

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
**FAKULTA STROJNÍ**

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství  
Studijní zaměření: Stavba výrobních strojů a zařízení

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Konstrukční návrh univerzálního programovatelného manipulátoru

Autor: **Tomáš KECKSTEIN**

Vedoucí práce: **Doc. Ing. Josef FORMÁNEK, Ph.D.**

Akademický rok 2011/2012

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Tomáš KECKSTEIN**  
Osobní číslo: **S09B0333P**  
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **Stavba výrobních strojů a zařízení**  
Název tématu: **Konstrukční návrh univerzálního programovatelného manipulátoru**  
Zadávací katedra: **Katedra konstruování strojů**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Základní požadavky:

Cílem je provést návrh konstrukce mechanické části manipulátoru pro manipulaci s různorodými předměty při kusové výrobě. Manipulační prostor je dán velikostí vybraného výrobního stroje. U výsledného řešení provést komplexní hodnocení.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. Vypracování rešerše včetně systematické specifikace požadavků.
2. Vypracování variant koncepčních řešení.
3. Vypracování potřebného grafického zpracování.
4. Zhodnocení navrženého konstrukčního řešení.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**  
Rozsah pracovní zprávy: **30-40 stran A4**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**  
Seznam odborné literatury:

**MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM** *Konstrukce CNC obráběcích strojů. Praha: 2006*

**ŘAŠA, J., ŠVERCL, J.** *Strojnické tabulky. Praha: Scientia, 2004*

**HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J.** *Příručka strojního inženýra. Brno: Computer Press, 1999*

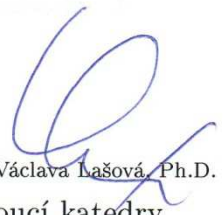
**KOLÍBAL, Z.** *Průmyslové roboty I. Brno: VUT Brno, 1993*

*Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.*

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Josef Formánek, Ph.D.**  
Katedra konstruování strojů  
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Jan Kutlwašer**  
Katedra konstruování strojů  
Datum zadání bakalářské práce: **19. září 2011**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **25. května 2012**

  
Doc. Ing. Jiří Staněk, CSc.  
děkan



  
Doc. Ing. Václava Lašová, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 19. září 2011

## **Prohlášení o autorství**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

**V Plzni dne:** .....

.....  
**podpis autora**

# ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ (BAKALÁŘSKÉ) PRÁCE

<b>AUTOR</b>	Příjmení Keckstein	Jméno Tomáš	
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	B2301 „Stavba výrobních strojů a zařízení“		
<b>VEDOUCÍ PRÁCE</b>	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Formánek Ph.D.	Jméno Josef	
<b>PRACOVIŠTĚ</b>	ZČU - FST - KKS		
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<b>BAKALÁŘSKÁ</b>	Nehodící se škrtně- te
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Konstrukční návrh univerzálního programovatelného manipulátoru		

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KKS	<b>ROK ODEVZD.</b>	2012
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

## POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	58	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	39	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	9
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<p style="text-align: center;"><b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b></p> <p><b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b></p>	<p>Tato bakalářská práce pojednává o průmyslových manipulačních zařízeních, jejich historii, základním rozdělení a možnostech použití u výrobních strojů. V další části je řešen konkrétní konstrukční návrh univerzálního programovatelného manipulátoru, který byl vybrán z návrhů variant.</p>
<p style="text-align: center;"><b>KLÍČOVÁ SLOVA</b></p> <p style="text-align: center;"><b>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b></p>	<p style="text-align: center;">Univerzální manipulátor, konstrukce, efektor, CAD, MKP</p>

## SUMMARY OF DIPLOMA (BACHELOR) SHEET

<b>AUTHOR</b>	<b>Surname</b> Keckstein	<b>Name</b> Tomáš	
<b>FIELD OF STUDY</b>	B2301 “Design of Manufacturing Machines and Equipment“		
<b>SUPERVISOR</b>	<b>Surname (Inclusive of Degrees)</b> Doc. Ing. Formánek Ph.D.	<b>Name</b> Josef	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KKS		
<b>TYPE OF WORK</b>	<b>DIPLOMA</b>	<b>BACHELOR</b>	<b>Delete when not applicable</b>
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Design of programmable universal manipulator		

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	Machine Design	<b>SUBMITTED IN</b>	2012
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

### NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

<b>TOTALLY</b>	58	<b>TEXT PART</b>	39	<b>GRAPHICAL PART</b>	9
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

<b>BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	This bachelor thesis deals with the industrial manipulators, their history, the basic classification and applications by production machines. The next part deals with the specific design of programmable universal manipulator, which was selected from proposed variations.
<b>KEY WORDS</b>	Universal manipulator, design, effector, CAD, FEM

# Obsah

1.	ÚVOD .....	1
2.	HISTORIE MANIPULAČNÍ TECHNIKY .....	2
3.	MANIPULAČNÍ ZAŘÍZENÍ .....	4
3.1	Základní činnosti vykonávané manipulačním zařízením .....	4
3.2	Základní rozdělení manipulačních zařízení a jejich charakteristické znaky .....	4
3.2.1	Jednoučelové manipulátory .....	4
3.2.2	Univerzální manipulátory .....	5
3.3	Systémové pojetí průmyslového robotu .....	6
3.4	Hlediska posuzování PRaM .....	7
3.4.1	Popis jednotlivých hledisek posuzování PRaM .....	7
4.	POUŽITÍ MANIPULAČNÍCH ZAŘÍZENÍ U VÝROBNÍCH STROJŮ .....	10
4.1	Základní rozdělení výrobních strojů .....	10
4.1.1	Rozdělení dle technologického procesu .....	10
4.1.2	Rozdělení dle zpracovávaného materiálu .....	10
4.1.3	Rozdělení dle pohonu a mechanismu užitého pro přenos energie .....	10
4.1.4	Rozdělení dle působení výstupního členu (nástroje) na objekt .....	10
4.1.5	Rozdělení dle šíře možného využití .....	11
4.2	Využití PRaM u výrobních strojů .....	11
4.2.1	Základní zpracovatelské technologie pro výrobu polotovarů .....	11
4.2.2	Tvářecí stroje .....	12
4.2.3	Obráběcí stroje .....	15
4.2.4	Spojovací stroje .....	16
5.	MODULÁRNOST MANIPULAČNÍCH ZAŘÍZENÍ .....	17
5.1	Modulárnost polohovacího ústrojí manipulačních zařízení .....	17
5.2	Orientační ústrojí – výstupní hlavice (efektory) .....	19
5.2.1	Účel výstupní hlavice .....	19
5.2.2	Rozdělení výstupních hlavic .....	19
5.2.3	Interface .....	21
5.2.4	Automatická výměna výstupních hlavic .....	22
5.3	Zhodnocení manipulačních zařízení .....	22
5.3.1	Základní požadavky na manipulační zařízení .....	23
6.	VARIANTNÍ NÁVRHY MANIPULAČNÍHO ZAŘÍZENÍ .....	24
6.1	Variantní návrhy .....	24
6.1.1	Varianta A .....	24

6.1.2	Varianta B .....	25
6.1.3	Varianta C .....	25
6.1.4	Varianta D .....	26
6.2	Zhodnocení jednotlivých variant .....	26
6.2.1	Výpis nejdůležitějších kritérií .....	26
6.2.2	Párové srovnání .....	27
6.2.3	Metoda pořadí .....	27
6.2.4	Součet vážených hodnot.....	27
6.2.5	Výsledek výběru varianty.....	27
7.	KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ MANIPULÁTORU .....	28
7.1	Návrh nosné části manipulátoru .....	28
7.2	Návrh pohonů a převodů .....	29
7.2.1	Ukázka výpočtu motoru a volba převodu .....	29
7.3	Návrh uložení .....	31
7.4	Návrh výstupní hlavice .....	31
8.	ZHODNOCENÍ KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ .....	32
8.1	Zhodnocení konstrukčního řešení manipulátoru .....	32
8.2	Zhodnocení konstrukčního řešení výstupní hlavice .....	33
8.3	Zhodnocení MKP výpočtů.....	34
9.	ZÁVĚR.....	37
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....	38
	INTERNETOVÉ ZDROJE .....	38



