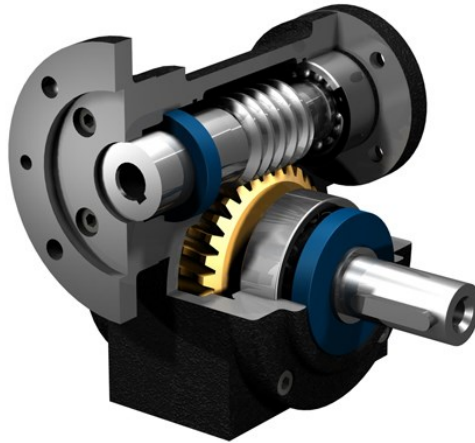
Obr. 14 Cykloidní převodovka [24]

### 2.4.4 Šnekové převodovky

Šneková převodovka se využívá k přenosu výkonu mezi dvěma neprotínajícími se hřídeli, jejichž osy k sobě svírají pravý úhel. Pohonem šnekového převodu je v podstatě šroub nebo šnek, který může mít jedno nebo vícestupňový závit, a ten zapadá do kola. Jednozavítočný šnek za jednu otáčku otočí šnekové kolo o jeden zub, tj. o jednu rozteč. Rychlostní poměr je

vysoký, například kolo se 40 zuby a jednozubým šnekem bude mít rychlostní poměr 40. Typický příklad šnekové převodovky pro různé účely lze vidět na obrázku 15.

Při použití šnekových převodovek lze dosáhnout vysokých mechanických výhod. Šnekové převodovky lze využít v mnoha aplikacích, například jako indexovací mechanismus na obráběcích strojích nebo jako měnič točivého momentu případně pomaloběžné pohony.[21]



*Obr. 15 Šneková převodovka [25]*



### 3 METODY VÝMĚNY NÁSTROJŮ

V dnešní době se v průmyslu nejčastěji vyskytují dvě metody pro výměnu nástrojů. Jedná se o manuální výměnu nástrojů nebo automatickou výměnu nástrojů. Nejpoužívanější metodou a zároveň nejlevnější metodou je manuální výměna nástrojů, ale vzhledem k tomu, že je nyní tendence všechny procesy v průmyslu automatizovat se začíná více využívat výměna automatická, především kvůli úspoře času. Automatická výměna nástrojů se používá hlavně ve větších firmách, které využívají robotické linky pro výrobu.

#### 3.1 Manuální výměna nástrojů

Manuální výměna nástrojů může probíhat tak, že pracovník nejprve demontuje nástroj (chapadlo), které je na robotu upevněno za pomoci šroubů a poté namontuje další chapadlo, které je již připraveno na uchycení. Tato metoda je jednoduchá, ale bohužel čas potřebný na výměnu chapadel je mnohonásobně vyšší než u metody automatické výměny. Čas při výměně nástrojů (chapadel) o větší hmotnosti se navyšuje z důvodu složitější manipulace s nástrojem.

#### 3.2 Automatická výměna nástrojů

Automatická výměna nástrojů využívá robotického měniče nástrojů, který umožňuje flexibilní automatickou výměnu koncových efektorů nebo jiných periferních nástrojů. Koncový efektor představuje chapadlo neboli nástroj upevněný na přírubě robota, které je schopno manipulovat s různými objekty. Měníče nástrojů jsou navrženy tak, aby spolehlivě fungovaly po miliony cyklů při jmenovitém zatížení. Z tohoto důvodu se měnič nástrojů stal celosvětově nejpoužívanějším produktem především v průmyslu.

Robotický měnič nástrojů se skládá ze dvou koncových efektorů se dvěma párujícími se částmi (robotická strana a nástrojová strana viz obrázky níže), které byly navrženy tak, aby se automaticky uzamkly nebo spojily, nesly užitečné zatížení a měly schopnost přenášet inženýrské sítě, jako jsou elektrické signály, pneumatika atd. Většina robotických spojek používá pneumatiku k uzamčení obou stran. Robot poskytuje měniči nástrojů flexibilitu pro jakýkoliv automatizovaný proces, který umožňuje výměnu nástrojů. Robotická strana měniče nástrojů se montuje na robota, CNC stroj nebo jinou konstrukci. Nástrojová strana měniče nástrojů se připevňuje k nástrojům, jako jsou uchopovače, svářečky nebo odjehlovací nástroje.

Robotický měnič nástrojů je také známý jako zařízení pro rychlou výměnu, automatický měnič nástrojů, robotický měnič nástrojů, robotická spojka nebo robotický konektor.



Obr. 16 Měnič nástrojů[27]

### 3.3 Výhody použití měniče nástrojů

Mezi hlavní výhody použití měniče nástrojů lze řadit:

- Pohodlný a rychlý proces výměny,
- Zkrácení doby výměny,
- Zlepšení efektivity výroby, čímž účinně řeší problémy firem,
- Extrémně vysoká opakovatelnost,
- Vysoká tuhost – Měnič nástrojů má velkou momentovou kapacitu díky vysoké pevnosti. Připojený měnič nástrojů zůstává tuhý i při pohybech s vysokou setrvačností, což zabraňuje selhání aretace nebo problémům s opakovatelností.
- Vynikající spolehlivost – Patentovaný uzamykací mechanismus s více kužely. Pneumatické porty využívají pryžová pouzdra s dlouhou životností, která zabraňují jakékoli ztrátě tlaku vzduchu. Elektrické kolíky pružinové sondy na hlavní desce zajišťují kontakt s pevnými kolíky na desce nástroje.
- Vynikající mechanismus uzamykání s ochranou proti selhání – Blokovací mechanismus je vybaven funkcí, která zabraňuje uvolnění desky nástroje z desky robota, pokud by došlo k náhodnému odstranění tlaku vzduchu v zámku.

- Lehká a kompaktní konstrukce,
- Flexibilita – Díky široké škále dostupných elektrických, pneumatických a fluidních modulů lze měniče nástrojů nakonfigurovat tak, aby vyhovovaly téměř každé aplikaci.[26]

### 3.4 Aplikace měniče nástrojů

- **Obsluha strojů:** Výměník nástrojů umožňuje robotovi vyměňovat chapadla mezi jednotlivými operacemi stroje. Může také poskytnout flexibilitu při manipulaci s různými výrobky. To se obvykle provádí prostřednictvím výměny nástrojů vybavené elektrickými a pneumatickými moduly.
- **Paletování:** Při paletizaci výrobků, které vyžadují různé manipulační techniky, měnič nástrojů umožňuje robotovi přepínat mezi vakuovým nástrojem, upínacím nástrojem a nástrojem na podpěru dna. Tato spojení se obvykle provádějí pomocí vakuových, pneumatických a elektrických modulů. Složitější nástroje mohou vyžadovat ethernetové a servomoduly.
- **Montáž:** Automatizované montážní úlohy mohou být nejběžnějším použitím pro měniče nástrojů. Pomocí měniče nástrojů může robot přepínat mezi různými uchopovači, upevňovacími nástroji a senzory. Obvykle tyto nástroje vyžadují elektrické a pneumatické moduly.
- **Odjehlování:** Robotické aplikace pro odstraňování otřepů jsou také jedním z největších využití měničů nástrojů. Odjehlování často vyžaduje různé rotační nástroje, aby bylo možné účinně odstranit otřepy z hran, rohů a otvorů. Tyto nástroje často vyžadují pouze základní měnič nástrojů bez dalších modulů.
- **Dávkování:** Upnutí měniče nástrojů k robotu pro aplikaci dávkování umožňuje robotu manipulaci s díly (nakládání nebo vykládání) mezi dávkovacími operacemi.
- **Svařování:** Podobně jako u dávkování přidáním měniče nástrojů umožňuje robotu manipulaci s díly mezi svařovacími operacemi. [28]

## 4 SENZORY

Senzor neboli snímač je základní součástí každého systému, který zpracovává informace a pracuje ve více než jedné fyzikální oblasti. Tyto oblasti jsou charakterizovány typem veličiny, která je nositelem příslušné informace. Příkladem jsou optická, elektrická, magnetická, tepelná a mechanická oblast. Převodník je ta část měřicího systému, která převádí informaci o měřené veličině z jedné oblasti do druhé, ideálně bez ztráty informace.

Snímač má alespoň jeden vstup a jeden výstup. V měřicích přístrojích, kde se zpracování informace provádí pomocí elektrických signálů, se nachází vstup nebo výstup elektrické veličiny (napětí, proud, odpor, kapacita atd.), druhou složku tvoří neelektrický signál (posunutí, teplota, pružnost atd.). Snímač s neelektrickým výstupem se nazývá výstupní snímač a je určen k převodu elektrického signálu na neelektrickou veličinu za účelem řízení této veličiny. Jednoznačnější definice převodníku je tedy elektrické zařízení, které převádí jednu formu energie na jinou se záměrem zachovat informaci.[29]

### 4.1 Odporové senzory

Tyto senzory lze definovat jako elektrický odpor, který je ovlivněn určitou fyzikální veličinou. Odporovým sensorům lze také říkat rezistory. Odpor se může měnit v závislosti na změně vlastností materiálu, úpravě geometrie nebo jejich kombinaci. Veličiny, které lze snadno měřit pomocí odporových sensorů, jsou teplota (termistory a kovové teploměry), světlo (LDR neboli světelně závislý rezistor), deformace (piezorezistory) a intenzita magnetického pole (magnetorezistory). Speciální konstrukcí nebo volbou materiálu lze rezistory využít ke snímání různých veličin, například síly, točivého momentu, tlaku, vzdálenosti, úhlu, rychlosti a zrychlení. Příklad odporového senzoru je znázorněn na obrázku 17.[29]

Mezi výhody odporových snímačů lze řadit například velkou přesnost při vysoké relativní vlhkosti. Nevýhody odporových snímačů zahrnují sníženou přesnost při nízké vlhkosti (typicky méně než 15 % relativní vlhkosti). [30]

Mezi další nevýhody odporových sensorů patří:

- Větší náchylnost k poškrábání,
- Malá citlivost, k aktivaci snímače je zapotřebí větší tlak (to však může být pro některé aplikace výhodou),

- Bez podpory vícedotykového ovládání (štípnutí, přiblížení atd.),
- Při intenzivním používání může dojít k poškození snímače a ten přestane reagovat. Pokud je povrch poškozen, senzor přestane fungovat,
- Snížení kontrastu vlivem dalších vrstev materiálu nad displejem.[31]



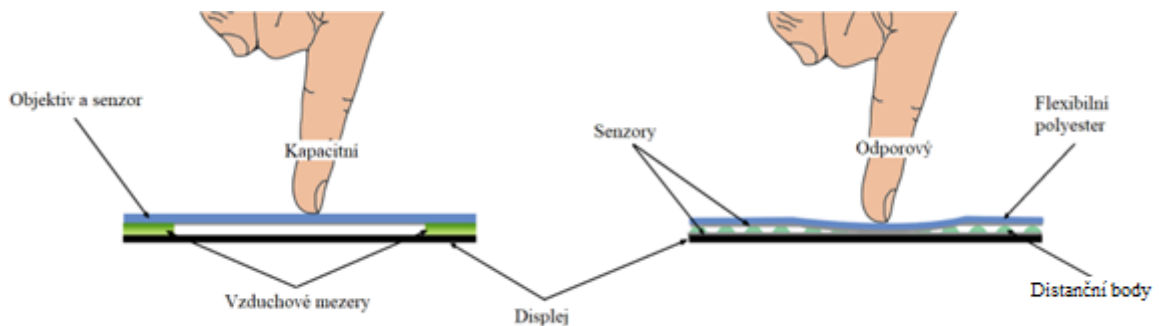
Obr. 17 Odporový senzor[32]

## 4.2 Kapacitní senzory

Kapacitní snímače pro měření posunutí a síly mají řadu výhod. Skládají se z dvojice vodičů. Kapacitní snímače jsou velmi robustní, stabilní a použitelné při vysokých teplotách a v náročných prostředích. Vyjádření teoretického vztahu mezi posunutím a kapacitou lze v praxi aproximovat s vysokou přesností, což vede k lineárnímu charakteru. Pomocí speciálních konstrukcí lze rozsah měření kapacitních snímačů téměř neomezeně rozšířit při zachování vysoké přesnosti. Navíc díky analogové povaze kapacitního principu mají tyto snímače vynikající rozlišení. Na obrázku 18 si lze povšimnout kapacitního senzoru, odporového senzoru a rozdílu mezi nimi.[29]

Mezi hlavní výhody kapacitních senzorů lze řadit:

- Malý teplotní křížový efekt, mnohem lepší než piezorezistivní senzory,
- Malé rozměry: čip má rozměry pouze  $0,6 \times 1,2$  mm,
- Žádný měřicí proud, možnost snímání s nízkou spotřebou energie.[33]



Obr. 18 Rozdíl mezi kapacitním a odporovým senzorem [31]

### 4.3 Indukční senzory

Tyto senzory měří změny indukčnosti způsobené pohybem prvku. Jsou pravděpodobně nejuniverzálnější ze všech polohových snímačů s širokým rozsahem provozních charakteristik. Indukční senzory jsou bezkontaktní, ze své podstaty robustní a mají nekonečné rozlišení. Typický příklad indukčního senzoru je znázorněn na obrázku 19. Vyznačují se vysokou opakovatelností a často se používají v případech, kde je důležitá dlouhodobá spolehlivost, zejména v drsných a nepříznivých prostředích. Na obrázku 19 je znázorněn.[34]

Výhody indukčních senzorů:

- Relativně nízká cena vzhledem k jeho široké oblasti použití,
- Pevný a robustní, schopný pracovat v nejrůznějších prostředích,
- Žádný třecí odpor, protože železné jádro se nedotýká cívek transformátoru, což má za následek velmi dlouhou životnost,
- Krátká doba odezvy, omezená pouze setrvačností železného jádra a dobou náběhu zesilovačů.[1]



Obr. 19 Indukční senzor[35]

#### 4.4 Magnetické senzory

Magnetické senzory vytvářejí výstupní napětí úměrné intenzitě magnetického pole generovaného pohybujícím se magnetem v okolí. Mají poměrně špatné teplotní vlastnosti, ale lze je efektivně použít pro snímání polohy na krátkou vzdálenost. Magnetický senzor je znázorněn graficky na obrázku 20.

Výhodou tohoto typu senzoru je jeho robustnost a odolnost proti korozi (pásky z nerezové oceli).

Pásek je možné připevnit i na zakřivené povrchy. Dosažitelné rozlišení je  $0,5 \mu\text{m}$  (v omezeném rozsahu); maximální rychlost hlavy snímače je přibližně  $20 \text{ m/s}$ . [29]



Obr. 20 Magnetický senzor[36]

#### 4.5 Optické senzory

Většina systémů pracujících na optickém principu se skládá ze tří základních částí: zdroje světla, světelného senzoru a přenosového média. Často jsou zapotřebí pomocná zařízení, jako jsou čočky, optické vlnovody, zrcadla, filtry, polarizátory a clony. Příklad optického senzoru je znázorněn na obrázku 21.

Optický snímač je konstruován tak, že změna vzdálenosti mezi dvěma částmi snímače nebo mezi jednou částí snímače a pohybujícím se objektem vede ke změně přenosu, odrazu, absorpci, rozptylu nebo difrakci světelného paprsku. Většina optických snímačů je založena na proměnném odrazu nebo přenosu. [29]

Mezi hlavní výhody optických senzorů patří:

- Kompaktní lehká konstrukce,
- Nepotřebují přívod elektrické energie,
- Odolnost proti elektromagnetickému hluku,
- Přenos signálu na délku kilometrů,

- Stabilní a vysoká odolnost vůči okolnímu prostředí.[37]



*Obr. 21 Optický senzor [38]*

#### 4.6 Ultrazvukové senzory

Ultrazvukový senzor je bezkontaktní zařízení, které lze použít k měření vzdálenosti i rychlosti objektu. Ultrazvukový snímač využívá zvukové vlny o frekvencích vyšších, než je frekvence lidského sluchu. Pomocí doby letu zvukové vlny může ultrazvukový senzor měřit vzdálenost a rychlost objektu. Na obrázku 22 lze vidět příklad ultrazvukového senzoru.[39]

Mezi hlavní výhody lze řadit:

- Bezkontaktní snímání,
- Zaručená funkčnost i ve špatných podmínkách okolního prostředí (prach, mlha),
- Precizní detekce malých i velkých objektů,
- Zaujímají tvar kvádru či válce pro vyšší volnost z hlediska konstrukce.