## Seznam obrázků

- Obr. 2.1 - Rytíř sestrojený dle návrhu Leonarda da Vinci [10]
- Obr. 2.2 - První úspěšný biomechanický automat – Kachna [11]
- Obr. 2.3 - Tkalcovský stav Josepha Jacquarda [12]
- Obr. 2.4 - Děrné štítky pro tkalcovský stav [13]
- Obr. 2.5 - Jednoúčelový manipulátor UNIMATE [14]
- Obr. 2.6 - Universální manipulátor VersaTran [15]
- Obr. 2.7 - Mobilní robot Shakey [16]
- Obr. 2.8 - Robot koncepce SCARA [17]
- Obr. 3.1 - Rozdělení manipulačních zařízení [1]
- Obr. 3.2 - Synchronní manipulátor [18]
- Obr. 3.3 - Systémové pojetí průmyslového robotu [1]
- Obr. 3.4 - Kartézská pohybová struktura portálového manipulátoru firmy Janome [19]
- Obr. 4.1 - Rozdělení výrobních strojů dle technologického procesu [9]
- Obr. 4.2 - Manipulátor Dalmecc PMS 150 při odlévání [20]
- Obr. 4.3 - Robot Fanuc R-2000iB/100P u ohraňovacího lisu [21]
- Obr. 4.4 - Robot ABB IRB 7600-325 při „Roboshapingu“ [22]
- Obr. 4.5 - Robot KUKA KR 210-2 při kování [23]
- Obr. 4.6 - Robot EPSON koncepce SCARA [24]
- Obr. 4.7 - Robot Stäubli RX170HSM [25]
- Obr. 4.8 - Svařovací robot Motoman [26]
- Obr. 5.1 - Modulární robot angulární [2]
- Obr. 5.2 - Modulární robot cylindrický [2]
- Obr. 5.3 - Příklad možných prvků modulární konstrukce a výběr možných sestavení systému HSP od firmy Festo [27]
- Obr. 5.4 - Příklad odpružených čelistí pasivní mechanické hlavice [6]
- Obr. 5.5 - Festo: aktivní mechanické úchopné hlavice [28]
- Obr. 5.6 - Hlavice pro obloukové svařování [3]
- Obr. 5.7 - Kombinovaná nůžková hlavice [2]
- Obr. 5.8 - Provedení interface dle ISO [2]
- Obr. 5.9 - Systém automatické výměny výstupních hlavic [3]
- Obr. 6.2 - Varianta A pracující v cylindrickém (válcovém) pracovním prostoru
- Obr. 6.3 - Varianta B pracující v torusovém (angulárním) pracovním prostoru
- Obr. 6.4 - Varianta C pracující v kartézském (pravoúhlém) pracovním prostoru
- Obr. 6.5 - Varianta D pracující ve sférickém (kulovém) pracovním prostoru

Obr. 7.1 - Ukázka návrhu pomocí MKP výpočtu (posunutí v mm)

Obr. 7.2 - Ukázka kontrolního MKP výpočtu (posunutí v mm)

Obr. 7.3 - Špičky napětí dle MKP výpočtu (napětí v MPa)

Obr. 7.4 - Sestava servomotoru s cykloidní převodovkou uložené v ložisku se zkříženými válečky

Obr. 7.5 - Ložisko se zkříženými válečky [29]

Obr. 8.1 - Vyznačení os manipulátoru

Obr. 8.2 - Model koncového efektoru

Obr. 8.3 – Celková analýza manipulátoru (posunutí v mm)

Obr. 8.4 – Celková analýza manipulátoru (napětí v MPa)

Obr. 8.5 – Univerzální programovatelný manipulátor

## **Seznam tabulek**

Tab. 1 – Základní technické údaje manipulátoru

Tab. 2 – Rozsah pohybů manipulátoru

Tab. 3 – Základní technické údaje výstupní hlavice

## **Seznam příloh**

Příloha č. 1 – Operační prostor manipulátoru

Příloha č. 2 – Výsledky MKP výpočtů

## 1. ÚVOD

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou průmyslových robotů a manipulátorů (PRaM). Rostoucí tlak na kvalitu výrobků a produktivitu výroby zvyšuje využití automatizovaných výrobních zařízení. Automatizace mění celkově strukturu výroby, mění její technologii a posouvá celý výrobní proces kupředu. Díky tomuto se stále více úkonů, procesů a operací provádí pomocí automatizovaných manipulačních zařízení. Kvůli efektivní automatizaci procesu nelze automatizaci vztáhnout pouze na samotný stroj, ale je nutné pohlížet na všechny jednotlivé operace procesu od dopravy materiálu, výměny nástrojů, kontrolu apod.

PRaM našly využití především v oblastech, kde si člověk nevystačí se svou silou, rychlostí, přesností a spolehlivostí. Dále se využívají také v provozech, které jsou lidskému zdraví škodlivé nebo nebezpečné. Nasazením PRaM do výrobního procesu roste jeho účinnost a tím roste i ekonomický výnos. Kvůli vysoké pořizovací ceně je nutné zvážit nutnost zařazení do výroby a jejich využití, ale díky sériové výrobě těchto zařízení vzrostla cenová dostupnost i pro menší firmy a jejich použití už dávno není orientováno výhradně na automobilový průmysl, který byl „kolébkou“ PRaM. Z počátku se jednalo ve většině případů o použití při obloukovém a bodovém svařování, ale postupem času se aplikace rozšířila do dalších oblastí jako lakování, slévárenství, tváření, obrábění, výroba plastů, paletizace a mnoho dalších.

Z počátku byly PRaM konstruovány pouze pro jednu jednoduchou operaci, nebo pro velmi podobné operace s tvarově a velikostně podobnými předměty. Zvýšením flexibility a stavebnicovosti robotů, vzrostla možnost použití jednoho robotu pro velkou řadu operací a předmětů, pouhou výměnou určité části robotu.

Další rozšíření bylo podpořeno změnou filosofie v nevýrobních oblastech podniků. Konstrukteři výrobních linek pochopili výhodu automatizace a začali roboty a manipulátory zařazovat do svých projektů. Management výroby cítil potřebu zvýšení produktivity stávajících procesů a to bylo možné využitím vhodných manipulačních zařízení. Odstranila se těžká práce a obsluha zařízení se zlepšilo uživatelské prostředí. Při řešení konkrétního problému je nutné optimalizovat určitá hlediska nasazení manipulačních zařízení. Neřeší se pouze technické nebo ekonomické hledisko, ale je nutné vybrat nejlepší řešení také z hlediska rychlosti, přesnosti, energetické náročnosti nebo prostorových možností.

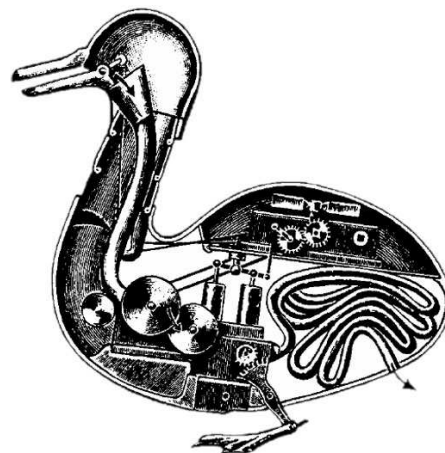
Účelem této práce je vytvořit konstrukční návrh univerzálního programovatelného manipulátoru pro použití v kusové výrobě pro manipulaci s různorodými objekty. Na toto zařízení jsou kladeny určité požadavky, které budou postupně nadefinovány a při návrhu konstrukce budou tyto požadavky splněny, aby byl tento manipulátor u vybraného výrobního stroje plně využitelný.

## 2. HISTORIE MANIPULAČNÍ TECHNIKY

Z historie víme, že dávno před tím, než se poprvé objevilo slovo robot, použité roku 1920 Karlem Čapkem v jeho hře R.U.R., se lidé snažili vytvořit různé mechanismy, které by ulehčovaly práci. Přibližně 300 let př. n. l. řecký filosof Aristoteles naznačil, jak by bylo dobré mít okolo sebe několik robotů, kteří by práci udělali za člověka. To ovšem byla jen první myšlenka, že by něco takového mohlo vzniknout, ale roku 1495 sestrojil Leonardo da Vinci krácející mechanismus, který vypadal jako obrněný rytíř. Mechanismus uvnitř rytíře byl zkonstruován, aby krácel jako by byl uvnitř skutečný člověk. Další vynálezce, který sestrojil roku 1738 hned 3 automatické mechanismy, byl Jacques de Vaucanson. Nejznámější byl jeho poslední výtvar, pojmenovaný kachna. Byl to pokus namodelování zvířecí anatomie, kachna se pohybovala, kvákala a mávala křídly.



Obr. 2.1- Rytíř sestrojený dle návrhu Leonarda da Vinci [10]

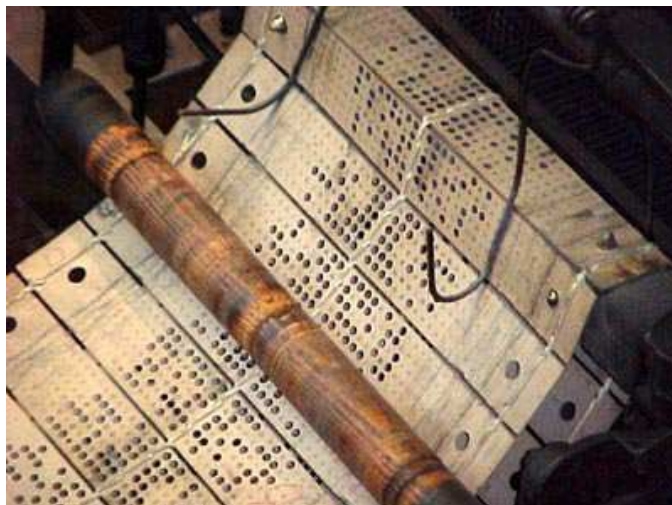


Obr. 2.2 - První úspěšný biomechanický automat – Kachna [11]

Nedlouho na to roku 1770 švýcarský hodinář Pier Jacquet-Droz se svým synem vytvořili pro evropské královské rodiny 3 panenky s různými dovednostmi. Jedna uměla psát, další kreslit, a poslední hrála hudbu. Roku 1801 využil pro řízení automatizovaného tkalcovského stavu Joseph Jacquard děrné štítky, které byly hojně využívány jako vstupní metoda i ve 20. století.

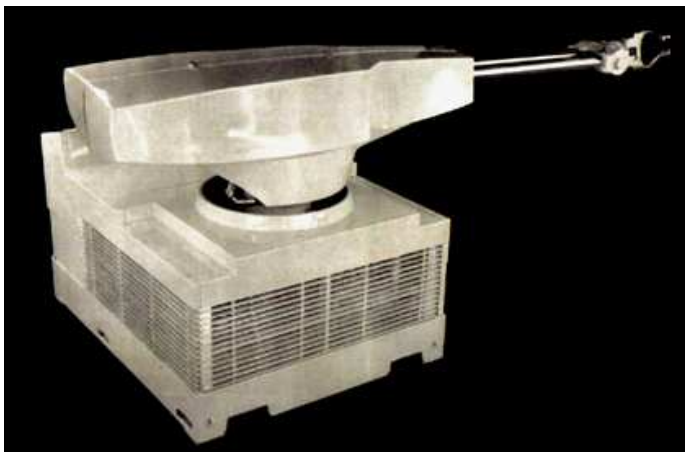


Obr. 2.3 - Tkalcovský stav Josepha Jacquarda [12]



Obr. 2.4 - Děrné štítky pro tkalcovský stav [13]

V letech 1940-7 se začaly objevovat teleoperátory určené pro manipulaci s radioaktivními a nebezpečnými materiály. Roku 1949 byl zahájen vývoj číslicově řízených obráběcích strojů a od této doby už jde vývoj velice rychle kupředu. V roce 1958 byl vyvinut první průmyslový jednoúčelový manipulátor UNIMATE do provozu byl uveden až v roce 1961 u firmy General Motors. V tomtéž roce se objevil první univerzální manipulátor Versa-Tran, který se vyznačoval vyšší úrovní řízení.



Obr. 2.5 - Jednoúčelový manipulátor UNIMATE [14]



Obr. 2.6 -Univerzální manipulátor VersaTran [15]

V roce 1968 byl postaven mobilní robot Shakey vybavený kamerou, dálkovými senzory a rádiovým spojením. V roce 1979 byl uveden robot koncepce SCARA. Touto dobou se průmysloví roboti stávají běžným prostředkem automatizace především v automobilovém průmyslu. Používání byli hlavně pro svařování a lakování tam kde by byla práce pro člověka nebezpečná nebo zdraví škodlivá. Po roce 1980 začali být roboti vybavováni čidly, kamerami a dalšími prvky umělé inteligence.



Obr. 2.7 - Mobilní robot Shakey [16]



Obr. 2.8 - Robot koncepce SCARA [17]

### 3. MANIPULAČNÍ ZAŘÍZENÍ

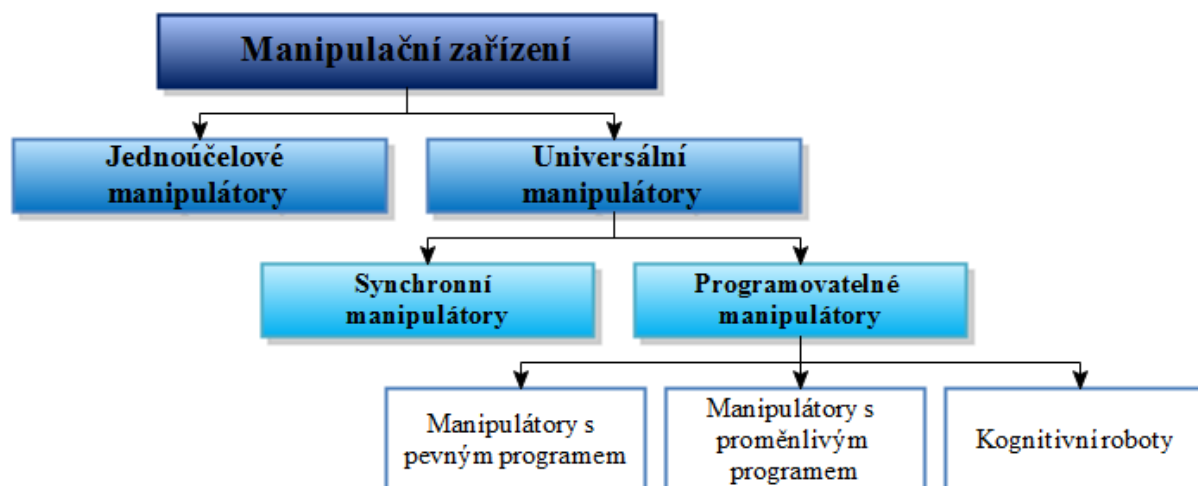
#### 3.1 Základní činnosti vykonávané manipulačním zařízením

PRaM se od informačních systémů, jako jsou např. počítače, liší vykonáváním fyzikálního vlivu na okolí. Vykonávané činnosti manipulačním zařízením jsou:

- manipulační - slouží především pro přemísťování objektů a jejich mechanickému ovládnutí
- výrobně-technologické – ve výrobním procesu vykonávají některé technologické operace dosud realizované výrobním zařízením nebo člověkem
- manipulační a technologické – manipulátor je vybaven jak ústrojím na uchopení manipulovaného předmětu, tak i nástrojem, který při uchopení předmětu provede nějaký technologický úkon
- servisní – robotický systém zaměřený k dosažení vysoké úrovně flexibility, adaptivity a bezpečnosti v prostředí, které je zabydlené lidmi. Jsou to mobilní zařízení, které z části nebo zcela automaticky vykonávají činnosti, které nejsou výrobními a mohou být prováděny v průmyslovém sektoru nebo jako služby pro člověka.

#### 3.2 Základní rozdělení manipulačních zařízení a jejich charakteristické znaky

Z hlediska funkce, možností aplikace, provedení, úrovně řízení atd. můžeme manipulační zařízení dělit dle následující tabulky (Obr. 3.1) primárně do dvou základních skupin na jednoúčelové a universální.



Obr. 3.1 - Rozdělení manipulačních zařízení [1]

##### 3.2.1 Jednoúčelové manipulátory

Používají se zejména ve velkosériové a hromadné výrobě. Vykonávají jednoduché manipulační operace u jednoúčelových strojů a linek. Často jsou integrovanou součástí těchto strojů, tzn., že jejich pohyby, funkce, řízení a někdy i pohon, jsou odvozeny od jednoúčelového stroje nebo linky. Konstruktivní řešení, úroveň řízení a pohybové možnosti jsou přímo uzpůsobeny obsluhovanému zařízení a dané technologii, pro kterou jsou určeny. Jejich omezenou funkci vystihuje přívlastek „jednoúčelové“. Jednoúčelové manipulátory bývají použí-



vány na jeden předmět nebo na skupinu předmětů velmi podobných a vykonávají s nimi jednoduché většinou manipulační operace jako například výměna nástrojů a obrobků.