*Obr. 22 Ultrazvukový senzor[40]*



## 5 OBJEMOVÉ TVÁŘENÍ

Objemové tváření představuje procesy, při nichž transformujeme materiál z tvaru A do tvaru B bez přidání nebo odebrání materiálu. Je však důležité zmínit, že při některých procesech objemového tváření vzniká přebytečný materiál jako součást standardního procesu. Příkladem mohou být mechanismy a zařízení během procesu kování, které jsou nutné pro usnadnění výrobního procesu.

Objemové tváření spočívá v tom, že objem materiálů zůstává v procesu nezměněn. Změna materiálu v důsledku tepelné roztažnosti nebo smrštění, k níž dochází při některých deformačních procesech, např. při procesech kování, se v tomto případě nepovažuje za změnu objemu materiálu.[41]

### 5.1 Kování

Kovací operace vyvolávají na obrobku tvarové změny, které mohou být postupné nebo okamžité, a to plastickou deformací působením sil, které na ně vyvíjejí různé nástroje a zápustky. Působící síly mohou být rázové nebo lisovací, což vede k různým mechanickým vlastnostem. Kovací procesy se obvykle provádějí na objemovém materiálu. Naproti tomu plechy jsou často vyráběny za pomoci procesů zpracování plechu, jako je hluboké tažení a ohýbání.

K dispozici je široká škála kovacích strojů, které se vyznačují schopností vyrábět širokou škálu dílů od malých až po obrovské. Hydraulické lisy mohou mít tlak v uzavřené zápustce až 80 tisíc tun.[41]

Kování lze rozdělit na:

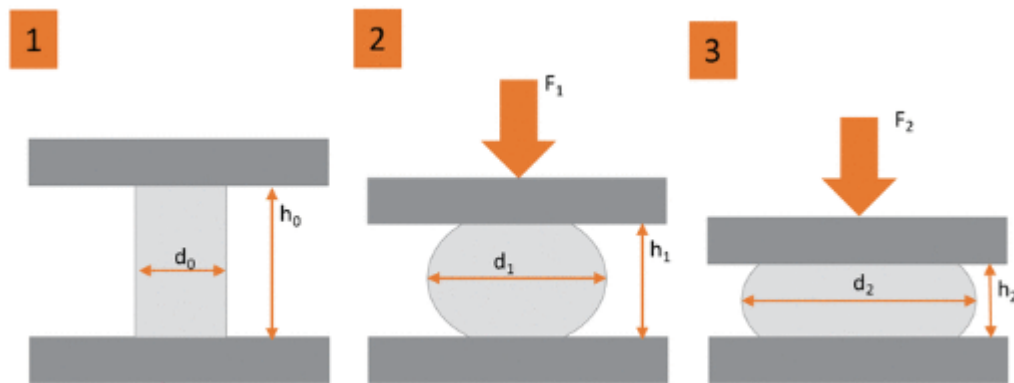
- Kování s otevřenou zápustkou,
- Zápustkové kování,
- Pěchování.

#### 5.1.1 Kování s otevřenou zápustkou

Otevřené zápustkové kování je nejjednodušší forma průmyslového kování, při níž se snižuje výška obvykle válcového polotovaru. Nevyžaduje specializované nástroje a vyznačuje se vysokou flexibilitou. Proces probíhá tak, že se obrobek deformuje mezi dvěma plochými

zápustkami. V několika málo případech nejsou zápustky ploché, ale obsahují některé jednoduché prvky a dutiny.

Otevřené zápustkové kování se obvykle používá, když je obrobek velmi velký nebo když jde o malou sérii. Ačkoliv proces kování s otevřenou zápustkou neumožňuje vytvářet díly, které mají složité tvarové plochy, existují způsoby, kterými lze určitých tvarových ploch dosáhnout, například manipulací dílu v zápustce během procesu.



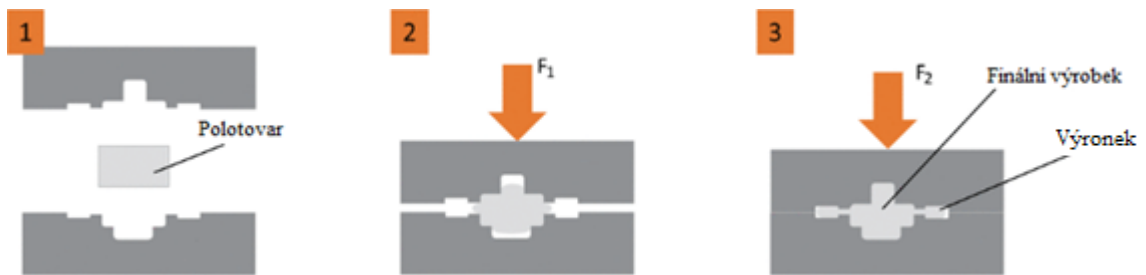
Obr. 23 Příklad otevřeného zápustkového kování [41]

Na obrázku 23 je znázorněn proces otevřeného zápustkového kování. V kroku 1 je materiál vložen mezi zápustky. Ve druhém a třetím kroku dochází k postupnému působení síly o určité hodnotě a dochází tak k deformaci materiálu. Čím větší síla působí na materiál, tím je větší deformace. Je důležité zdůraznit, že s rostoucí silou se zvětšuje styčná plocha mezi zápustkou a dílem. Vedlejším účinkem většiny procesů kování v otevřené zápustce je výskyt výronku.[41]

### 5.1.2 Zápustkové kování

Zápustkové kování je forma kování, kde dochází k úbytku materiálu v místě výronkové drážky. Základní koncepcí je získání téměř hotového tvaru, který obvykle vyžaduje pouze drobné dokončovací úpravy pomocí subtraktivních výrobních postupů.

Na obrázku 24 je znázorněn proces zápustkového kování. Obrobek se nejprve umístí mezi dvě zápustky, které mohou mít složitý tvar. Ve druhém kroku je materiál zatěžován vysokým tlakem, aby se vyvolala trvalá plastická deformace a proudění materiálu, který vyplní dutiny zápustky. Nakonec se v závěrečné fázi zápustky zcela uzavřou a dutina mezi zápustkami se zcela vyplní, přičemž přetečení materiálu je absorbováno místem žlabu ve formě výronku.[41]

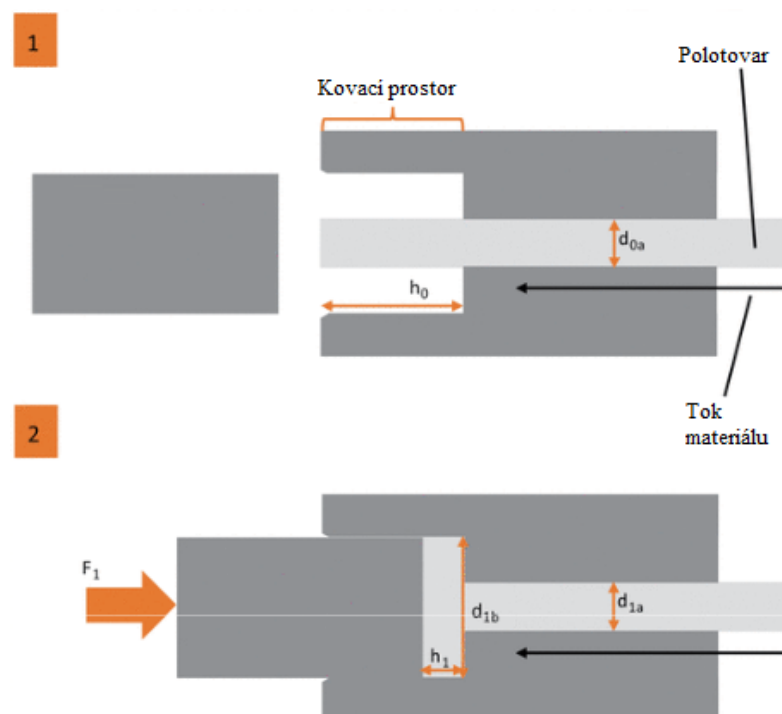


Obr. 24 Příklad zápusťkového kování [41]

### 5.1.3 Pěchování

Pěchování se nejčastěji používá k výrobě spojovacích prvků s vysokou výrobní kapacitou. Podle výkonu (počtu vyrobených dílů) se řadí tato metoda mezi celosvětově nejpoužívanější metody kování. Jedná se o deformační přeměnu tvaru pomocí délkového stlačení a rozšíření příčného průřezu. Níže uvedený postup podrobně popisuje tento proces.

Na obrázku 25 je znázorněn proces pěchování. Nejprve se polotovár přivádí do kovacího prostoru. Následně působí razník silou, zatímco polotovár je udržován na svém místě, což vede k vytvoření špičky. Je možné provádět kování za tepla i za studena a proces je použitelný pro obrobky od malých průměrů až po tyče o průměru 250 mm. Standardním konstrukčním pravidlem pro pěchování je, že délka deformovaného materiálu je omezena na trojnásobek jeho průměru. Tím se zabrání vybočení materiálu i selhání výrobního procesu. [41]



Obr. 25 Nárazové kování [41]

## 5.2 Běžné vady kování

Při kování mohou vzniknout následující vady:

- Neúplné vyplnění zápustky,
- Nesouosost zápustky,
- Kovací propadliny,
- Neúplná kovářská penetrace,
- Materiálové rozdíly ve vlastnostech (v důsledku mikrostrukturních změn),
- Povrch s vrypy (v důsledku oxidových šupinek, vznikajících při vysoké teplotě, ulpívajících na zápustce (zápustkách)),
- Výhybky (běžné hlavně při rozrušeném kování v důsledku vysokého tlakového napětí).
- Povrchové praskliny (způsobené rozdílem teplot anebo nadměrné opracování povrchu při příliš nízké teplotě),
- Mikrotrhliny (v důsledku zbytkového napětí).[41]



*Obr. 26 Vadný výkovek [41]*

## 6 SHRUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI

První kapitola diplomové práce se zabývá automatizací a robotizací, historií, klasifikací a aplikací průmyslových robotů a manipulátorů. V druhé kapitole byly rozebrány jednotlivé typy pohonů výhody a nevýhody pohonů, použití pohonů v praxi, druhy převodovek, jejich použití a výhody a nevýhody převodovek. Třetí kapitola pojednává o možných metodách výměny nástrojů, popis jednotlivých metod, výhody a nevýhody měniče nástrojů a aplikace měniče nástrojů v průmyslu. Ve čtvrté kapitole jsou rozebrány senzory, druhy senzorů a jejich výhody a nevýhody. Poslední kapitola teoretické části je věnována kování, druhům kování a běžným vadám při kování, jelikož navrhované zařízení bude používáno ve společnosti Kovárna VIVA a.s.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 7 ÚVOD DO PROBLEMATIKY

Cílem diplomové práce bylo navrhnout konstrukční řešení mechanismu pro rychlou výměnu robotických chapadel. Řešení bylo zpracováno ve společnosti Kovárna VIVA a.s.

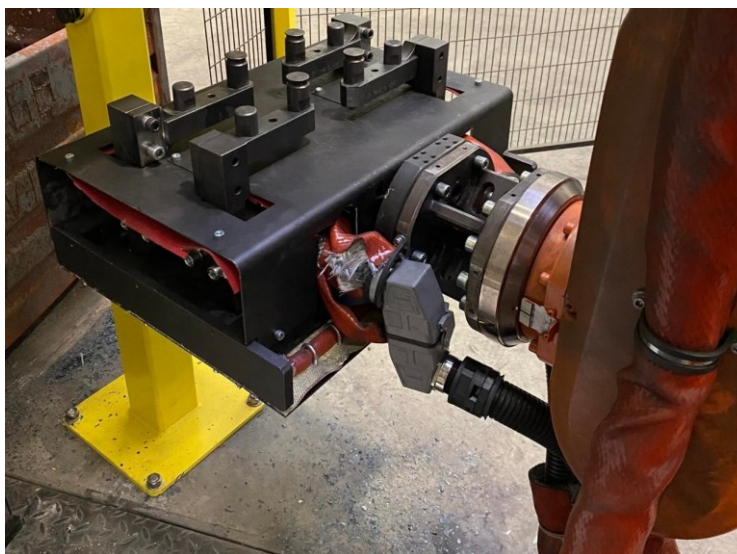
### 7.1 O firmě

Kovárna se specializuje na výrobu zápusťkových výrobků z legovaných, mikrolegovaných, uhlíkových a konstrukčních ocelí s vysokou přesností a složité geometrie, v malých i velkých sériích. Firma byla založena v roce 1992.

V současné době se řadí mezi nejpokročilejší a největší kovárny v České republice. Kovárna vyrábí výkovky především do osobních vozidel, nákladních a užitkových vozů a hydraulických motorů. Menší část produkce je určena pro zemědělství, strojírenství, železnici apod.

### 7.2 Popis aktuální výměny chapadel na kovací lince

Celý proces výměny chapadel probíhá manuálně a veškerou montáž a manipulaci s chapadly provádí pracovník obsluhující příslušnou linku. Nejprve je nutné si přichystat chapadlo, které bude upnuto na robota. Před použitím chapadla je nutné provést revizi a údržbu všech komponentů, aby se ověřilo, že všechny prvky jsou plně funkční. Následovně je potřeba nastavit robota do příslušné pozice pro snadnou montáž či demontáž chapadla, které je upnuto na robotovi pomocí šroubů s vnitřním šestihranem. Případnou demontáž lze provést například pomocí šestihranného klíče.



*Obr. 27 Chapadlo upnuté na robotovi*



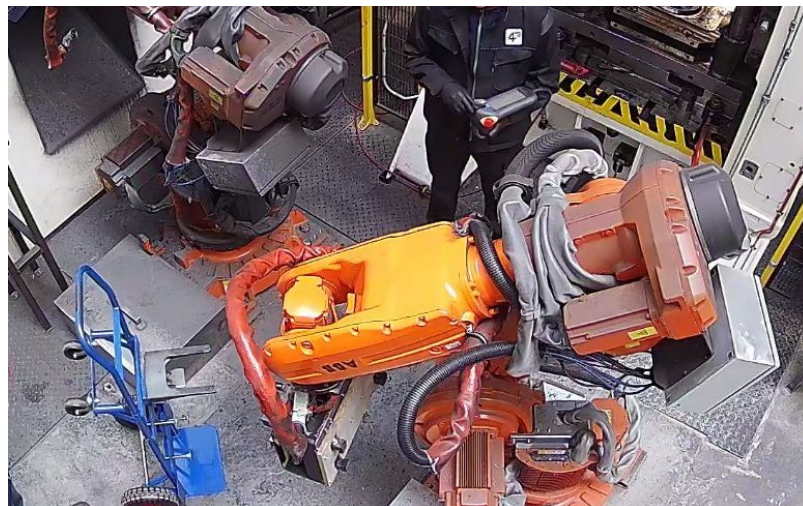
Poté je uloženo na předem připravený vozík, díky kterému lze jej přemístit do příslušného regálu a na robota lze upnout další chapadlo. Po montáži chapadla na robota je nutné provést nejprve kalibraci robota a ověření, zdali fungují všechny prvky.

Aktuální metoda výměny chapadel není příliš vhodná, jelikož hrozí velké nebezpečí úrazu při manipulaci s chapadly během výměny, a to především kvůli velké hmotnosti chapadel (až 80 kg). Dále je výměna časově náročná. Výměna jednoho chapadla trvá přibližně 30 minut, proto je snaha o zrychlení celého procesu automatizací.



*Obr. 28 Vozík chapadel*

Celý proces manuální výměny chapadel se provádí uvnitř kovací linky, kde se nachází i více robotů.