### 3.2.2 Univerzální manipulátory

Nejsou závislé na stroji, který obsluhují a mají vlastní programové ústrojí. Oproti jednoúčelovým jsou konstrukčně složitější a jejich výhodou je možnost určité změny při výrobě nového výrobku.

Univerzální manipulátory se dále dělí:

- a) **Synchronní manipulátory** – někdy jsou též nazývány teleoperátory. Tyto manipulační zařízení řídí člověk, který tvoří s akčním systémem manipulátoru uzavřenou smyčku. Manipulátor slouží jako zařízení, které zvyšuje silové a pohybové možnosti úkonů vykonávaných řídicím pracovníkem. To bývá označováno jako „man on line“. Aby manipulátor na výstupní části přesně přenášel pohyby, polohu a orientaci ruky pracovníka používá se řídicí ústrojí přímo připevněné k rukám a prstům pracovníka. Výkonné ústrojí manipulátoru může být upevněno rovněž na paži pracovníka, popřípadě se může s tímto zařízením i pohybovat, nebo se využívá ústrojí samostatné, které je umístěno mimo pracovníka (tzv. manipulátory „master – slave“), čehož se využívá v prostředích zdraví škodlivých nebo nebezpečných. Dále může být manipulátor řízen člověkem jen částečně a konečné rozhodování a řízení je vykonáváno adaptivním řízením samotného manipulátoru, tj. manipulátor projevuje jistou samostatnost svého chování.



Obr. 3.2 – Synchronní manipulátor [18]

- b) **Programovatelné manipulátory** – jsou řízeny programovým ústrojím. K obsluhovanému stroji nemají žádné vazby, tzn., jsou nezávislé svým provedením, funkcí i pohybem. Tuto skupinu manipulátorů můžeme dále rozdělit:

**I. Manipulátory s pevným programem** – program se během činnosti manipulátoru nemění, avšak je možné ho jednoduše změnit mechanicko-elektrickým řídicím

ústrojím. Ústrojí umožňuje změnu jednotlivých funkcí přestavením narážek a nastavením příslušných logických funkcí. Díky své jednoduchosti a spolehlivosti je tento typ velice rozšířen a často jsou tyto manipulátory nazývány průmyslové roboty nižší úrovně nebo průmyslové roboty 1. generace

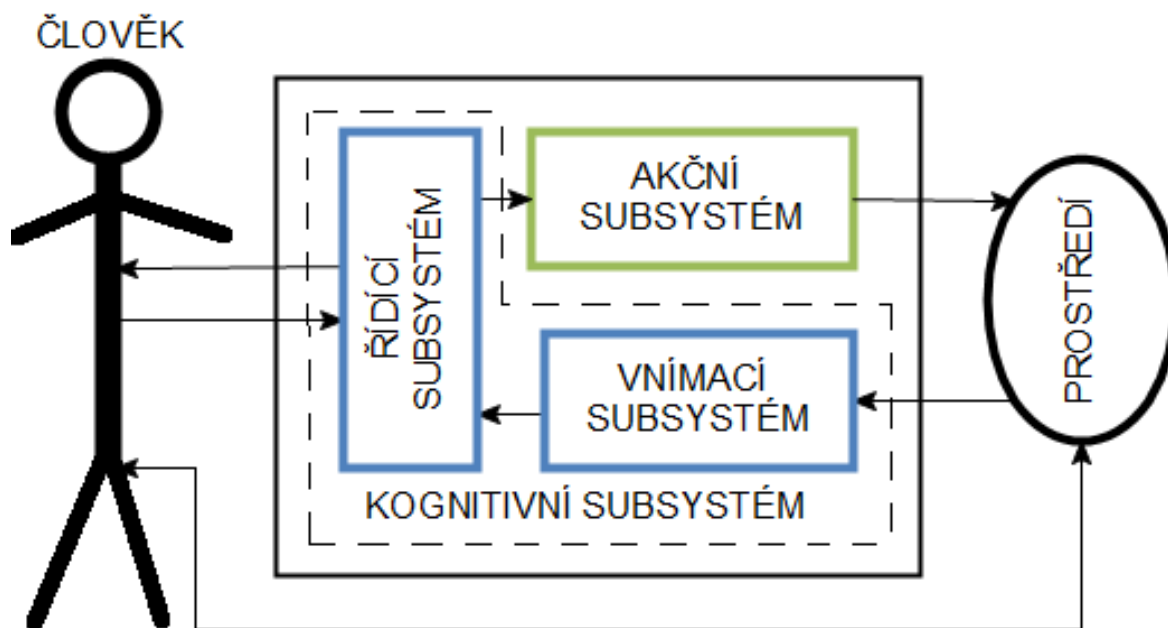
**II. Manipulátory s proměnlivým programem** – mají možnost volby programu nebo přepínání podle prostředí, ve kterém se nacházejí. Řízení je provedeno adaptivně elektronickými řídicími systémy a projevuje značnou samostatnost chování. Nazývají se průmyslové roboty vyšší úrovně nebo průmyslové roboty 2. generace

**III. Kognitivní roboty** – mechatronický systém s možností vnímání a racionálního rozhodování za účelem splnění stanoveného cíle. (kognitivní proces = proces vnímání a racionálního myšlení) - samozřejmě však bez volného jednání a citového vnímání. Nejsou určeny pouze k imitaci fyzické činnosti, ale také k automatizaci jeho intelektuální činnosti. Jejich charakteristickou vlastností je schopnost učení a přizpůsobení při řešení úloh. Jsou tvořeny řadou speciálních zařízení, sdružených v jeden celek, který vzájemně spolupracuje. Bývají označovány jako inteligentní roboty nebo průmyslové roboty 3. generace

### 3.3 Systémové pojetí průmyslového robotu

Nejprve než se pustíme do dalšího rozdělení, je potřeba se seznámit s prostředím, v jakém samotné zařízení pracuje. Do procesu vykonávaného manipulátorem vždy vstupuje trojice: robot – člověk – prostředí. I díky tomuto hledisku je tvořen celý systém manipulačního zařízení podle Obr. 3.3 ze tří subsystémů:

- Vnímací subsystém
- Řídící a rozhodovací subsystém
- Akční subsystém



Obr. 3.3 – Systémové pojetí průmyslového robotu [1]



- **Vnímací subsystém** pomocí senzorů je svázán s okolím
- **Řídící a rozhodovací subsystém** zpracovává informace uložené v paměti a informace přicházející z vnímacího subsystému a rozhoduje o úkonech, které se budou provádět
- Dva předchozí podsystémy tvoří **kognitivní systém**. Tento systém představuje nadřazené inteligentní řízení, který vykonává z informací hlubší analýzu situace a provádí řešení úloh a plán akcí, který robot provede k dosažení cíle své práce.
- **Akční podsystém** (Vzhledem k rovnováze s kognitivním systémem bude akční podsystém dále označován jako akční systém) slouží k ovlivňování prostředí. Podle druhu vykonávaných aktivit lze tento systém rozdělit na několik složek: polohovací ústrojí, orientační ústrojí, úchopná ústrojí, atd. Některé roboty mohou být vybaveny i podvoz- kem, takovéto roboty se nazývají mobilní.

Jednotlivé subsystémy jsou vzájemně propojeny a prolínají se a netvoří tedy vždy odděle- né skupiny. Proto při zkoumání je nutné na ně pohlížet komplexně a tím zajistit i jejich rovnoměrný vývoj.

### 3.4 Hlediska posuzování PRaM

PRaM je možné rozdělit dle mnoha vlastností, funkcí, schopností a druhů využití, ale již za jejich krátkou historii se ustálilo několik nejdůležitějších faktorů, podle kterých se dnes tyto zařízení primárně rozdělují.

Dle vlastností systémů se PRaM mohou dělit podle:

- Akční systém:**
- stavba robotu – počet stupňů volnosti
  - kinematická struktura
  - vlastní velikost a hmotnost
  - tvar a velikost obsluhovaného prostoru
  - únosnost
  - dosahovaná přesnost
  - druh pohonu
  - rychlost pohybů
  - způsob odměřování
  - kompaktnost konstrukce
- Kognitivní systém:**
- úroveň vnímání
  - úroveň řízení a komunikace
  - nezávislost robotu

#### 3.4.1 Popis jednotlivých hledisek posuzování PRaM

**Stavba robotu - počet stupňů volnosti:** významná avšak ne definující veličina pro určení o úrovni průmyslového robotu, udává pouze pohybové a manipulační možnosti

**Kinematická struktura:** udává, jak je tvořen kinematický řetězec manipulátoru

- Sériové roboty – otevřený kinematický řetězec (open-loop chain)

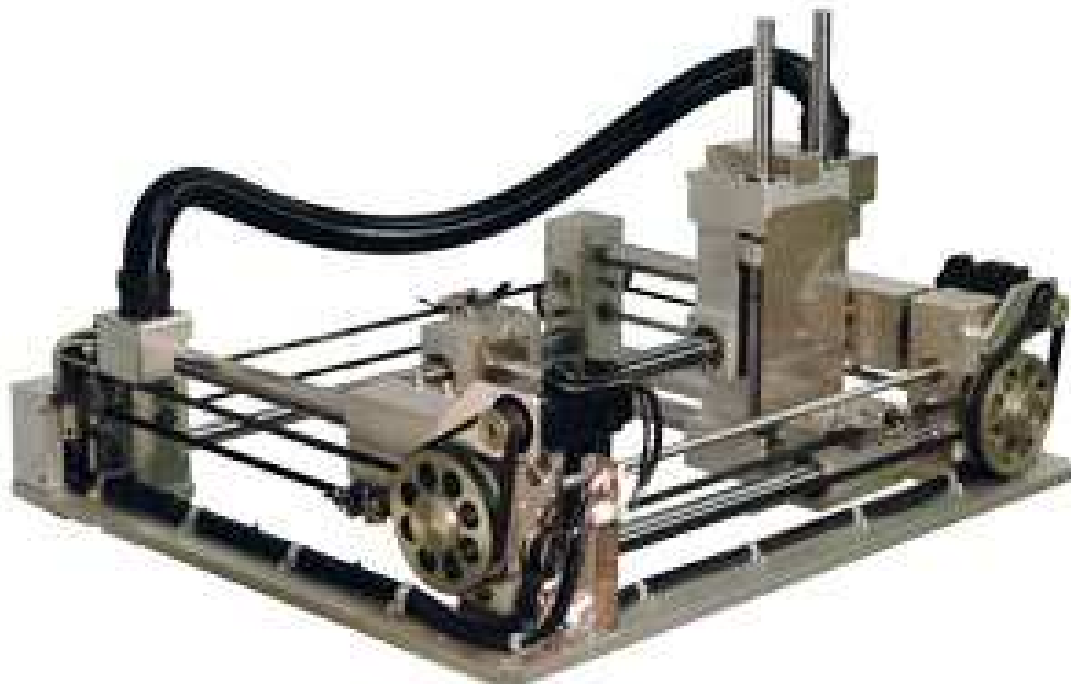
- Paralelní roboty – uzavřený kinematický řetězec (closed-loop chain)
- Hybridní roboty – kombinace obou typů řetězců

**Sériové kinematické struktury** dělíme dále:

- Kartézská pohybová struktura – 3 posuvné pohyby (Obr 3.4)
- Cylindrická pohyb. struktura – 1 rotační pohyb, 2 posuvné pohyby (Obr 2.6)
- Sférická pohybová struktura – 2 rotační pohyby, 1 posuvný pohyb (Obr 2.5)
- Angulární pohybová struktura – 3 rotační pohyby, (např. Obr. 4.3)
- v praxi se objevují i jiné pohybové struktury, jako příklad můžeme uvést pohybovou strukturu typu SCARA – 2 rotační, 1 posuvný, (Obr. 2.8)

Janome<sup>1</sup> JSG Gantry<sup>2</sup>

Operační prostor:	600x500x150 mm
Nosnost:	8 kg
Přesnost:	±0,015 mm
Rychlost:	x,y: 1200mm/s, z: 400mm/s



Obr. 3.4 – Kartézská pohybová struktura portálového manipulátoru firmy Janome [19]

**Vlastní velikost a hmotnost** – souvisí se stavbou a využitím robotu, snahou konstruktéra je, aby hmotnost pohybujících se částí byla co nejnižší, ale musí být zachována potřebná pevnost a tuhost

<sup>1</sup> Další informace o této firmě lze nalézt na adrese: <http://www.janomeie.com>

<sup>2</sup> Další informace o tomto zařízení lze nalézt na adrese:

[http://www.janomeie.com/main\\_catalog.asp?sitename=janome&pagename=products&category=8&item=929&section=74](http://www.janomeie.com/main_catalog.asp?sitename=janome&pagename=products&category=8&item=929&section=74)

**Tvar a velikost obsluhovaného prostoru** – velikost samozřejmě závisí na velikosti robotu, ale také na jeho kinematické struktuře stejně jako tvar obsluhovaného prostoru

**Hmotnost břemene** – jeden ze základních parametrů, který určuje použití robotu. Je určena posloupnost hodnot hmotností, která určuje typovou řadu průmyslového robotu

**Dosahovaná přesnost** – velmi důležitý údaj o průmyslovém robotu, je velmi závislá na jeho zatížení a proto se sleduje při jaké zátěži je výrobcem udávaná přesnost skutečně zabezpečena

**Způsob pohonu** – hledisko tak důležité, že mnohdy bývá rozhodující při volbě manipulačního zařízení vzhledem k potřebám operací, ke kterým bude použit. U PRaM se používají tyto pohony:

- mechanické
- pneumatické
- hydraulické
- elektrické
- kombinované

**Rychlost pohybů** – veličina závislá na druhu pohonu, ale také na okamžitém zatížení robotu. S rostoucím zatížením klesá maximální rychlost a též i přesnost

**Způsob odměřování** – vnitřní záležitost všech pohonů kromě mechanických, pro uživatele nejsou rozhodujícím prvkem

**Kompaktnost konstrukce** – udává způsob konstruování PRaM a dle tohoto hlediska se dělí do dvou skupin

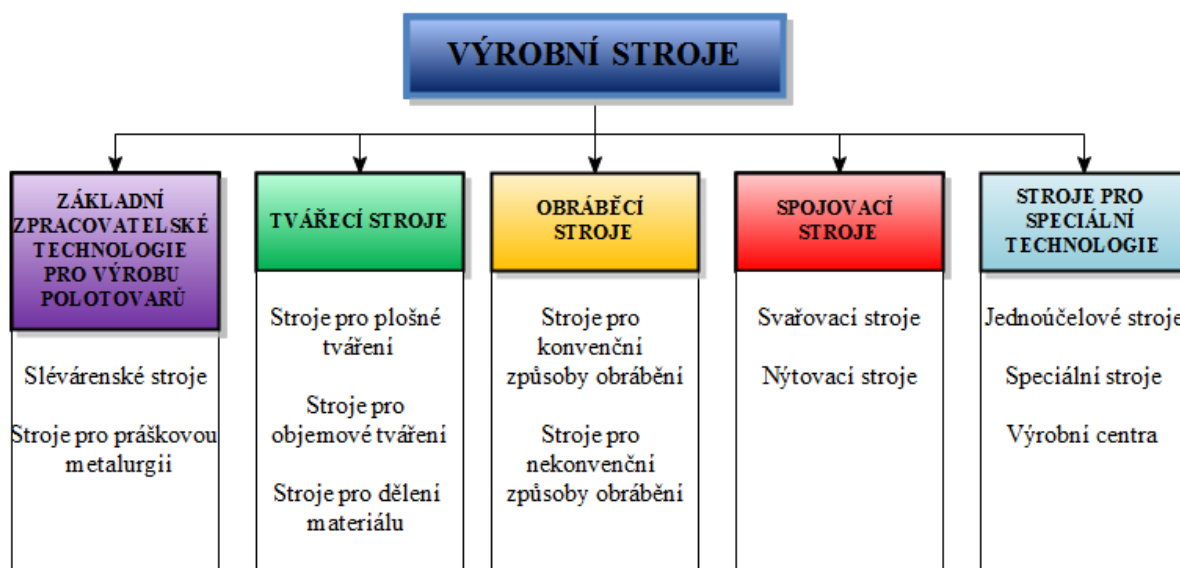
- integrované – jsou konstruovány kompaktně bez možnosti rozložení robotu na části se samostatnou činností
- modulární (modulové, stavebnicové) – jsou konstruovány na základě spojováním určitých, do jisté míry samostatných jednotek či modulů

## 4. POUŽITÍ MANIPULAČNÍCH ZAŘÍZENÍ U VÝROBNÍCH STROJŮ

### 4.1 Základní rozdělení výrobních strojů

Výrobní stroj je člověkem vytvořená dynamická soustava, sloužící k uskutečnění technologického procesu, vedoucího k trvalé přeměně výchozího materiálu.