*Obr. 29 Prostor pro manuální výměnu chapadel*



### 7.3 Požadavkový list

Společně s pracovištěm Kovárny VIVA byly specifikovány požadavky na výměnný mechanismus. Lze je rozdělit na:

Konstrukční požadavky:

- 1) Výměnný mechanismus musí být plně automatizovaný pro rychlou výměnu chapadel bez zásahu pracovníka.
- 2) Mechanismus nesmí ohrozit a v žádném případě zranit pracovníky na pracovišti
- 3) Využití svařované konstrukce.
- 4) Vyřešit uchycení chapadla a snadné vyjmutí chapadla z mechanismu.
- 5) Vyřešit aretaci chapadla při výměně.
- 6) Nouzové tlačítko pro případné vypnutí mechanismu z důvodu kolizí.
- 7) Možnost manipulace mechanismu pomocí vysokozdvizného vozíku.
- 8) Výměnný mechanismus musí být univerzální pro všechny typy chapadel.
- 9) Povolená šířka mechanismu je maximálně 1200 mm.
- 10) Při otáčení musí být výměnný mechanismus uzavřený a zajištěný bezpečnostním zámkem.
- 11) Vyřešit kotvení mechanismu.
- 12) Možnost snadné a rychlé údržby motoru a dalších zařízení.
- 13) Pracovní prostor mechanismu by neměl být zanesen velkým množstvím nečistot.
- 14) Vyspecifikovat vhodný pohon pro otáčení chapadel.
- 15) Možnost pracovat se dvěma chapadly.
- 16) Možnost nouzového vypnutí při poruše nebo kolizi zařízení.

Bezpečnostní požadavky:

- 1) Výměnný mechanismus nesmí zranit pracující.
- 2) Nutné krytování použitých elektrických zařízení.
- 3) Primitivní ovládání mechanismu.

Ekonomické požadavky:

- 1) Maximální cena za mechanismus je stanovena na 500 000 Kč.
- 2) Použití nakupovaných a normalizovaných součástí.

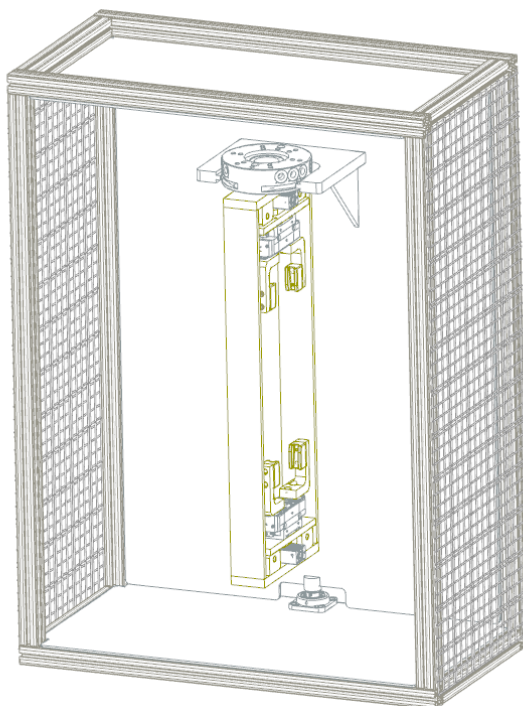
## 8 NÁVRH KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ

Při vytváření konceptu byly brány v úvahu dvě možnosti řešení. Cílem řešení je navrhnout mechanismus, díky kterému bude možné otočit chapadla o  $180^\circ$  bez zásahu pracovníka. Konstrukce musí splňovat všechny požadavky stanovené společností Kovárna VIVA a.s. viz. Kapitola 7.3.

Prvním návrhem řešení je konstrukce z hliníkových profilů s krokovým motorem a cykloidní převodovkou. Při použití krokového motoru lze zaručit otočení rotační desky s chapadly přesně o  $180^\circ$ . Boční strany mechanismu jsou opatřeny upevněným ochranným oplocením.

Mezi výhody první varianty lze řadit nižší hmotnost mechanismu na základě využití hliníkových profilů, přesné otočení rotační desky, jelikož je pohon opatřen enkodérem a servo zesilovač lze dobře parametrizovat.

Nevýhodou je nákladnější konstrukce, možnost těžkého úrazu, jelikož v oplocení se nacházejí díry a je možné strčit prsty skrz oplocení i při otáčení rotační desky.



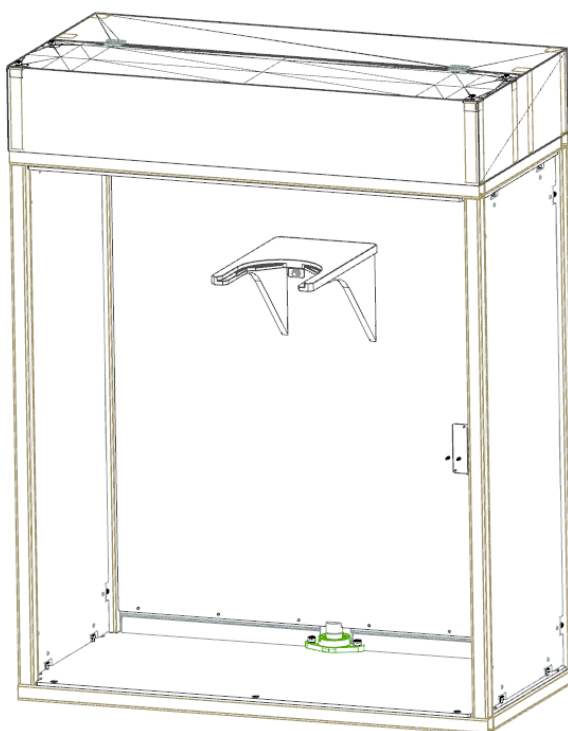
*Obr. 30 První návrh řešení*

Druhou variantou je svařovaná konstrukce z dutých svařovaných černých profilů se čtvercovým průřezem – jackelů. Dále je u této varianty použit asynchronní motor se šnekovou převodovkou. Při použití asynchronního motoru nelze zaručit přesné otočení o  $180^\circ$ . Tento problém je možné vyřešit případnými dorazy či polohovacími senzory. Motor

je také mnohonásobně levnější než krokový motor se všemi komponenty. Z boční strany je upevněno plexisklo.

Výhodou je robustní svařovaná konstrukce, nižší náklady za nakupované profily – jackely a pohon pro otočení rotační desky s chapadly.

Mezi nevýhody této varianty lze řadit větší odchylku motoru při otáčení rotační desky, vyšší hmotnost mechanismu.



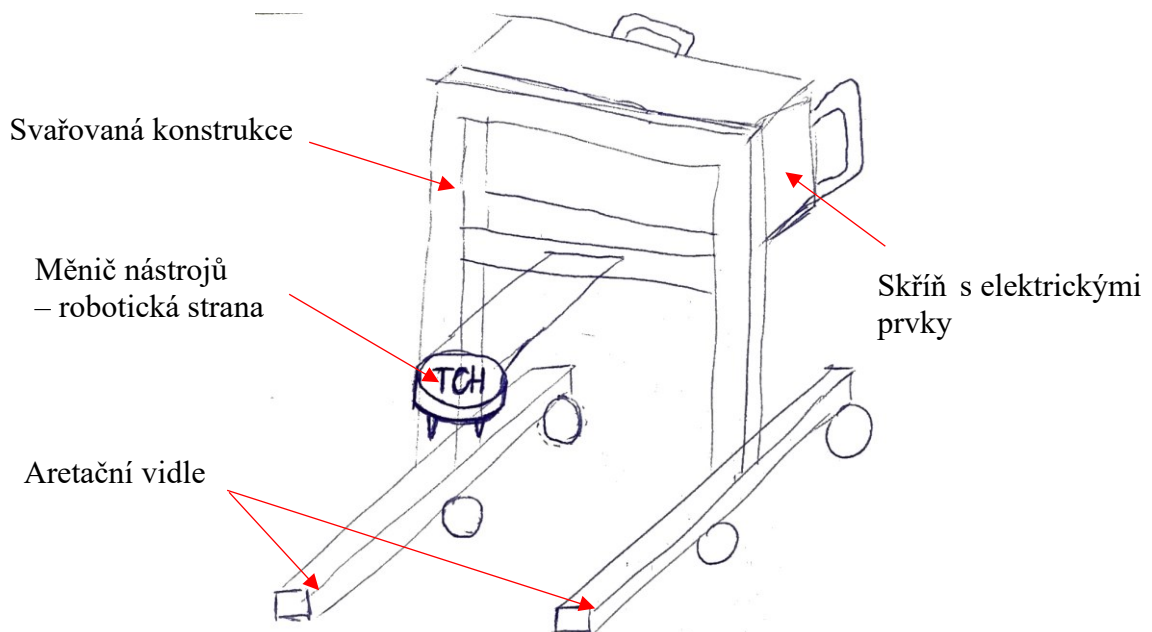
*Obr. 31 Druhý návrh řešení*

## 8.1 Popis a parametry vybrané varianty

Po konzultaci s odborníky ve společnosti Kovárna VIVA a.s. bylo stanoveno rozhodnutí, že druhá varianta je vhodnějším řešením. Konkrétně se tedy jedná o variantu svařované konstrukce z jackelů a asynchronním motorem.

Chapadlo je na základě využití navrženého vozíku přemístěno do výměnného mechanismu. Vozík není součástí diplomové práce. Při návrhu vozíku pro výměnný mechanismus bude využita robotická strana měniče nástrojů (viz. Obrázek 16), která bude upevněna na vozíku. Konstrukce vozíku bude realizována pro snadnou manipulaci s chapadly (upnutí chapadla z regálu na vozík a přemístění chapadla do výměnného mechanismu). Jedná se o

nejjednodušší způsob, jakým lze chapadlo o hmotnosti až 90 kg dopravit z regálu do mechanismu (viz Obrázek 32).



Obr. 32 Skica vozíku chapadel s měničem nástrojů

Po umístění chapadla do mechanismu, konkrétně do vidličky, která je navařená k otáčecí desce, je nutné mechanismus uzavřít, jinak nelze provádět výměnu z bezpečnostních důvodů. Mechanismus je vybaven bezpečnostním zámekem, který zabraňuje otevření dveří při výměně chapadel. Na základě využití asynchronního motoru se šnekovou převodovkou dojde k otočení chapadel o 180°. Po provedení operace lze dveře opět otevřít a vyjmout chapadlo z mechanismu. Ve skříni, která je umístěna v horní části mechanismu, se nachází asynchronní motor, šneková převodovka, rozvaděčová skříň s PLC a frekvenčním měničem a dalšími elektrickými prvky.

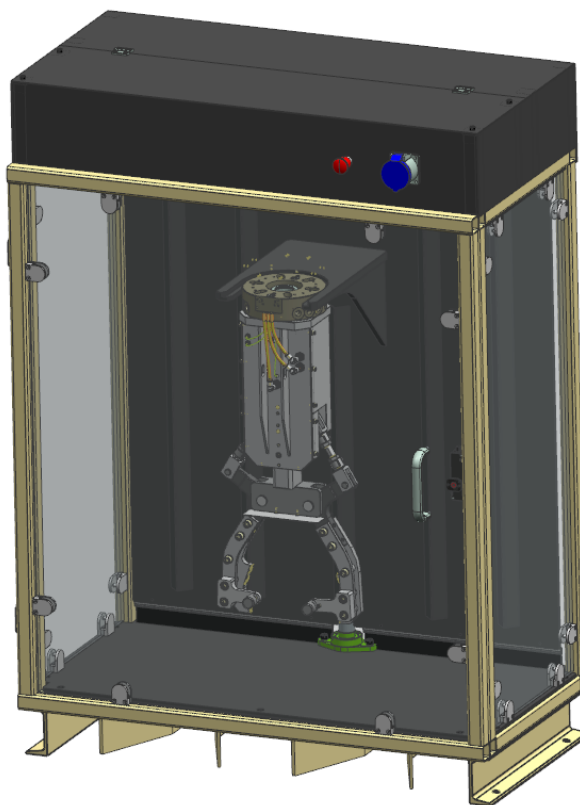
Mezi důležité parametry lze řadit maximální rozměry chapadel. Maximální výška chapadel je 841 mm, šířka 541 mm a hloubka 335 mm. Hmotnost nejobemnějšího chapadla je přibližně 90 kg. Mezi další důležité parametry lze řadit maximální šířku mechanismu o hodnotě 1200 mm. Výška i hloubka mechanismu může být libovolná, dle rozměrů chapadel. Rozměry navrženého zařízení jsou 1200×1672×621 mm. Při návrhu je kladen důraz na jednoduchost a univerzálnost – využití mechanismu pro všechny typy chapadel a použití nakupovaných a normalizovaných dílů za účelem snížení celkové ceny. Mezi další požadavky patří co nejmenší rozměry a hmotnost výměnného mechanismu.

## 9 KONSTRUKČNÍ POSTUP

Vznik nového výměnného mechanismu byl řízen obecným konstrukčním procesem. Vstupem byly okrajové podmínky a požadavky zadavatele, které jsou shrnuty v požadavkovém listu (viz. Kapitola 7.3) a je nutné se jimi při návrhu konstrukce řídit. Na základě podmínek v požadavkovém listu se postupně přešlo k vytvoření různých náčrtů a konceptů. Navržená konstrukce byla zhotovena v programu NX 12. Všechny nápady byly konzultovány s odborníky a na základě vhodných úprav vybraného konceptu byly vytvořeny podklady pro výsledné řešení.

### 9.1 Konstrukce výměnného mechanismu

V této části kapitoly jsou rozebrány jednotlivé díly konstrukce včetně jejich významu, mimo to je zde sepsán kompletní konstrukční návrh výměnného mechanismu.

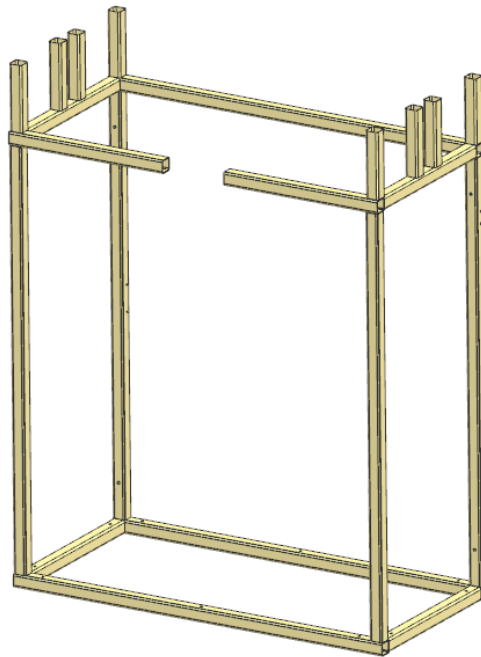


*Obr. 33 Konstrukční řešení mechanismu*

#### 9.1.1 Konstrukce z jackelů

Jedná se o duté uzavřené profily z oceli, které lze zaručeně svařovat. Jackely jsou využívány především v oboru strojírenství, stavebnictví, ale i zámečnictví. Lze z nich vyrábět například

brány, dveře, přístřešky, sloupky apod. Mezi hlavní výhody použití jackelu oproti plným ocelovým tyčím je poměr mezi jejich hmotností a pevností. Jsou vyrobeny z konstrukční oceli s označením S235JRH (1.0039) dle EN 10219-1 (obdobná ocel – 11 375). Jedná se o nelegovanou ocel obvyklých jakostí pro ocelové konstrukce. Jackely čtvercového průřezu jsou díky svému tvaru ideální ke sváření i ohybům. Povrch jackelu je chráněn olejovou emulzí proti vzniku koroze způsobené vzdušnou vlhkostí. Pro tuto konstrukci byl zvolen jackel o rozměrech 40×40×3 mm.