#### 4.1.1 Rozdělení dle technologického procesu



Obr. 4.1 – Rozdělení výrobních strojů dle technologického procesu [9]

#### 4.1.2 Rozdělení dle zpracovávaného materiálu

- stroje na kov
- stroje na dřevo
- stroje na sklo a keramiku
- stroje na plasty

#### 4.1.3 Rozdělení dle pohonu a mechanismu užitého pro přenos energie

- elektrický stroj
- mechanický stroj
- hydraulický stroj
- pneumatický stroj

#### 4.1.4 Rozdělení dle působení výstupního členu (nástroje) na objekt

- bodové – soustružení, řezání kotoučem, obrážení, hoblování
- přímkové, křivkové – tvarové broušení, válcování, ohýbání
- povrchové – kování, tažení
- objemové – chemické obrábění, tváření výbuchem,

#### 4.1.5 Rozdělení dle šíře možného využití

- univerzální – stroje s velkou šíří operací ovládaných obsluhou
- speciální – stroje určené pro omezený typ výrobků (např. výroba ozubení)
- jed noučelové – určené pouze pro jeden specifický výrobek

## 4.2 Využití PRaM u výrobních strojů

### 4.2.1 Základní zpracovatelské technologie pro výrobu polotovarů

**Slévárenské stroje** – typická aplikace, kde robotika zdomácněla již před 20 lety. Roboty se používají téměř na všechny operace tohoto odvětví např. lití, manipulace s formami nebo odlitky, čištění forem jader, natírání, lepení, lisování či montáž forem a další. Na roboty jsou kladeny vysoké nároky, především na jejich přesnost a odolnost okolnímu prostředí. V takovýchto procesech se životnost robotu poměřuje vzhledem k výrobnímu stroji. Robot musí odolávat nánosům grafitu, agresivní mazací směsi, abrazivnímu prostředí a jiným. Příkladem může být pneumatický manipulátor firmy Dalme<sup>3</sup> (Obr. 4.2) používaný pro lití do pískových forem.

#### Dalme<sup>4</sup> PMS 150

Dosah: 3000 mm

Nosnost: 150 kg

Rychlost: 500 mm/s



Obr. 4.2 – Manipulátor Dalme<sup>3</sup> PMS 150 při odlévání [20]

<sup>3</sup> Další informace o této firmě lze nalézt na adrese: <http://www.dalme.com/cz/>

<sup>4</sup> Další informace o tomto zařízení lze nalézt na adrese: <http://www.dalme.com/Cat/ing/Partner%20PM.pdf>

**Stroje pro práškovou metalurgii** – Při výrobě práškovou metalurgií se využívá průmyslových robotů především k manipulaci s výrobky. Jelikož tato manipulace je velice podobná jako u tvářecích strojů jen s tím rozdílem, že manipulované předměty jsou řádově menší, bude tato problematika popsána u tvářecích strojů.

#### 4.2.2 Tvářecí stroje

**Stroje pro plošné tváření** – u plošného tváření se jedná především o manipulaci s rozměrnými plechy u ohraňovacího lisu. Použit lze šestiosý robot firmy Fanuc<sup>5</sup> R-2000iB, který může být doplněn i kolejnicovým pojezdem pro uvolnění prostoru před lisem. Robot je řízen v závislosti na pohybu beranu lisu, přičemž tato závislost představuje sedmou řízenou osu.

##### Fanuc R-2000iB/100P<sup>6</sup>

Dosah:	3500 mm
Nosnost:	100 kg
Přesnost:	±0,3 mm
Hmotnost:	1560 kg
Rychlost:	110 °/s



Obr. 4.3 – Robot Fanuc R-2000iB/100P u ohraňovacího lisu[21]

Průmyslové roboty se dále používají v oblasti plošného tváření v nové metodě tvarování tenkých plechů za pomoci vyklepávání tloukem robotu tzv. „Roboshaping<sup>7</sup>“. Upnutý plechový díl v rámu je vyklepáván tloukem (50 zdvihů za sekundu) a tím se zároveň zpevňuje. Při této operaci robot není v pozici pomocného zařízení ale přímo jako výrobní stroj. Pro tuto aplikaci tváření je možné použít šestiosý průmyslový manipulátor firmy ABB<sup>8</sup> IRB 7600 (Obr 4.4)

<sup>5</sup> Další informace o této firmě lze nalézt na adrese: <http://www.fanucrobotics.cz>

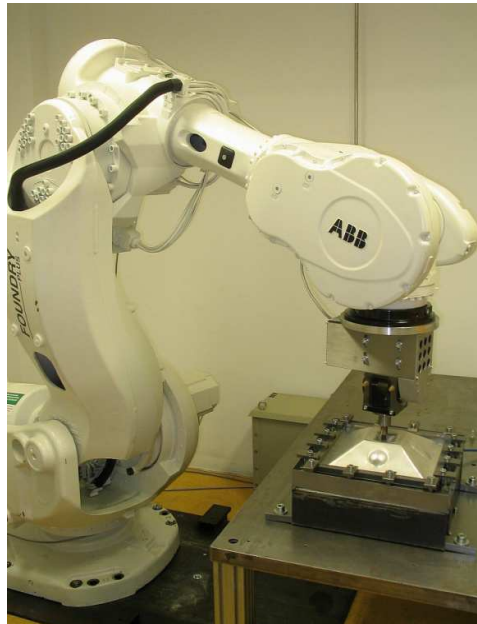
<sup>6</sup> Další informace o tomto zařízení lze nalézt na adrese: [http://www.fanucrobotics.cz/cs/products/a\\_industrial-robots/r-2000ib](http://www.fanucrobotics.cz/cs/products/a_industrial-robots/r-2000ib)

<sup>7</sup> Další informace o této metodě lze nalézt na adrese: <http://www.roboshaping.de/>

<sup>8</sup> Další informace o této firmě lze nalézt na adrese: <http://www.abb.cz/>

ABB IRB 7600-325<sup>9</sup>

Dosah:	3100 mm
Nosnost:	325 kg
Přesnost:	±0,08-0,09 mm
Hmotnost:	2425 kg
Rychlost:	1200 mm/s



Obr. 4.4 – Robot ABB IRB 7600-325 při „Roboshapingu“[22]

**Stroje pro objemové tváření** – objemové tváření je další odvětví, ve kterém jsou průmyslové roboty hojně využívány, protože operace se součástkami o vysoké teplotě je pro člověka náročná a nebezpečná. Také použitím robotů se výroba značně zpřesnila a zrychlila. Manipulaci s výkovky může vykonávat například šestiosý robot s kloubovým ramenem KR 210 firmy KUKA<sup>10</sup>. Navíc může být tento robot v provedení Foundry, které je určen pro použití v drsných podmínkách kováren a sléváren.

KUKA KR 210-2 (série 2000)<sup>11</sup>

Dosah:	2900 mm
Nosnost:	180 kg
Přesnost:	±0,06 mm
Hmotnost:	1277 kg
Rychlost:	105 °/s

<sup>9</sup> Další informace o tomto zařízení lze nalézt na adrese:

[http://www05.abb.com/global/scot/scot241.nsf/veritydisplay/11e456d4b4cfe62e482577fa00421f4b/\\$file/PR10074%20EN\\_R9%20HR.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot241.nsf/veritydisplay/11e456d4b4cfe62e482577fa00421f4b/$file/PR10074%20EN_R9%20HR.pdf)

<sup>10</sup> Další informace o této firmě lze nalézt na adrese: <http://www.kuka-robotics.com>

<sup>11</sup> Další informace o tomto zařízení lze nalézt na adrese:

[http://www.kuka-robotics.com/czech\\_republic/cs/products/industrial\\_robots/high/kr210\\_2\\_2000/start.htm](http://www.kuka-robotics.com/czech_republic/cs/products/industrial_robots/high/kr210_2_2000/start.htm)





Obr. 4.5 – Robot KUKA KR 210-2 při kování [23]

**Stroje pro dělení materiálu** – u těchto strojů je možné robotu využít například pro manipulaci a paletizaci výstřížků z plechu. K tomu je možné využít například průmyslový robot koncepce SCARA od firmy EPSON<sup>12</sup>.

EPSON G20-1000x<sup>13</sup>

Dosah:	1000 mm
Nosnost:	20 kg
Přesnost:	±0,025 mm
Hmotnost:	155 kg
Rychlost:	1100 mm/s



Obr. 4.6 – Robot EPSON koncepce SCARA [24]

<sup>12</sup> Další informace o této firmě lze nalézt na adrese: <http://www.robots.epson.com/>

<sup>13</sup> Další informace o tomto zařízení lze nalézt na adrese:

[http://www.robots.epson.com/downloads/brochurefiles/EPSON\\_G-Series\\_SCARA\\_Robots.pdf](http://www.robots.epson.com/downloads/brochurefiles/EPSON_G-Series_SCARA_Robots.pdf)



### 4.2.3 Obráběcí stroje

**Stroje pro konvenční způsoby obrábění** – V tomto odvětví našli PRaM největší uplatnění. Udává se, že robotů využitých pro manipulaci na obráběcích strojích a pro paletizaci je 52%.

U strojů pro konvenční způsoby obrábění je možné roboty využít na manipulaci a paletizaci součástí, ale čím dál více se začínají objevovat technologické hlavice robotů, které jsou určeny pro samotné obrábění. Roboti mohou provádět většinu obráběcích operací, jako klasické rotační frézování a vrtání, ale také ořezávání libovolných tvarů statickým nástrojem. Nejpoužívanější jsou šestiosé roboty, ale můžeme se setkat i se speciálními roboty, kteří mají 3 nebo 4 osy. Výhodou je především velká volnost pohybu, přemístitelnost robota a možnost použití i v nepříznivých podmínkách. Použití je ovšem limitováno přesností, tuhostí a odlišností programování od klasických obráběcích strojů. Příkladem může být průmyslový robot RX170HSM<sup>14</sup> firmy STÄUBLI<sup>15</sup>, který byl vyvinut speciálně pro obrábění a místo šesté osy má integrované vřeteno.

#### STÄUBLI RX170HSM

Dosah:	1835 mm
Nosnost:	60 kg
Přesnost:	±0,04 mm
Otáčky:	24 000 1/min



Obr. 4.7 – Robot Stäubli RX170HSM [25 ]

<sup>14</sup> Další informace o tomto zařízení lze nalézt na adrese: <http://www.staubli.com/en/robotics/robot-solution-application/high-speed-machining-robot/rx170-hsm/>

<sup>15</sup> Další informace o této firmě lze nalézt na adrese: <http://www.staubli.com>

**Stroje pro nekonvenční způsoby obrábění** – stejně jako u předešlého případu lze u těchto strojů využít roboty jak pro obsluhu obráběcích strojů, aby bylo dosaženo chodu stroje bez obsluhy. Nebo je možné pomocí speciální technologické hlavice robotu používat samotný robot jako stroj pro nekonvenční způsoby obrábění.

#### 4.2.4 Spojovací stroje

**Svařovací stroje** – jedna z prvních oblastí, kde byly průmyslové roboty použity. Důvodem použití byla potřeba zefektivnit obloukové a bodové svařování v automobilovém průmyslu a zvýšit kvalitu vyráběných dílů v obrovských sériích. Příkladem svařovacího robotu může být sedmiosý svařovací robot Motoman<sup>16</sup> s integrovanou kabeláží svařovacího hořáku.

##### MOTOMAN VA-1400<sup>17</sup>

Dosah:	1434 mm
Nosnost:	3 kg
Přesnost:	±0,08 mm
Hmotnost:	150 kg
Rychlost:	220 °/s



Obr. 4.8 – Svařovací robot Motoman [26]

<sup>16</sup> Další informace o této firmě lze nalézt na adrese: <http://www.motoman.com/>

<sup>17</sup> Další informace o tomto zařízení lze nalézt na adrese: <http://motoman.com/datasheets/VA1400.pdf>

## 5. MODULÁRNOST MANIPULAČNÍCH ZAŘÍZENÍ

Jak již bylo uvedeno dříve, manipulační zařízení můžeme dělit dle jejich kompaktnosti konstrukce a v této kapitole se zaměříme na manipulační zařízení s modulární stavbou.

### 5.1 Modulárnost polohovacího ústrojí manipulačních zařízení

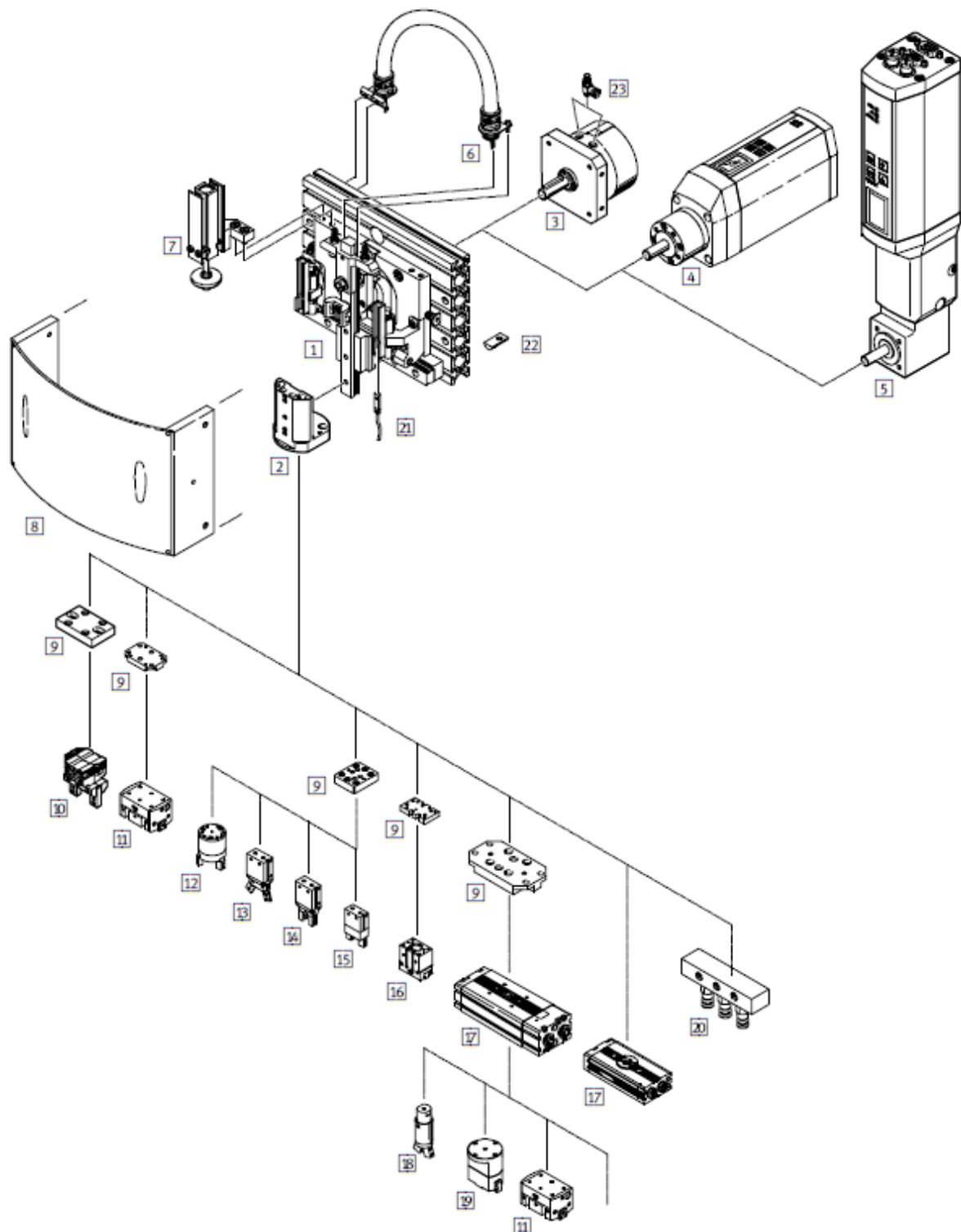
Ve výrobním procesu je možné, že se výroba často mění a jelikož manipulační zařízení jsou nákladná tak není možné mít pro každý typ výroby jiné manipulační zařízení, proto je nutné, aby tato zařízení byla do určité míry univerzální. Jisté univerzálnosti zařízení lze dosáhnout změnou programu, jež má být jednoduše a snadno proveditelná. Pokud však změna programu nestačí a je potřeba změnit celkově charakter výroby je nutné, aby samotné manipulační zařízení bylo možné přizpůsobit snadnou přestavbou struktury, kterou se dosáhne požadovaných pohybů a obsluhovaných prostorů. Touto možností přestavby jsou charakterizovány modulární manipulační zařízení.