Obr. 34 Svařovaná konstrukce z jackelů

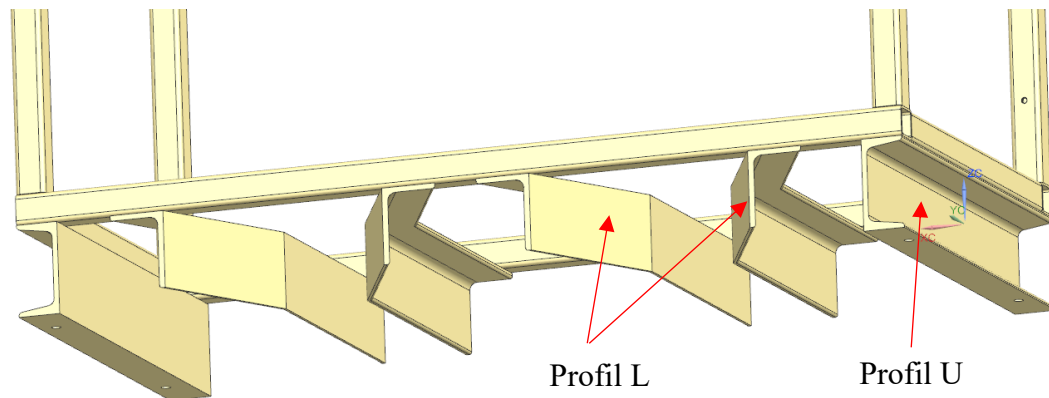
### 9.1.2 Profily nerovnoramenné L a profily U válcované za tepla

V dnešní době se vyskytuje několik druhů profilů s různými průřezy např. průřezu L, U, I, čtvercové, tažené, ploché, kruhové apod. Jsou využívány na nejrůznější ocelové konstrukce, regály, vedení potrubí apod. Profily jsou vyráběny technologií válcování za tepla, která je velmi často využívána hlavně v těžkém průmyslu. Profily jsou vyrobeny z materiálu S235JR (1.0038) dle EN 10025-2 (obdobná ocel 11 375). Jedná se o konstrukční ocel válcovanou za tepla se zaručenou svařitelností.

Pro navrhovanou konstrukci byl zvolen profil U válcovaný za tepla o rozměrech 120×55 mm a profil L nerovnoramenný z konstrukční oceli válcovaný za tepla o rozměrech 100×65×7 mm.

Profily U byly využity při návrhu konstrukce z důvodu možnosti kotvení mechanismu do země a jsou navařeny ke svařované konstrukci z jackelů. Do profilů byly vyvrtány díry pro kotevní šrouby.

Profily L byly využity při návrhu pro možnost manipulace s výměnným mechanismem za pomoci vysokozdvížného vozíku. Mezera mezi profily slouží pro vložení vidlí vysokozdvížného vozíku.



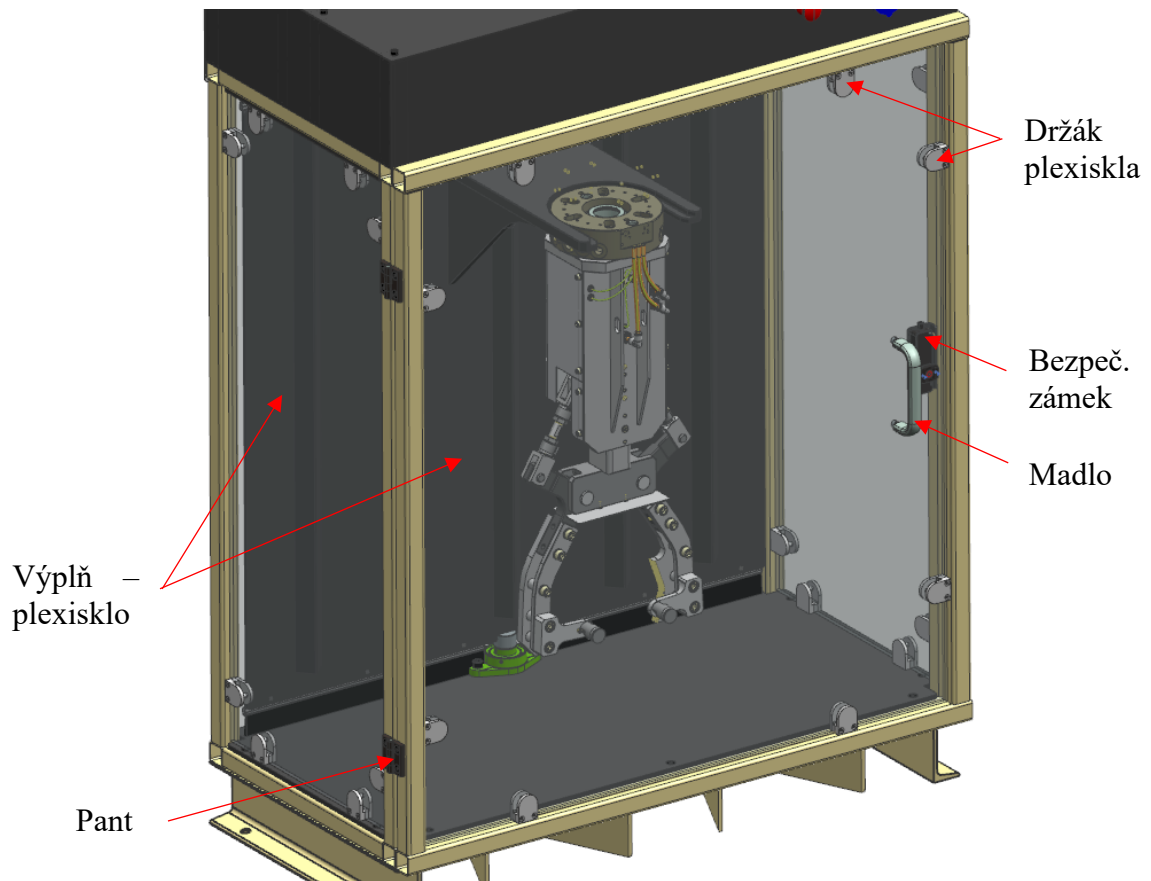
Obr. 35 Profily válcované za tepla

### 9.1.3 Krytování výměnného mechanismu

Boční strany mechanismu jsou zakrytovány pomocí plexiskla (PMMA) o tloušťce 8 mm z důvodu bezpečnosti. Plexisklo je upevněno ke svařované konstrukci prostřednictvím držáků plexiskla – nakupovaný díl.

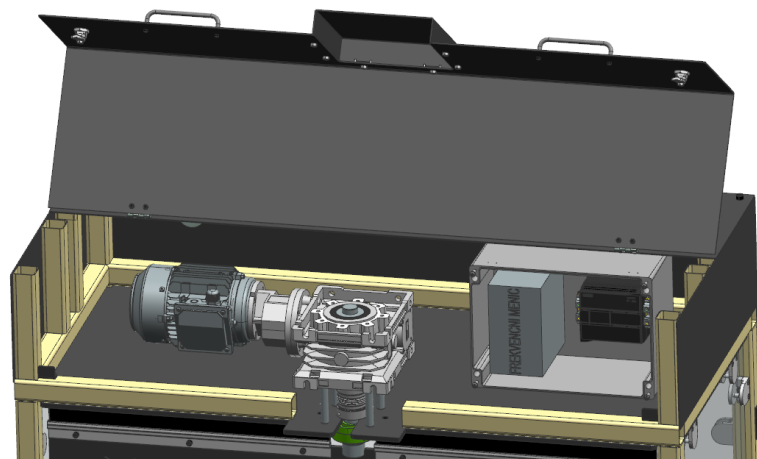
Na přední straně mechanismu se nachází svařovaná konstrukce dveří, která je upevněna k mechanismu za pomoci pantů z levé strany. Výplň dveří tvoří taktéž plexisklo, které je zajištěno prostřednictvím držáků plexiskla vyrobené z nerezové oceli. Prostřednictvím madla lze dveře otevřít nebo zavřít. Pracovní prostor mechanismu je zabezpečen proti otevření dveří při procesu bezpečnostním zámekem od firmy Euchner electric s.r.o.

Ve spodní a horní části mechanismu jsou upevněny desky vyřezané laserem a zajištěné šrouby ke svařované konstrukci. Desky i všechny další plechové díly jsou vyrobeny z materiálu S235. Jedná se o konstrukční ocel vhodnou ke svařování, výborně obrobitelnou a vhodnou pro konstrukční účely.



Obr. 36 Popis krytovacích prvků

V horní části mechanismu se také nachází skříň se všemi elektrickými komponenty. Nachází se zde asynchronní motor se šnekovou převodovkou upevněnou k desce prostřednictvím distančních sloupků. Motor s převodovkou je propojen s rotační deskou pomocí hřídelové pružné spojky. Dále se zde nachází rozvaděčová skříň s frekvenčním měničem a PLC, nouzové tlačítko pro případ akutního vypnutí mechanismu a průmyslová zásuvka. Skříň je zajištěna otočným uzávěrem ze dvou stran s přístupem pouze pro pověřené osoby.



Obr. 37 Skříň s elektrickými prvky



#### 9.1.4 Specifikace pohonu pro otáčení

Specifikace motoru včetně cenové nabídky byla projednána s firmou RAVEO s.r.o. Vstupní požadavky pro specifikaci příslušného motoru stanovené společností Kovárna VIVA a.s.:

- 1) Rotační deska bude vykonávat rotační pohyb okolo svislé osy o  $180^\circ$  a motor musí být schopen otočit zmíněnou desku se závažím (chapadly) o hmotnosti minimálně 200 kg.
- 2) Otočení by mělo být co nejpřesnější kvůli přesné pozici robota pro odběr chapadla z mechanismu.
- 3) Potřebný čas pro otočení rotační desky s chapadly není definován, zároveň by se otočení chapadel o  $180^\circ$  nemělo provést příliš rychle kvůli možnému posunutí chapadel ve vidličce vlivem působení odstředivé síly.
- 4) Možnost ovládat motor prostřednictvím PLC.

Výstupní parametry od firmy RAVEO s.r.o.:

- 1) Zvolení asynchronního motoru se šnekovou převodovkou. Motor je schopen otočit závaží o hmotnosti až 700 kg.
- 2) U asynchronního motoru sice nelze zaručit přesné otočení o  $180^\circ$ , ale tento problém je možné vyřešit pomocí frekvenčního měniče, který slouží k řízení motoru a plynulé regulaci otáček, tudíž lze zajistit otočení rotační desky s chapadly o  $180^\circ$  s minimální odchylkou. Mezi výhody frekvenčního měniče lze řadit možnost nastavení parametrů motoru prostřednictvím PLC.
- 3) Motor s převodovkou je schopen otočit desku o  $180^\circ$  přibližně za 4 s, ovšem celkový čas bude vyšší z důvodu použití ramp na rozjezd i dojezd.
- 4) Asynchronní motor lze ovládat pomocí PLC.

Parametry asynchronního motoru:

Tab. 1 Technické údaje specifikovaného motoru

Třífázový asynchronní motor řady 1LE1001		
Parametr	Hodnota	Jednotka
Počet pólů	4	-
Jmenovitý výkon	0,55	kW
Jmenovité otáčky	1440	otáček/min
Jmenovitý moment	3,65	N · m
Jmenovitý proud	1,39/2,42	A
Třída účinnosti	77,1	%
Účinník ( $\cos \varphi$ )	0,74	-
Třída krytí	IP55	-
Třída tepelné izolace	F/B	-
Přípustná teplota okolí	-20 – 40	°C
Setrvačnost rotoru	$17 \cdot 10^{-4}$	kg · m <sup>2</sup>
Zástavbová délka	252	mm
Přibližná hmotnost	10	kg

Asynchronní motor od výrobce Siemens s.r.o. je dále vybaven:

- Výstupní hřídelí s perem ( $d \cdot l = 19j6 \times 40\text{mm}$ ),
- Ložisky s označením 6004 2Z C3,
- Svorkovnicí s průchodkou o velikosti M25x1,5;
- Vlastním ventilátorem s označením IC411, díky kterému lze provádět chlazení motoru.

Motor je připevněn ke šnekové převodovce prostřednictvím příruby mezi motorem a převodovkou od výrobce TRANSTECNO s.r.l.

Parametry šnekové převodovky:

Tab. 2 Technické údaje specifikované převodovky

Šneková převodovka řady CM		
Parametr	Hodnota	Jednotka
Převodový poměr	50	-
Účinnost (při n=900–2800 ot/min)	64-75	%
Hmotnost	9	kg

Šneková převodovka od výrobce TRANSTECNO s.r.l. je dále vybavena:

- Vstupní dutou hřídelí s drážkou o průměru 24 mm,
- Výstupní dutou hřídelí s drážkou o průměru 28 H8, která je zajištěna bezpečnostním krytem.

Pro zaručení dlouhé životnosti převodovky je výrobcem doporučováno používat vysoce viskózní mazivo. Skříň převodovky i motoru je vyrobena z hliníku. Šneková převodovka je upevněna k mechanismu pomocí distančních sloupků.

Parametry frekvenčního měniče:

Tab. 3 Technické údaje specifikovaného frekvenčního měniče

Frekvenční měnič řady EFC 5610		
Parametr	Hodnota	Jednotka
Jmenovitý výkon	0,75	kW
Vstupní proud	10,1	A
Třída krytí	IP20	-
Povolený rozsah okolní teploty	-10 – 45	°C
Vnější rozměry (Š x V x H)	95x166x167	mm
Hmotnost	1,5	kg

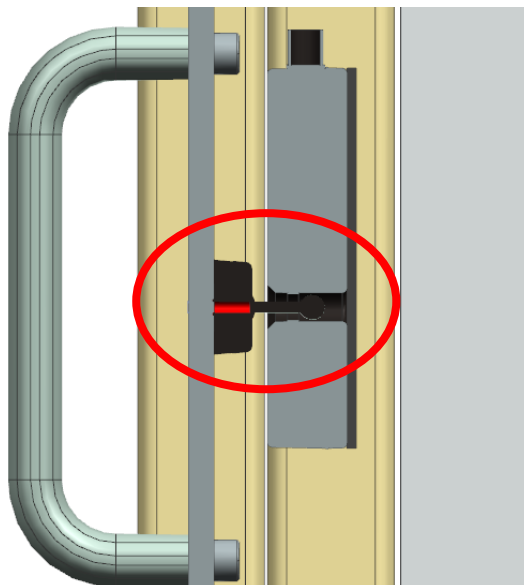
Frekvenční měnič od výrobce Bosch Rexroth AG je vybaven:

- Vektorovou metodou řízení motoru,
- Možností podpory pulzně frekvenčního řízení rychlosti,
- Sekvenčním řízení rychlosti (až 16kroků),
- Vstupy DI: 5 multifunkčních (+24V, PNP/NPN),
- Vstupy AI: 2 analogové (0 ~ +5/+10V),
- Výstupy DO: 1 s otevřeným kolektorem,
- Výstupy AO: 1, 0 ~ +10V nebo 0 ~ 20mA,
- 1 reléový výstup,
- Komunikační rozhraní: RTU ModBus,
- Mini-USB port pro parametrizaci přes PC,
- Zabudovaná brzdná jednotka,
- Uživatelský panel: sedmi segmentový LED displej,
- Možnost rozšíření o I/O a komunikační moduly.

Frekvenční měnič je upevněn v rozvaděčové skříni na DIN lištu společně s PLC a dalšími elektrickými komponenty.

### 9.1.5 Bezpečnostní prvky mechanismu

Pro zaručení maximální bezpečnosti pracovníků bylo nutné zakomponovat do návrhu konstrukce bezpečnostní zámek, který se vyznačuje schopností jištění dveří při procesu otáčení chapadel.



Obr. 38 Uplatnění bezpečnostní zámku v návrhu

Bezpečnostní zámek řady CTM od firmy Euchner electric s.r.o. je nejčastěji využíván u balících strojů, obráběcích strojů nebo i v potravinářském průmyslu. S uzavírací silou 1000 N a inovativním aktuátorem s kuličkou v elastomerovém ložisku lze zámek využít k zabezpečení dveří. Bezpečnostní zámek CTM zaručuje nejvyšší stupeň krytí IP69. Mezi výhody použití zámku lze řadit například ochranné uzávěry pro osobní ochranu, kompaktní velikost, diagnostika pomocí 3 LED diod, připravenost na Průmysl 4.0, bistabilní princip uzamykání ochranného krytu, jinými slovy jištění ochranného krytu zůstává při výpadku napájení nebo při vypnutí mechanismu ve svém aktuálním stavu. Dveře jsou zajištěny i nadále. V případě, že jištění nebylo aktivováno, lze dveře otevírat nebo zavírat libovolně.

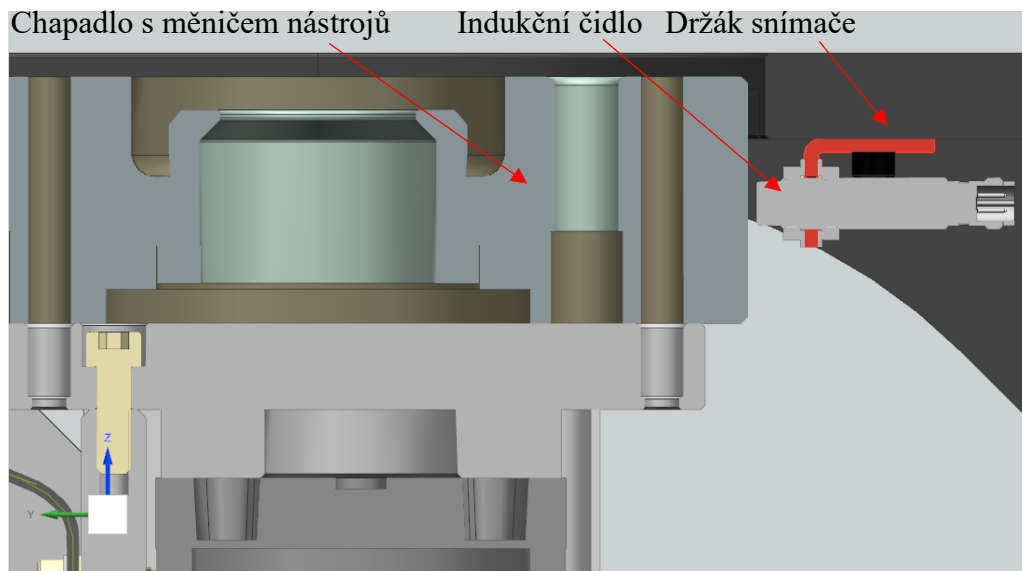


Obr. 39 Bezpečnostní zámek řady CTM [42]

Mezi další bezpečnostní prvky mechanismu lze řadit indukční snímač od firmy Balluff s.r.o. Jedná se o senzor s přesným, bezdotykovým snímáním polohy vhodným pro procesy v automatizační technice. Existuje několik druhů indukčních snímačů např. standardní, snímače odolné vůči vysokému tlaku, snímače pro hygienické provozy, celokovové snímače apod.

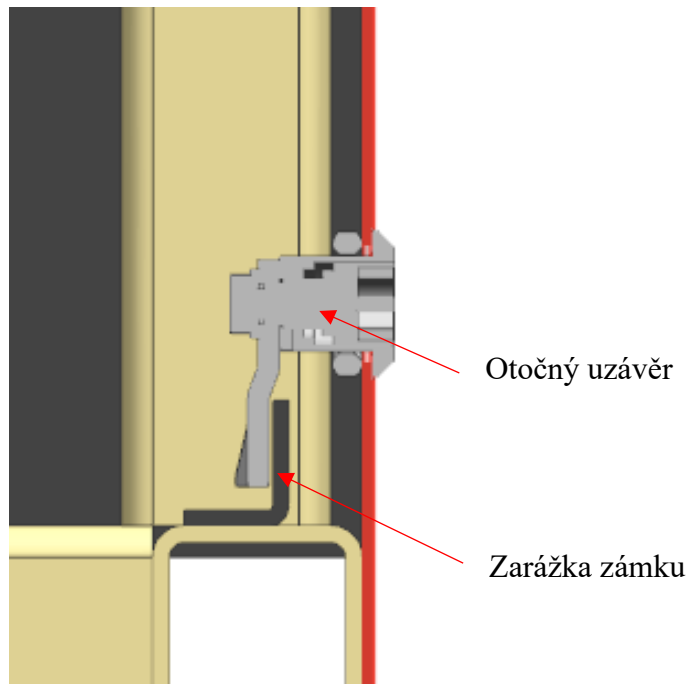
Indukční snímač v mechanismu byl použit z důvodu identifikace správného uložení chapadla uvnitř mechanismu. Je charakterizováno těmito vlastnostmi:

- Dosah 8 mm,
- PNP spínací kontakt,
- Spínací frekvence 1000 Hz,
- Teplota prostředí -25 – 70°C,
- Krytí IP68,
- Pouzdro je vyrobeno z mosazi, bez niklu, povlakováno,
- Připojení prostřednictvím konektorů (konektor M12x1, 4pólový).



Obr. 40 Řez chapadlem a indukčním snímačem

Dalším bezpečnostním prvkem mechanismu je otočný uzávěr. Tento uzávěr byl použit v mechanismu z důvodu uzamknutí skříně s elektrickými komponenty. Spravovat skříň s motorem, převodovkou a všemi elektrickými komponenty může pouze pověřená osoba. Otočný uzávěr je vyroben z nerezové oceli s označením 1.4404 (AISI 316L).

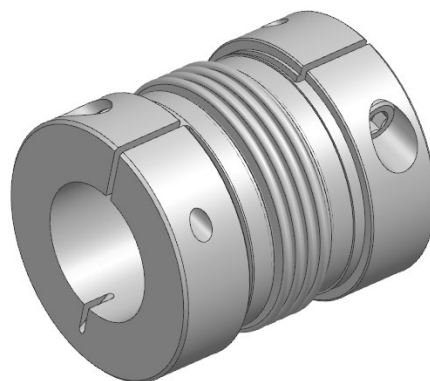


Obr. 41 Řez otočným uzávěrem zajišťující skříň mechanismu

Nezbytnou součástí mechanismu je průmyslová zásuvka a také nouzové tlačítko, které je určeno k nouzovému vypnutí a rozpojení elektrického obvodu při nouzové situaci. Hlavní výhoda použití nouzového tlačítka je, že při rozpojení a vypnutí elektrického obvodu nastane i při jejich poškození. Nouzové tlačítko je složeno z hlavice tlačítka a kontaktní jednotky.

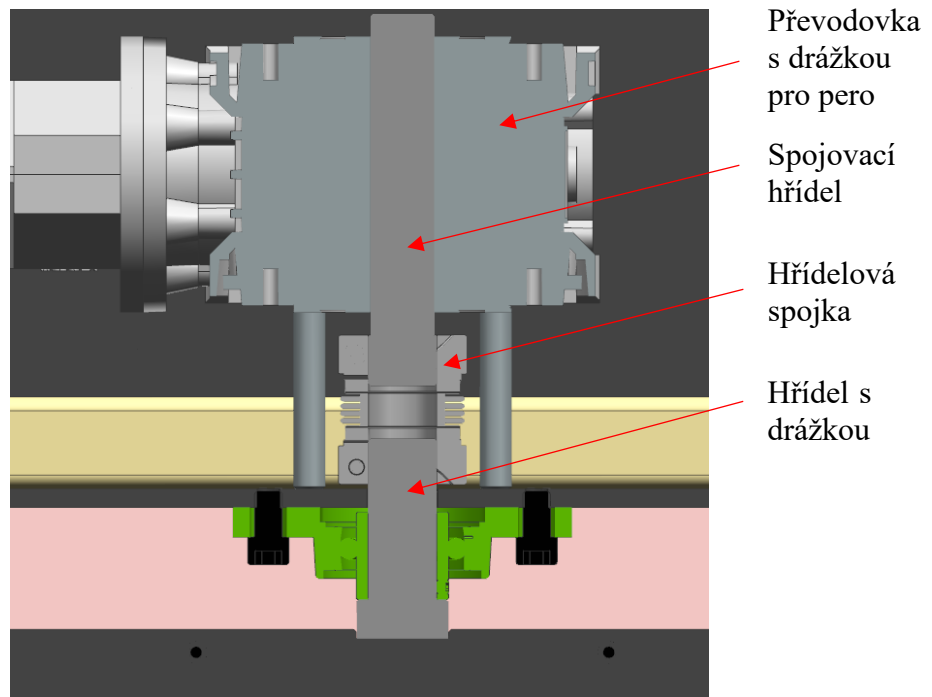
### 9.1.6 Hřídelová spojka

Kovové hřídelové spojky lze uplatnit v mnoha oborech, např. při zachování vysoké torzní tuhosti a nulové vůle hřídelových spojů. Největší uplatnění je u strojních nástrojů, balících strojů, lineární jednotky, zvedací jednotky.



Obr. 42 3D model hřídelové spojky řady WK2

Zvolená hřídelová spojka řady WK2 s vnitřním průměrem 30 mm je charakterizována maximálními otáčkami 15000 ot/min, přenášeným krouticím momentem od 0,1 – 10 Nm, teplotním rozsahem od - 30°C – 120°C, montážními tolerancemi g6 či h7. Vyznačuje se miniaturním provedením se stavěcími šrouby. Prostřednictvím zmíněných šroubů lze upevnit příslušné hřídele z obou stran spojky.



Obr. 43 Řez převodovkou a hřídelovou převodovkou

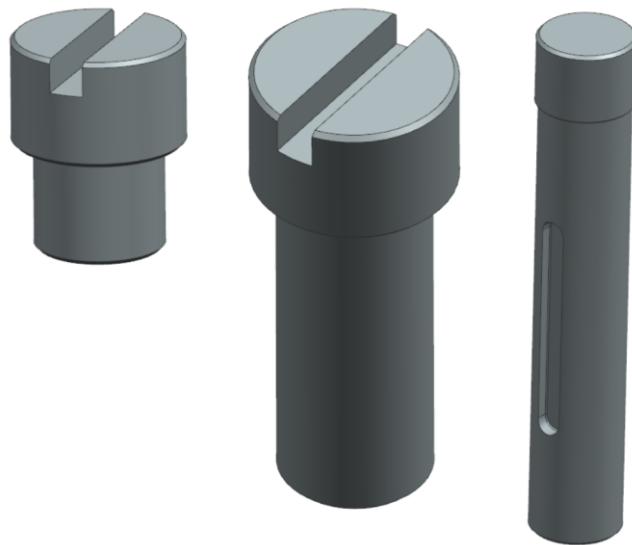
Mezi hlavní výhody hřídelové spojky lze řadit například levné řešení, nízký moment setrvačnosti, odolnost vůči korozi a opotřebení, bezúdržbové, torzně tuhé.

### 9.1.7 Hřídele

Pro zajištění otáčení rotační desky s chapadly bylo nutné propojit šnekovou převodovku s již zmíněnou deskou prostřednictvím navržených hřídelí. Celkově byly navrženy dva typy hřídele pro správnou funkčnost otáčení. První typ hřídele je charakterizována drážkou, která je využita pro uložení rotační desky a je upevněna v přírubovém ložiskovém domečku řady pomocí imbusového šroubu.

Druhý typ hřídele tzn. spojovací hřídel zabezpečuje propojení převodovky s hřídelovou spojkou. V hřídelové spojce je upevněn první typ hřídele s drážkou a spojovací hřídel.





Obr. 44 Hřídele s drážkou a spojovací hřídel

### 9.1.8 Ložiskový domek

Oválné přírubové kuličkové ložiskové domky jsou složeny z vloženého ložiska s prodlouženým vnitřním kroužkem, aretačního šroubu (imbusového šroubu) a jsou vhodné pro aplikace, kde je směr otáčení konstantní nebo střídavý. Ložisko je uloženo v litinovém pouzdře, které lze přišroubovat ke stěně nebo k rámu stroje. Kuličková ložiska se mnohou vyrovnat s mírnou počáteční nesouosostí, ale obvykle neumožňují axiální posun.



Obr. 45 Ložiskový domek UCFL206 [43]

Mezi hlavní výhody použití ložiskových domků lze řadit:

- Odolnost vůči velkým deformacím,
- Odolnost vůči vysokým teplotám a rychlostem,
- Odolnost vůči velkému zatížení.

Parametry zvoleného ložiskového domku:

Tab. 4 Technické údaje ložiskového domku UCFL206

Ložiskový domek s označením UCFL 206		
Parametr	Hodnota	Jednotka
Průměr díry	30	mm
Celková šířka	30	mm
Celková výška	147,5	mm
Celková délka	80	Mm
Základní dynamická únosnost	19,5	kN
Základní statická únosnost	11,4	kN
Mezní otáčky	5000	ot./min
Celková hmotnost	0,89	kg

### 9.1.9 Rotační deska

Rotační deska o rozměrech 1100×1147×8 mm je vybavena vidličkou pro uložení chapadel, žebry pro zvýšení tuhosti vidličky a výztuhami. Všechny součásti jsou vyrobeny z materiálu S235 a k rotační desce navařeny. Výztuhy byly navrženy do zařízení z důvodu zabránění prohnutí při dlouhodobém používání mechanismu, jelikož při větším zatížení by mohlo dojít k deformaci desky. Zvyšují také tuhost rotační desky. Na rotační desku jsou upevněny kartáčové lišty prostřednictvím šroubů, kvůli minimalizování vstupu nečistot z kovací linky a okolí.

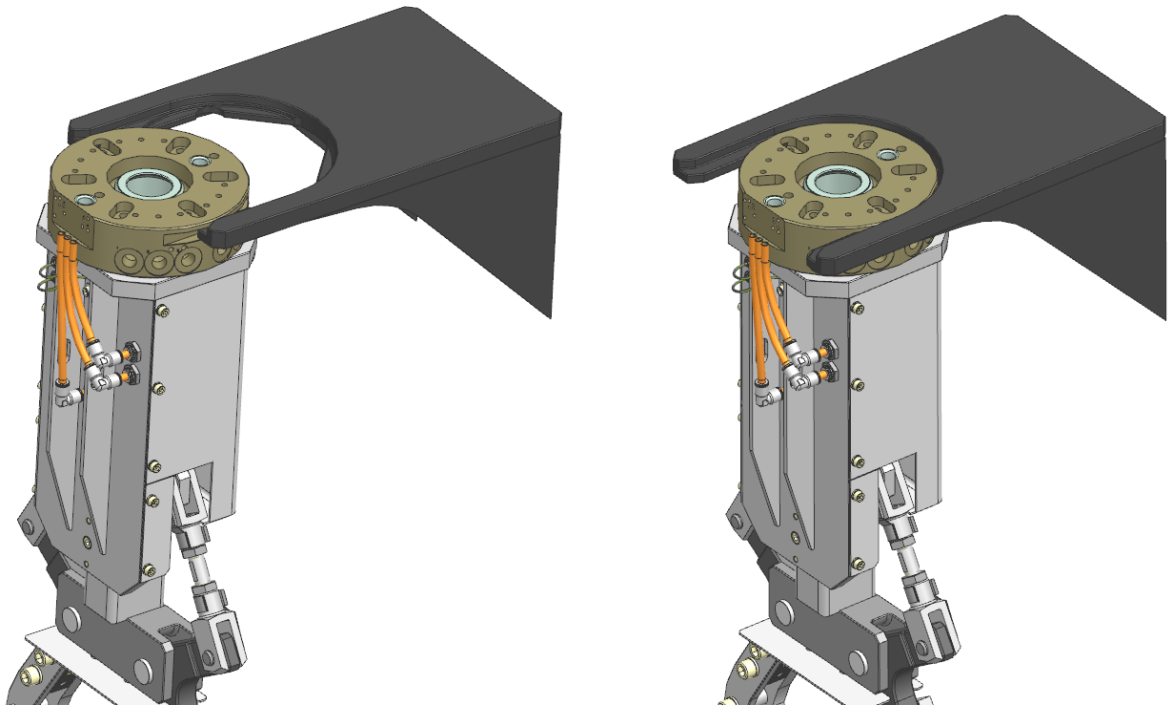


*Obr. 46 Rotační deska*

#### **9.1.10 Vidlička s žebry**

Při návrhu vidličky bylo nutné vyřešit několik problémů. Například zvolit ideální tloušťku vidličky, aby po čase nedošlo k její deformaci na koncích. Vyřešit aretaci chapadla uvnitř vidličky a zamezit možnému pohybu chapadla při otáčení. Vyztužit vidličku žebry pro minimalizování deformací vidličky. Identifikace chapadla, zdali se nachází uvnitř mechanismu či nikoliv.

Vidlička o rozměrech 260×435×20 mm je společně se žebry upevněna k rotační desce svařováním. Aretace chapadla ve vidličce byla vyřešena prostřednictvím vyfrézované drážky, do které by mělo chapadlo zapadnout po zasunutí do výměnného mechanismu. Prostřednictvím indukčního snímače je v tu chvíli ihned chapadlo identifikováno a lze provést výměnu chapadel při dodržení všech bezpečnostních nařízeních.



*Obr. 47 Vidlička se žebry a chapadlem*

Během návrhu byla zhotovena testovací vidlička. Cílem bylo ověřit, zdali nedojde k deformaci vidličky při zatížení chapadla nebo k deformaci drážky měniče nástrojů. Po dvou dnech konstantního zatížení chapadlem výsledek byl úspěšný – žádná deformace nebyla zjištěna, a proto lze využít vidličku společně s drážkou měniče nástrojů pro uchycení chapadla v mechanismu.



*Obr. 48 Testování vidličky a měniče nástrojů*

### 9.1.11 Kartáčová lišta

Kartáčová lišta od výrobce Mink Bürsten je určena k zabránění vniku nečistot do různých zařízení, strojů apod. Výhodou použití lišty je spolehlivá ochrana proti nečistotám, uzpůsobení štětinek i pro vyšší teploty, cenová dostupnost.

Mechanismus je vybaven kartáčovou lištou upevněnou na rotační desce z důvodu zabránění nečistot do pracovního prostoru zařízení.

Parametry zvolené kartáčové lišty:

- Materiál lišty: Hliník (AL),
- Materiál štětin: Polyamid 6 (PA6),
- Barva štětin: 0,30 mm,
- Délka štětin: 40 mm,
- Délka lišty: 2000 mm.



Obr. 49 Druhy kartáčových lišt [44]

### 9.1.12 Rozvaděčová skříň

Rozvaděčová skříň od společnosti Rittal Czech s.r.o. je určena především k ochraně elektrických zařízení. Materiál skříně se volí dle pracovního prostředí, ve kterém budou využívány. Nejčastěji se vyrábí z ocelového plechu, hliníku či plastu. Rozvaděče vyrobené z ocelového plechu nebo hliníkového odlitku se vyznačují vysokou odolností.

Při návrhu byla vybrána rozvaděčová skříň GA z hliníkového odlitku o rozměrech 330×230×183 mm. Skříň je lakovaná a vyznačuje se stupněm krytí IP 66 dle normy EN

60 529. Skříň je upevněna k mechanismu za pomoci šroubů. Po otevření skříně jsou přístupná veškerá elektrická zařízení upevněná na svorkovnici či montážní desku.



*Obr. 50 Zvolená rozvaděčová skříň [45]*

### 9.1.13 PLC – programovatelný logický automat

Programovatelný logický automat (PLC) je malý modulární polovodičový počítač s vlastními instrukcemi pro provádění určité úlohy. PLC se používají v průmyslových řídicích systémech pro nejrůznější průmyslová odvětví. Z velké části nahradily mechanická relé, bubnové sekvencéry a vačkové časovače.

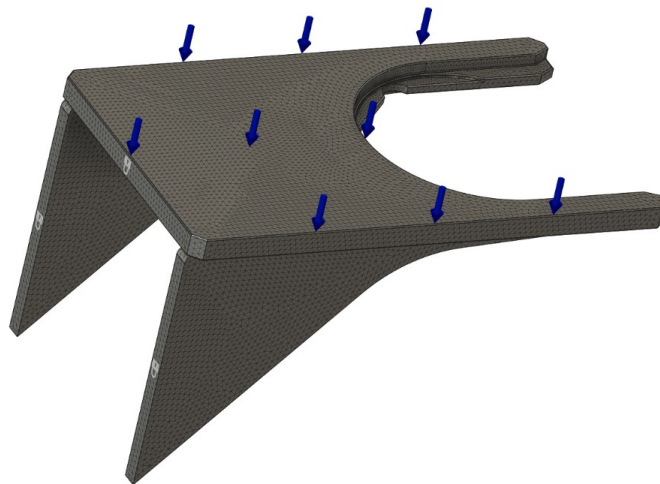
Na základě podmínky automatizace mechanismu bylo při návrhu zvoleno PLC s označením Simatic S7-1200 od firmy Siemens s.r.o. Jedná se o výkonnou automatizační technologii, která se vyznačuje vysokou flexibilitou a škálovatelností, přívětivým programováním a snadnou integrací do stávajících systémů. Prostřednictvím již zmíněného PLC lze řídit a ovládat celý výměnný mechanismus. PLC je upevněno na DIN lištu v rozvaděčové skříni mechanismu.



*Obr. 51 PLC Siemens Simatic S7-1200 [46]*

## 10 PEVNOSTNÍ ANALÝZA

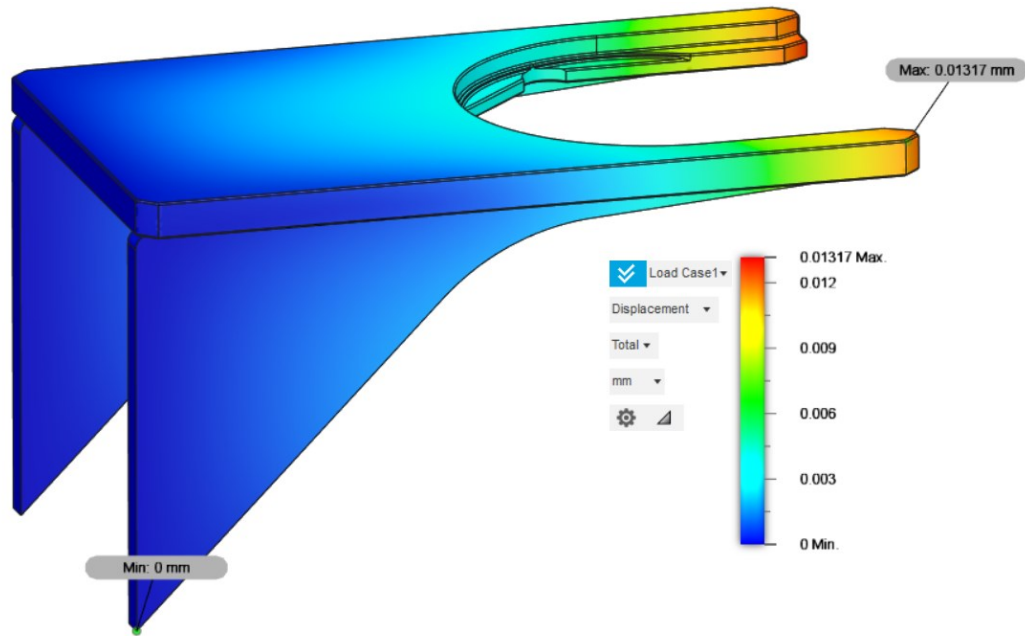
Pevnostní analýza namáhaných součástí ve výměnném mechanismu byla provedena v programu Autodesk Fusion 360 pomocí metody konečných prvků. Před výpočtem analýzy je nutné vidličku s žebry vymodelovat jako jednu součást. Po vymodelování následovalo přiřazení materiálu součásti, vydefinování vhodných podmínek a zatížení součásti a závěrem vytvoření sítě součásti o velikosti mřížky 5 mm. Vidlička byla zatížena silou o velikosti 1000 N (velikost síly = hmotnost chapadla + předimenzování o 15%) a jako materiál byla zvolena konstrukční ocel.



*Obr. 52 Vysíťovaný, zavazbený a zatížený prvek*

### 10.1 Deformace

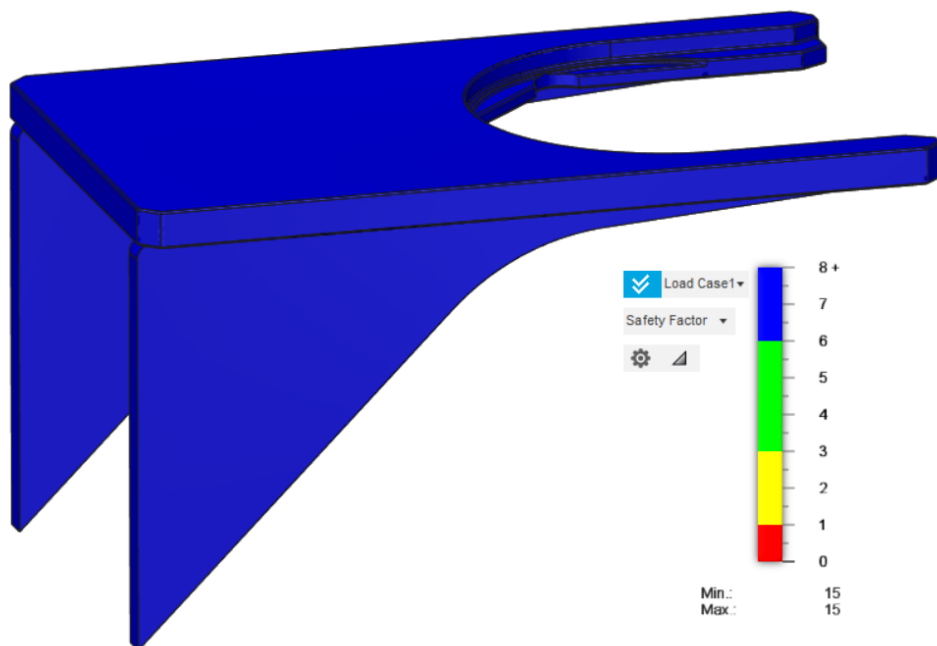
Deformace vyjadřuje změnu tvaru součásti na základě vnějšího nebo vnitřního zatížení. Prostřednictvím analýzy lze určit velikost deformace či velikost prohnutí součásti při určitém zatížení. Z výsledných hodnot lze vidět, že hodnota deformace vidličky při zatížení 1000 N je minimální (0,01317 mm), tudíž vidlička splňuje požadavky a lze ji použít v mechanismu.



Obr. 53 Výsledek analýzy – deformace

## 10.2 Koeficient bezpečnosti

Koeficient bezpečnosti obecně vyznačuje oblasti součásti, které nemusí vydržet existující zatížení. Stupnice koeficientu bezpečnosti nabývá hodnot od 0 – 15. Navržený díl splňuje podmínku pouze tehdy, jestliže je výsledná hodnota větší než 1. Z výsledných hodnot na obrázku níže lze vidět, že hodnota koeficientu je 15, tudíž vidlička s žebry splňuje podmínku.



Obr. 54 Výsledek analýzy – koeficient bezpečnosti



## 11 VÝPOČTOVÁ DOKUMENTACE

V této kapitole jsou zaznamenány výpočty, které jsou nezbytné pro realizaci navrženého mechanismu. Je nutné si před zhotovením ověřit, zdali jsou navržené součásti a technologické operace vyhovující.

### 11.1 Výpočet koutového svaru vidličky a rotační desky

Dáno:

$$h = 435 \text{ mm}$$

$$z = 3 \text{ mm}$$

$$t_{\text{žebra}} = 15 \text{ mm}$$

$$t_{\text{vidličky}} = 20 \text{ mm}$$

$$l_1 = 260 \text{ mm}$$

$$F = 1000 \text{ N}$$

$$\sigma_{DOV} = 220 \text{ MPa}$$

$$s = 0,5 \cdot t_{\text{vidličky}} = 0,5 \cdot 20 = 10 \text{ mm}$$

$$l = l_1 - 2 \cdot t_{\text{žebra}} = 260 - 30 = 230 \text{ mm}$$

$$\tau_x = \frac{F}{2 \cdot s \cdot l} = \frac{1000}{2 \cdot 10 \cdot 230} = 0,22 \text{ MPa}$$

$$\tau_y = \frac{M_0}{2 \cdot W_0} = \frac{F \cdot h}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot s \cdot l^2} = \frac{1000 \cdot 435}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 10 \cdot 230^2} = 2,47 \text{ MPa}$$

$$\tau = \sqrt{\tau_x^2 + \tau_y^2} \leq \tau_{\text{svaru DOV}} \rightarrow \sqrt{0,22^2 + 2,47^2} = 2,48 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\text{svaru DOV}} = 0,65 \cdot \sigma_{DOV} = 0,65 \cdot 220 = 143 \text{ MPa}$$

$$\tau = \sqrt{\tau_x^2 + \tau_y^2} \leq \tau_{\text{svaru DOV}}$$

$$2,48 \text{ MPa} \leq 143 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Kde:

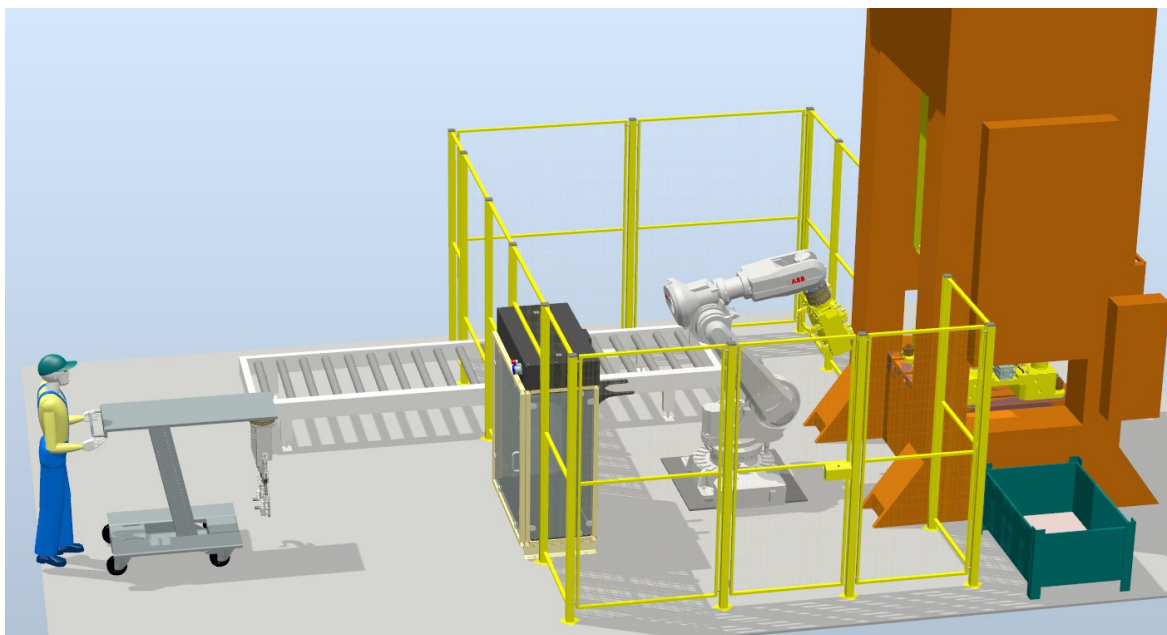
$h$  mm délka vidličky

---

$z, s$	mm	rozměr svaru
$t_{\text{žebra}}$	mm	tloušťka žebra
$t_{\text{vidličky}}$	mm	tloušťka vidle
$l_1$	mm	šířka vidle
$F$	N	síla působící na vidličku
$\sigma$	MPa	dovolené napětí pro ocel
$l$	mm	délka svaru
$\tau_x, \tau_y, \tau$	MPa	smyková napětí
$\tau_{\text{svaru DOV}}$	MPa	dovolené napětí svaru

## 12 PRINCIP AUTOMATICKÉ VÝMĚNY CHAPADEL

Simulace průběhu výměny chapadel byla zpracována ve virtuálním prostředí v programu RobotStudio od firmy ABB. Do simulace byla zakomponována výrobní linka společnosti Kovárny VIVA a.s., navržený výměnný mechanismus a hrubý návrh vozíku převážejícího chapadla.



*Obr. 55 Robotická linka s výměnným mechanismem*

### 12.1 Automatická výměna chapadel ve virtuálním prostředí

Mechanismus je zakomponován do prostoru robotické linky. Nejprve je nutné specifikovat ideální místo v robotické lince, kde by bylo vhodné zařízení umístit. Při špatném umístění může být omezením dosah robota, tudíž by nemohlo dojít k výměně chapadel. Jelikož byla dodržena maximální povolená šířka zařízení, lze jej umístit mezi sloupky oplocení. Princip výměny, jak už bylo zmíněno, spočívá v tom, že nejprve je chapadlo upnuto na manipulační vozík pomocí robotické strany měniče nástrojů a je dopraveno do pracovního prostoru výměnného mechanismu. Po usazení chapadla v drážce vidličky dojde k odepnutí nástrojové strany měniče nástrojů, pohybová část vozíku je vysunuta o několik milimetrů směrem nahoru a následně je vozík přemístěn do volného prostoru.

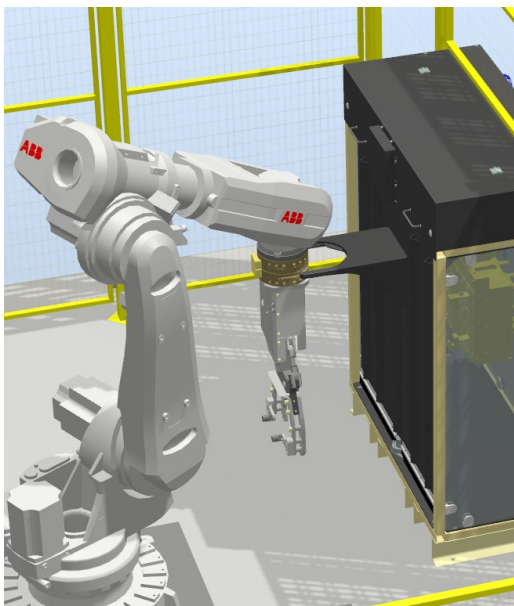


*Obr. 58 výchozí pozice výměny*

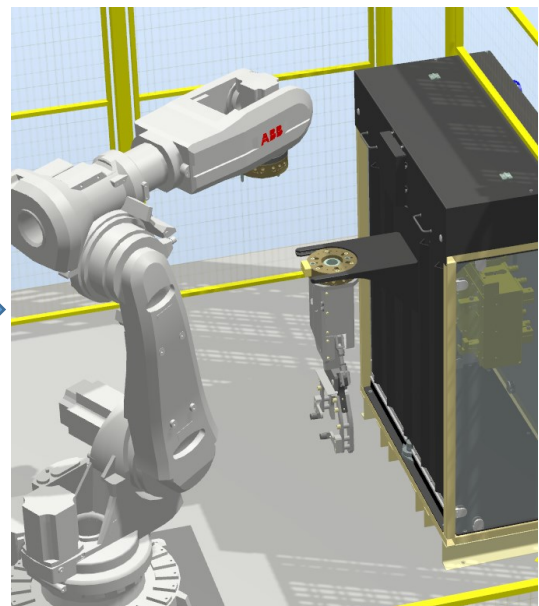


*Obr. 57 Uložení chapadla 1*

Následně dojde k uložení chapadla do mechanismu i ze strany robota.

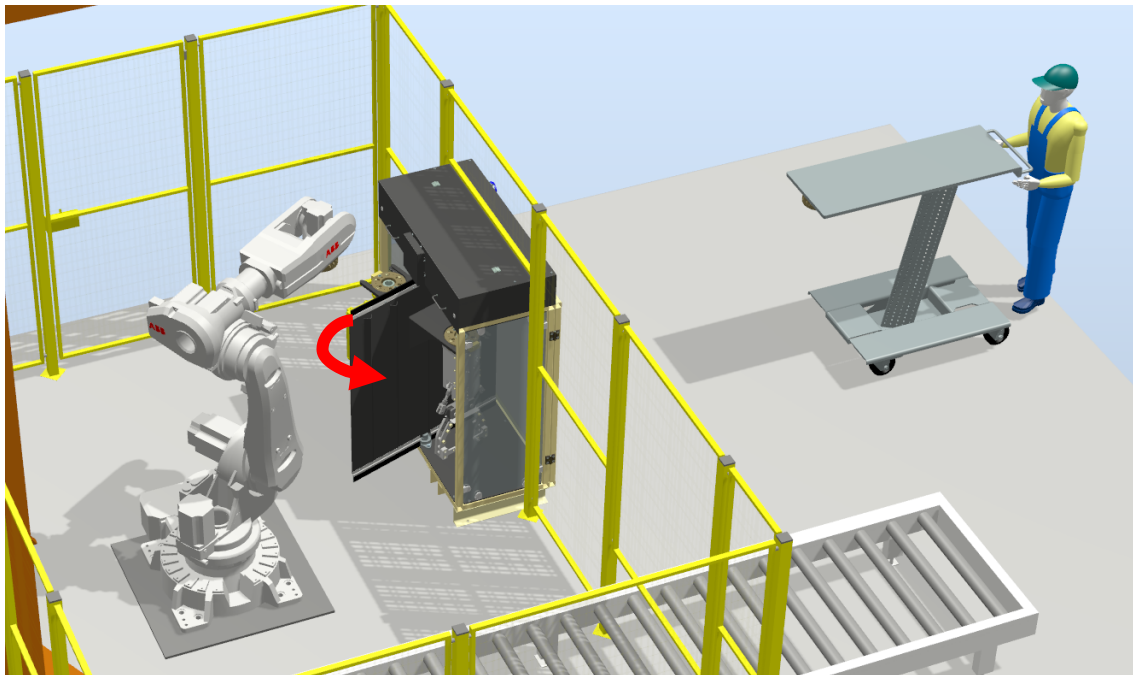


*Obr. 59 Nájezd robota*

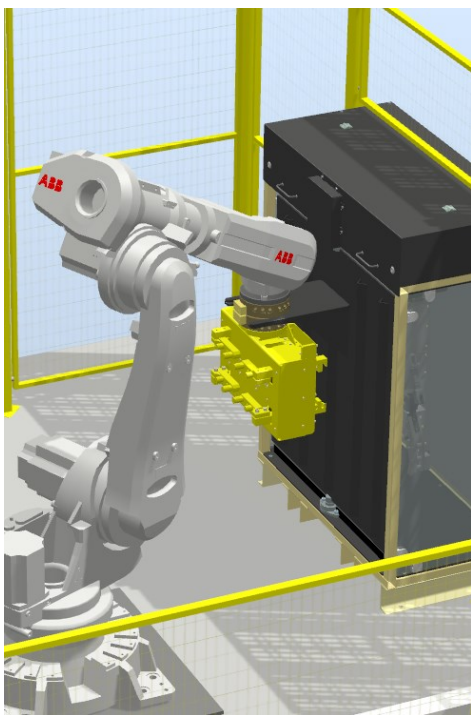


*Obr. 56 Uložení chapadla 2*

Poté je nutné zařízení uzavřít, aby bylo možné zahájit proces výměny chapadel. Po uzavření dojde k otočení mechanismu o 180°, následně je možné chapadla vyjmout ze zařízení.



*Obr. 60 Proces výměny chapadel*



*Obr. 62 Vyjmutí chapadla 1*



*Obr. 61 Vyjmutí chapadla 2*

### 13 DISKUZE ŘEŠENÍ

U navrhovaného výměnného mechanismu byly dodrženy veškeré požadavky stanovené společností Kovárna VIVA a.s.

Návrh řešení je plně automatizovaný a vhodný pro robotickou linku, kde se využívá měnič nástrojů pro výměnu chapadel. Svařovaná konstrukce je robustní, navržená plexiskla jsou odolná vůči nárazům a všechny komponenty, které budou namáhány, jsou předimenzovány, aby byla zaručena funkčnost i při větším zatížení. Obsluha mechanismu je velmi jednoduchá, údržbu lze svěřit pouze pověřené osobě. Zařízení je vhodné pro všechny kovací linky, které budou využívat měniče nástrojů.

Současná doba výměny jednoho chapadla se pohybuje přibližně okolo 30 minut. Pokud je linka plně robotizována a nachází se zde až 5 robotů, výměna chapadel na všech robotech může trvat až 3 hodiny. Při použití navrženého zařízení a za předpokladu použití vozíku pro dopravu chapadel z regálu ke kovací lince, může výměna trvat přibližně 10 minut, tudíž časová úspora za použití mechanismu s vozíkem je více než dvojnásobná.

Cenová kalkulace:

Přibližná cena za hutní materiály (jackely, plechy, obráběné díly apod.), jejich úpravu a složení je 112 000 Kč. Cena zahrnuje plexiskla odolná proti nárazům včetně jejich úpravy.

Cena za veškeré pořizované díly dle kusovníku (držáky plexiskla, nouzové tlačítko, zásuvky, senzory, bezpečnostní zámek apod.) se pohybuje okolo 54 704 Kč.

Cena za specifikovaný motor s převodovkou a dalšími komponenty je 26 207 Kč.

Cena za elektrické připojení a revize je stanovena přibližně na 11 500 Kč.

Odhadovaná cena za zhotovení průvodní dokumentace je 70 000 Kč.

Cena za montáž zařízení se pohybuje okolo 10 000 Kč.

Cena za případnou povrchovou úpravu je přibližně 10 000 Kč.

Odhadovaná cena za zhotovení výměnného mechanismu je 294 411 Kč – požadavek byl splněn.

## ZÁVĚR

V této diplomové práci je zpracován konstrukční návrh stanice (výměnného mechanismu) pro systém rychlé výměny chapadla na kovací lince.

Teoretická část se zabývá rozdělením průmyslových robotů a manipulátorů, jejich historií a uplatněním v praxi. Dále je zde zmíněno rozdělení pohonů a senzorů, druhy kování a metody výměny chapadel.

V praktické části je rozebráno konstrukční řešení výměnného mechanismu. Nejprve byly navrženy náčrty a různé koncepty dle požadavkového listu, poté se postupně přešlo k realizaci vybraného konceptu řešení. Jednotlivé modely mechanismu včetně jejich výkresové dokumentace byly zkonstruovány v programu NX 12. Na základě výpočtů ve výpočtové dokumentaci se ověřilo, zda navržené součásti a technologické operace budou vyhovovat. V dalším kroku byla provedena pevnostní analýza v programu Autodesk Fusion 360, kde se ověřilo, zdali při zatížení určitých součástí nebude docházet k materiálové deformaci. Na závěr byl výměnný mechanismus zakomponován do výrobní linky ve virtuálním prostředí z důvodu ověření funkčnosti mechanismu a dosahu robota.

Navržené zařízení slouží k plné automatizaci kovací linky. Veškeré požadavky uvedené v požadavkovém listu stanovené firmou byly splněny. Cílem bylo navrhnout konstrukční řešení k minimalizování prostojů, možnosti úrazu pracovníka při výměně chapadel či ke snížení fyzické námahy pracovníka. Vzhledem ke skutečnosti, že odborníkům ve firmě se návrh konstrukčního řešení velmi zamlouvá, bude se jeho realizace uskutečňovat již v nejbližší době.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] GUPTA, A.K.; ARORA, S.K.; WESTCOTT, Jean RIESCHER. Robotics. *Industrial Automation and Robotics* [online]. Mercury Learning and Information, 2017 [cit. 2022-12-10]. Dostupné z: <https://app.knovel.com/kn/resources/kpIAR00001/toc>
- [2] *Vehicle-manipulator systems*. Londýn: Springer, 2014. ISBN 978-1-4471-5462-4.
- [3] CHAUMON a Marc-Eric BOBILLIER. Robotization in Industries: A Focus on SMEs. *Digital Transformations in the Challenge of Activity and Work – Understanding and Supporting Technological Changes, Volume 3* [online]. 2021 [cit. 2022-12-10]. Dostupné z: <https://app.knovel.com/kn/resources/kpDTCAWUS2/toc>
- [4] Průmyslová automatizace a robotizace. In: *Automation 4 u s.r.o.* [online]. [cit. 2022-12-10]. Dostupné z: <http://www.automation4u.cz/prumyslova-automatizace-robotizace.php>
- [5] Grippers – The "APP" for Robots. *Grippers in Motion – The Fascination of Automated Handling Tasks* [online]. 2018 [cit. 2022-12-10]. Dostupné z: <https://app.knovel.com/kn/resources/kpGMTFAHT2/toc>
- [6] *ROBOTICS: From manipulator to mobilerobot* [online]. New Jersey: World Scientific Publishing Co. Pte., 2022 [cit. 2022-12-10]. ISBN 9789811253485.
- [7] Classification of Robots. *Polymer Science and Innovative Applications – Materials, Techniques, and Future Developments* [online]. 2020 [cit. 2022-12-10]. Dostupné z: <https://app.knovel.com/kn/resources/kpPSIAMTF3/toc>
- [8] 6 – Axis Articulated Robot Uses in the USA. In: *Robotic Automation systems* [online]. [cit. 2022-12-10]. Dostupné z: <https://www.roboticautomationsystems.com/robots/6-axis-robots-articulated-robots/>
- [9] Festo introduces pneumatic cobot arm. In: *The robot report* [online]. 2023 [cit. 2022-12-10]. Dostupné z: <https://www.therobotreport.com/festo-introduces-pneumatic-cobot-arm/>
- [10] ANALOG SERVOS FOR ROBOTICS. In: *SERVO magazine* [online]. [cit. 2022-12-10]. Dost.: [https://www.servomagazine.com/magazine/article/july2015\\_Ostendorff](https://www.servomagazine.com/magazine/article/july2015_Ostendorff)
- [11] Programování robota. In: *FESTO* [online]. 2017 [cit. 2022-12-10]. Dostupné z: [https://www.festo.com.cn/cn/en/e/journal/programming-a-robot-is-child-s-play-id\\_28594/](https://www.festo.com.cn/cn/en/e/journal/programming-a-robot-is-child-s-play-id_28594/)



- [12] Robotické svařování. In: *RobotWorx* [online]. [cit. 2023-01-31]. Dostupné z: <https://www.robots.com/articles/arc-welding-101>
- [13] Robotické kování. In: *Foundry & Forge – DiFACTO* [online]. [cit. 2023-01-31]. Dostupné z: <https://difacto.com/robotic-systems/foundry-and-forge/>
- [14] BASSHUYSEN, RICHARD VAN; SCHÄFER, FRED. Actuators. *Internal Combustion Engine Handbook – Basics, Components, System, and Perspectives (2nd Edition)* [online]. 2016, 2 [cit. 2023-01-31]. Dostupné z: <https://app.knovel.com/kn/resources/kpICEHBC04/toc>
- [15] Pneumatic gear motor. In: *DirectIndustry* [online]. [cit. 2023-01-31]. Dostupné z: <https://www.directindustry.com/prod/gast/product-7063-1164661.html>
- [16] CIBSE. Lift components and installation. *Transportation Systems in Buildings – CIBSE Guide D–2020 (6th Edition)* [online]. 2020, 6 [cit. 2023-01-31]. Dostupné z: <https://app.knovel.com/kn/resources/kpTSBE0003/toc>
- [17] Industrial hydraulic motors. In: *Bosch Rexroth Australia* [online]. [cit. 2023-01-31]. Dostupné z: <https://www.boschrexroth.com/en/au/products/product-groups/industrial-hydraulics/topics/motors/>
- [18] CAPEHART, BARNEY L.; KENNEDY, WILLIAM J.; TURNER, WAYNE C. Electric Motors and Drives. *Guide to Energy Management (8th Edition) - International Version* [online]. 2016, 8 [cit. 2023-01-31]. Dostupné z: <https://app.knovel.com/kn/resources/kpGEMIVE0U/toc>
- [19] Electric Power Motor. In: *Indiamart* [online]. [cit. 2023-01-31]. Dostupné z: <https://www.indiamart.com/proddetail/electric-motor-15938763497.html>
- [20] BURTON, Tony; JENKINS, Nick; BOSSANYI, Ervin; SHARPE, David; GRAHAM, Michael. Gearbox. *Wind Energy Handbook (3rd Edition)* [online]. 2021, 3 [cit. 2023-02-05]. Dostupné z: <https://app.knovel.com/kn/resources/kpWEHE0022/toc>
- [21] CROWDER, Richard. Planetary Gearbox. *Electric Drives and Electromechanical Systems – Applications and Control (2nd Edition)* [online]. 2020, 2 [cit. 2023-02-05]. Dostupné z: <https://app.knovel.com/kn/resources/kpEDESACE1/toc>
- [22] Quatro Planetary Gearboxes. In: *Santasalo – Industrial gearbox manufacturers* [online]. [cit. 2023-02-05]. Dostupné z:

- <https://dbsantasalo.com/industries/mining-minerals/bulk-materials-handling/quatro-planetary-gearboxes>
- [23] Harmonické prevodovky. In: *Priemyselná automatizácia* [online]. [cit. 2023-02-05]. Dostupné z: [https://www.dailyautomation.sk/hps/harmonicke-prevodovky-hps-\\_02/](https://www.dailyautomation.sk/hps/harmonicke-prevodovky-hps-_02/)
- [24] Cycloidal gears versus planetary gears. In: *Nabtesco* [online]. [cit. 2023-02-05]. Dostupné z: <https://www.nabtesco.de/en/technology/cycloidal-gears-versus-planetary-gears>
- [25] How to interpret the self-locking mechanism of worm gearboxes. In: *BJ-Gear A/S* [online]. [cit. 2023-02-05]. Dostupné z: <https://www.bj-gear.com/about-bj-gear/information-centre/technical-knowledge-base/how-to-interpret-the-self-locking-mechanism-of-worm-gearboxes>
- [26] DESIGN, DEVELOPMENT AND TESTING OF 4 TOOL AUTOMATIC TOOL CHANGER. *INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCES & RESEARCH TECHNOLOGY* [online]. 2017, 1-7 [cit. 2023-02-01]. Dostupné z: <http://www.ijesrt.com/issues%20pdf%20file/Archive-2017/March-2017/80.pdf>
- [27] Robot tool changer. In: *Pascal corporation* [online]. [cit. 2023-02-01]. Dostupné z: [https://www.pascaleng.co.jp/us/products/robot/robot\\_tool\\_changer/](https://www.pascaleng.co.jp/us/products/robot/robot_tool_changer/)
- [28] Robot EoAT Tool Changers: *How & Where They Are Used*. *Bastian Solutions* [online]. 2020 [cit. 2023-02-01]. Dostupné z: <https://www.bastiansolutions.com/blog/robot-eoat-tool-changers-how--where-they-are-used/>
- [29] REGTIEN, Paul; DERTIEN, Edwin. Sensors in Mechatronics. *Sensors for Mechatronics (2nd Edition)* [online]. 2018, 2 [cit. 2023-02-04]. Dostupné z: <https://app.knovel.com/kn/resources/kpSME00025/toc>
- [30] AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, INC. (ASHRAE). Resistive Sensor. *2021 ASHRAE® Handbook – Fundamentals (SI Edition)* [online]. 2021 [cit. 2023-02-04]. Dostupné z: <https://app.knovel.com/kn/resources/kpCK08G9X5/toc>
- [31] TOUCH SENSORS: CAPACITIVE VS. RESISTIVE. In: *Xymox Technologies, Inc.* [online]. 2018, s. 1 [cit. 2023-02-04]. Dostupné z: <https://xymox.com/blog/capacitive-vs-resistive/>

- [32] Resistive Sensor Technology. In: *INTERLINK ELECTRONICS* [online]. [cit. 2023-02-04]. Dostupné z: <https://www.interlinkelectronics.com/resistive-sensor-technology>
- [33] LANG, Walter. Capacitive Pressure Sensors. *Sensors and Measurement Systems (2nd Edition)* [online]. 2021, 2 [cit. 2023-02-04]. Dostupné z: <https://app.knovel.com/kn/resources/kpSMSE0011/toc>
- [34] IDA, Nathan. Inductive Sensors. *Sensors, Actuators, and Their Interfaces – A Multidisciplinary Introduction (2nd Edition)* [online]. 2020, 2 [cit. 2023-02-04]. Dostupné z: <https://app.knovel.com/kn/resources/kpSATIAM01/toc>
- [35] Inductive Sensor Working and Applications. In: *ElProCus – Electronic Project for Engineering Students* [online]. [cit. 2023-02-04]. Dostupné z: <https://www.elprocus.com/inductive-sensor-working-applications/>
- [36] Magnetic Proximity Sensor-Working Principle, Applications. In: *India's biggest Robotics* [online]. [cit. 2023-02-04]. Dostupné z: <https://robu.in/magnetic-proximity-sensor/>
- [37] HU, Jinlian; KUMAR, Bipin; LU, Jing. Advantages of Optical Fiber Sensors. *Handbook of Fibrous Materials, Volume 1 - Production and Characterization/Volume 2 - Applications in Energy, Environmental Science and Healthcare* [online]. 2020, (1) [cit. 2023-02-04]. Dostupné z: <https://app.knovel.com/kn/resources/kpHFMVPCV1/toc>
- [38] Optical sensors. In: *WEG* [online]. [cit. 2023-02-04]. Dostupné z: [https://www.weg.net/catalog/weg/RS/en/Safety/Industrial-Sensors/Optical-sensors/Optical-sensors/p/MKT\\_WDC\\_GLOBAL\\_PHOTOELECTRIC\\_SENSORS](https://www.weg.net/catalog/weg/RS/en/Safety/Industrial-Sensors/Optical-sensors/Optical-sensors/p/MKT_WDC_GLOBAL_PHOTOELECTRIC_SENSORS)
- [39] KOSKY, Philip; BALMER, Robert; KEAT, William; WISE, George. Proximity Sensors. *Exploring Engineering – An Introduction to Engineering and Design (5th Edition)* [online]. 2021, 5 [cit. 2023-02-04]. Dostupné z: <https://app.knovel.com/kn/resources/kpEEAIED01/toc>
- [40] Ultrazvukové snímače. In: *Balluff* [online]. [cit. 2023-02-04]. Dostupné z: <https://www.balluff.com/cs-cz/products/areas/A0001/groups/G0104>

- [41] HARIK, Ramy; WUEST, Thorsten. Deformative Manufacturing. *Introduction to Advanced Manufacturing* [online]. 2020 [cit. 2023-02-05]. Dostupné z: <https://app.knovel.com/kn/resources/kpIAM00001/toc>
- [42] BEZPEČNOSTNÍ SPÍNAČ CTM-BP. In: *EUCHNER – More than safety* [online]. [cit. 2023-04-15]. Dostupné z: <https://www.euchner.de/cs-cz/vyrobky/bezpecnostni-spinac-ctm-bp/>
- [43] Ložiskový komplet UCFL 206. In: *Korbel – ložiska s.r.o.* [online]. [cit. 2023-04-15]. Dostupné z: <https://www.korbel-loziska.cz/sortiment/ucfl2-60/ucfl-206-asahi/p11117.html>
- [44] Kartáčové lišty. In: *Standard strip brushes – Mink Bürsten* [online]. [cit. 2023-04-15]. Dostupné z: <https://mink-buersten.com/en/products/strip-brushes/standard-strip-brushes/>
- [45] Skříňky GA z hliníkového odlitku. In: *Rittal* [online]. [cit. 2023-04-15]. Dostupné z: <https://www.rittal.com/cs-cs/products/PG0002SCHRANK1/PG0003SCHRANK1/PG0011SCHRANK1/PRO0009?variantId=9119210>
- [46] PLC Siemens Simatic S7-1200. In: *Průmyslová řešení | RS* [online]. [cit. 2023-04-16]. Dostupné z: <https://cz.rs-online.com/web/p/plc-programovatelne-logicke-kontrolery/8624455>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

kg	Hmotnost
PLC	Programovatelný logický automat (Programmable Logic Controller)
mm	Milimetr
kW	Kilowatt
min	minuta
Nm	Newton metr
A	Amper
°C	Stupeň Celsia
V	Volt
PNP/NPN	Typ tranzistoru
I/O	Input/Output
LED	Elektroluminiscenční dioda (Light Emitting Diode)
DIN	Německý institut pro normy, standardizace (Deutsches Institut für Normung)
IP	Stupeň krytí (Ingress Protection)
ot/min	otáčky za minutu
tzn.	takzvaně
AL	Hliník (Aluminium)
PA6	Polyamid 6
N	Newton
MPa	Megapascal
Z,S	Rozměr svaru
t <sub>žebra</sub>	Tloušťka žebra
t <sub>vidličky</sub>	Tloušťka vidličky
l <sub>1</sub>	šířka vidličky
F	síla působící na vidličku

---

$\sigma$	Dovolené napětí pro ocel
$l$	Délka svaru
$\tau_x, \tau_y, \tau$	Smyková napětí
$\tau_{\text{svaru DOV}}$	Dovolené napětí svaru
EN	Evropská norma

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

<i>Obr. 1 Průmyslová automatizace a robotizace [4]</i> .....	12
<i>Obr. 2 Programovatelná univerzální manipulační ruka [5]</i> .....	13
<i>Obr. 3 Kloubový robot [8]</i> .....	14
<i>Obr. 4 Kolaborativní pneumatický robot [9]</i> .....	15
<i>Obr. 5 Robot řízený servopohonem [10]</i> .....	15
<i>Obr. 6 Ručně programovaný robot [11]</i> .....	16
<i>Obr. 7 Robotické svařování [12]</i> .....	17
<i>Obr. 8 Robotické kování [13]</i> .....	18
<i>Obr. 9 Pneumatický motor [15]</i> .....	19
<i>Obr. 10 Hydraulický motor [17]</i> .....	20
<i>Obr. 11 Elektromotor [19]</i> .....	21
<i>Obr. 12 Planetová převodovka [22]</i> .....	21
<i>Obr. 13 Harmonická převodovka [23]</i> .....	22
<i>Obr. 14 Cykloidní převodovka [24]</i> .....	23
<i>Obr. 15 Šneková převodovka [25]</i> .....	24
<i>Obr. 16 Měnič nástrojů[27]</i> .....	26
<i>Obr. 17 Odporový senzor[32]</i> .....	29
<i>Obr. 18 Rozdíl mezi kapacitním a odporovým senzorem [31]</i> .....	30
<i>Obr. 19 Indukční senzor[35]</i> .....	30
<i>Obr. 20 Magnetický senzor[36]</i> .....	31
<i>Obr. 21 Optický senzor [38]</i> .....	32
<i>Obr. 22 Ultrazvukový senzor[40]</i> .....	32
<i>Obr. 23 Příklad otevřeného zápusťkového kování [41]</i> .....	34
<i>Obr. 24 Příklad zápusťkového kování [41]</i> .....	35
<i>Obr. 25 Nárazové kování [41]</i> .....	35
<i>Obr. 26 Vadný výkovek [41]</i> .....	36
<i>Obr. 27 Chapadlo upnuté na robotovi</i> .....	39
<i>Obr. 28 Vozík chapadel</i> .....	40
<i>Obr. 29 Prostor pro manuální výměnu chapadel</i> .....	40
<i>Obr. 30 První návrh řešení</i> .....	42
<i>Obr. 31 Druhý návrh řešení</i> .....	43
<i>Obr. 32 Skica vozíku chapadel s měničem nástrojů</i> .....	44
<i>Obr. 33 Konstrukční řešení mechanismu</i> .....	45
<i>Obr. 34 Svařovaná konstrukce z jackelů</i> .....	46

<i>Obr. 35 Profily válcované za tepla .....</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 36 Popis krytovacích prvků .....</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 37 Skříň s elektrickými prvky.....</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 38 Uplatnění bezpečnostní zámku v návrhu .....</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 39 Bezpečnostní zámek řady CTM [42] .....</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 40 Řez chapadlem a indukčním snímačem .....</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 41 Řez otočným uzávěrem zajišťující skříň mechanismu .....</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 42 3D model hřídelové spojky řady WK2.....</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 43 Řez převodovkou a hřídelovou převodovkou.....</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 44 Hřídele s drážkou a spojovací hřídel .....</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 45 Ložiskový domek UCFL206 [43] .....</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 46 Rotační deska .....</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 47 Vidlička se žebry a chapadlem .....</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 48 Testování vidličky a měniče nástrojů .....</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 49 Druhy kartáčových lišt [44] .....</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 50 Zvolená rozvaděčová skříň [45].....</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 51 PLC Siemens Simatic S7-1200 [46] .....</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 52 Vysítovaný, zavazbený a zatížený prvek.....</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 53 Výsledek analýzy – deformace.....</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 54 Výsledek analýzy – koeficient bezpečnosti .....</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 55 Robotická linka s výměnným mechanismem.....</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 56 Uložení chapadla 2.....</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 57 Uložení chapadla 1 .....</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 58 výchozí pozice výměny.....</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 59 Nájezd robota .....</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 60 Proces výměny chapadel .....</i>	<i>69</i>
<i>Obr. 61 Vyjmutí chapadla 2.....</i>	<i>69</i>
<i>Obr. 62 Vyjmutí chapadla 1 .....</i>	<i>69</i>



**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1</i> Technické údaje specifikovaného motoru .....	50
<i>Tab. 2</i> Technické údaje specifikované převodovky .....	51
<i>Tab. 3</i> Technické údaje specifikovaného frekvenčního měniče .....	51
<i>Tab. 4</i> Technické údaje ložiskového domku UCFL206.....	58

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Výměnný mechanismus s chapadly

Obsah výkresové dokumentace:

DP-UTB-FT-00	SESTAVA MECHANISMU
DP-UTB-FT-01	BOČNICE 1
DP-UTB-FT-02	BOČNICE 2
DP-UTB-FT-03	BOČNICE 3
DP-UTB-FT-04	BOČNICE 4
DP-UTB-FT-05	BOČNICE 5
DP-UTB-FT-06	BOČNICE 6
DP-UTB-FT-07	ČELNÍ DESKA
DP-UTB-FT-08	ROTAČNÍ/OTÁČECÍ DESKA
DP-UTB-FT-09	DISTANČNÍ SLOUPEK
DP-UTB-FT-10	DRŽÁK ČIDLA
DP-UTB-FT-11	DRŽÁK ZÁMKU
DP-UTB-FT-12	PODSESTAVA DVEŘÍ
DP-UTB-FT-13	SVAŘENEC DVEŘÍ
DP-UTB-FT-14	HŘÍDEL 1
DP-UTB-FT-15	HŘÍDEL 2
DP-UTB-FT-16	HŘÍDEL 3
DP-UTB-FT-17	JACKEL 1 v2
DP-UTB-FT-18	JACKEL 1 v3
DP-UTB-FT-19	JACKEL 1 v4
DP-UTB-FT-20	JACKEL 1 v5
DP-UTB-FT-21	JACKEL 1
DP-UTB-FT-22	JACKEL 2 v2

---

DP-UTB-FT-23	JACKEL 2 v3
DP-UTB-FT-24	JACKEL 2 v4
DP-UTB-FT-25	JACKEL 2
DP-UTB-FT-26	JACKEL 3 v2
DP-UTB-FT-27	JACKEL 3
DP-UTB-FT-28	JACKEL 4
DP-UTB-FT-29	JACKEL 5
DP-UTB-FT-30	KRYT PŘEVODOVKY
DP-UTB-FT-31	ODKLÁPĚCÍ DVÍŘKA
DP-UTB-FT-32	VIDLIČKA
DP-UTB-FT-33	VÝZTUŽ 2
DP-UTB-FT-34	VÝZTUŽ
DP-UTB-FT-35	ZARÁŽKA ZÁMKU
DP-UTB-FT-36	ŽEBRO VIDLIČKY
DP-UTB-FT-37	PODSESTAVA OTÁČECÍ DESKY
DP-UTB-FT-38	KUSOVNÍK OTÁČECÍ DESKY
DP-UTB-FT-39	SVAŘENEC OTÁČECÍ DESKY
DP-UTB-FT-40	SVAŘENEC JACKELŮ
DP-UTB-FT-41	KUSOVNÍK SVAŘENCE JACKELŮ
DP-UTB-FT-42	KUSOVNÍK VÝMĚNNÉHO MECHANISMU
DP-UTB-FT-43	TYČ L v1
DP-UTB-FT-44	TYČ L v2
DP-UTB-FT-45	TYČ U

## PŘÍLOHA P I: VÝMĚNNÝ MECHANISMUS S CHAPADLY