Modulárnost je dána tím, že z vyráběných sad typorozměrových polohovacích modulů lze poskládat požadovaný kinematický řetězec, přesně vyhovující požadované aplikaci. Každý polohovací modul je samostatně plně funkční, je konstruován jako uzavřený strojný agregát, který je výrazně jednodušší než integrované manipulační zařízení, což velice zjednodušuje montáž a seřízení. Je ovšem nutné, aby konstrukční moduly byly navrženy v určitých velikostních řadách, aby byla zachována logická struktura od základního (nejtěžšího a nejvýkonnějšího) modulu po moduly koncové (nejlehčí a slabší). Stavba modulárního manipulačního zařízení vyjde často mohutnější a méně vzhlednější než stavba manipulačního zařízení integrovaného. Naopak pořizovací náklady s využitím modulárních zařízení klesnou, což je dáno menším počtem pohybových jednotek, které jsou však dostatečné pro vytvoření požadované kinematické struktury. Nižší náklady modulární koncepce také vychází z toho, že samostatné moduly jsou vyráběny ve větších sériích a to navíc při vyšší kvalitě. Z Obr. 5.3 jsou vidět stavební možnosti vybraného systému firmy Festo.



Obr. 5.1 – Modulární robot angulární [2]

Obr. 5.2 – Modulární robot cylindrický[2]



Obr. 5.3 – Příklad možných prvků modulární konstrukce a výběr možných sestavení systému HSP<sup>18</sup> od firmy Festo<sup>19</sup> [27]

<sup>18</sup> Další informace o tomto systému lze nalézt na adrese:

[http://www.festo.com/cat/cs\\_cz/data/doc\\_cs/PDF/CZ/HSP\\_CZ.PDF](http://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/HSP_CZ.PDF)

<sup>19</sup> Další informace o této firmě lze nalézt na adrese: <http://www.festo.com/>

## 5.2 Orientační ústrojí – výstupní hlavice (efektory)

Výstupní hlavice je koncová část, která podle vykonávané činnosti nejvíce určuje využití celkového systému manipulačního zařízení. Konstrukce a vlastnosti výstupní hlavice musí odpovídat charakteru aplikace manipulátoru ve výrobě.

V procesu výroby je také možné, že se výroba změní tím způsobem, že pohyby, obsluhovaný prostor i další parametry manipulačního zařízení vyhovují i pro změněný typ výroby. Ale změni se například rozměry či tvar manipulovaných součástí, nebo se změni celková technologie, kterou robot prováděl v dané operaci. V tomto případě by bylo velice nákladné pořizovat nové manipulační zařízení, a proto se výstupní hlavice většinou nekonstruují jako kompaktní se základním kinematickým řetězcem, ale vyrábějí se jako výměnné. Tímto dosáhneme jisté modulárnosti i u integrovaných (kompaktních) manipulačních zařízení, avšak předem musíme předpokládat, že tento problém nastane, a proto musí být i kompaktní manipulátory konstruovány s některými normalizovanými rozměry, aby bylo možné měnit výstupní hlavice. To umožňuje použít jedno manipulační zařízení na širokou škálu součástí co do velikosti či tvaru, nebo jeden průmyslový robot může provádět různé technologické operace pouze výměnou výstupní hlavice (efektoru).

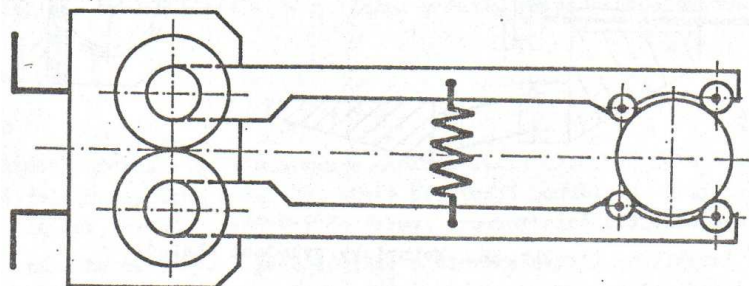
### 5.2.1 Účel výstupní hlavice

Na všech typech manipulačních zařízení se třemi stupni volnosti je zřejmé, že polohovací ústrojí jakéhokoliv typu souřadnicového systému dopraví manipulovaný předmět do libovolného místa obsluhovaného prostoru. Dále pro správnou orientaci manipulovaného předmětu se využívá výstupní hlavice. Výstupní hlavice nemají zásadní vliv na stavbu daného robotu, kterou určuje především polohovací ústrojí. Konstruování orientačního ústrojí není nijak omezeno počtem stupňů volnosti. Součet stupňů volnosti orientačního a polohovacího ústrojí dává celkový počet stupňů volnosti manipulačního zařízení. Můžeme tedy říci, že účelem výstupní hlavice robotu je realizace úkolů, pro které je manipulační zařízení určeno, to může být manipulace různými objekty se zadanými parametry polohy, orientace, vzdálenosti, rychlosti aj., nebo vykonání určité technologické operace při požadovaných parametrech.

### 5.2.2 Rozdělení výstupních hlavic

Základní dělení vychází z operací, které efektor vykonává. Dle toho hlavice dělíme na:

- a) **Úchopné** – umožňují zachycení manipulovaných součástí při manipulaci. Tyto hlavice lze dále rozdělit podle regulace uchopovací síly na hlavice aktivní a pasivní.
  - Pasivní hlavice: nemohou ovládat uchopovací sílu a navíc neumožňují uvolnění uchopeného předmětu. Většinou konstrukčně jednodušší. Používají se pro manipulaci s lehčími a tvarově jednoduchými objekty.



Obr. 5.4 – Příklad odpružených čelistí pasivní mechanické hlavice [6]

Pasivní hlavice mohou být vybaveny poháněnými vyhazovači. V takovém případě je uchopení součásti vykonáno pasivně, ale uvolnění je již aktivní.

- Aktivní hlavice: mohou ovládat uchopovací sílu tj., umožňují uchopení i uvolnění manipulované součásti prostřednictvím pohonu. Jako příklad můžeme uvést různé typy mechanických úchopných hlavíc firmy Festo.



Obr. 5.5 – Festo: aktivní mechanické úchopné hlavice [28]

Dalším kritériem pro dělení hlavíc je způsob vyvolání síly. Podle tohoto způsobu je můžeme dělit na:

- Mechanické
- Magnetické
- Podtlakové

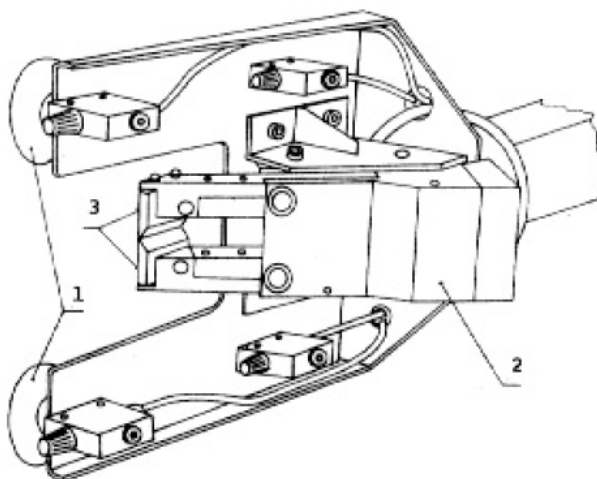
**b) Technologické** – hlavní částí je nástroj nebo přípravek, který vykonává určitou technologickou operaci (svařování, lakování, obrábění, montáž atd.)



Obr. 5.6 – Hlavice pro obloukové svařování [3]

**c) Kombinované** – kombinace úchopné a technologické hlavice. Příklad může být nůžková hlavice, která umožňuje manipulaci s výlisky a paralelně vykonává operaci odštížení vtoku. Úchopná část má čtyři podtlakové komory „1“, technologická část je tvořena pneumaticky ovládanými nůžkami „2“, zakončené břity „3“.





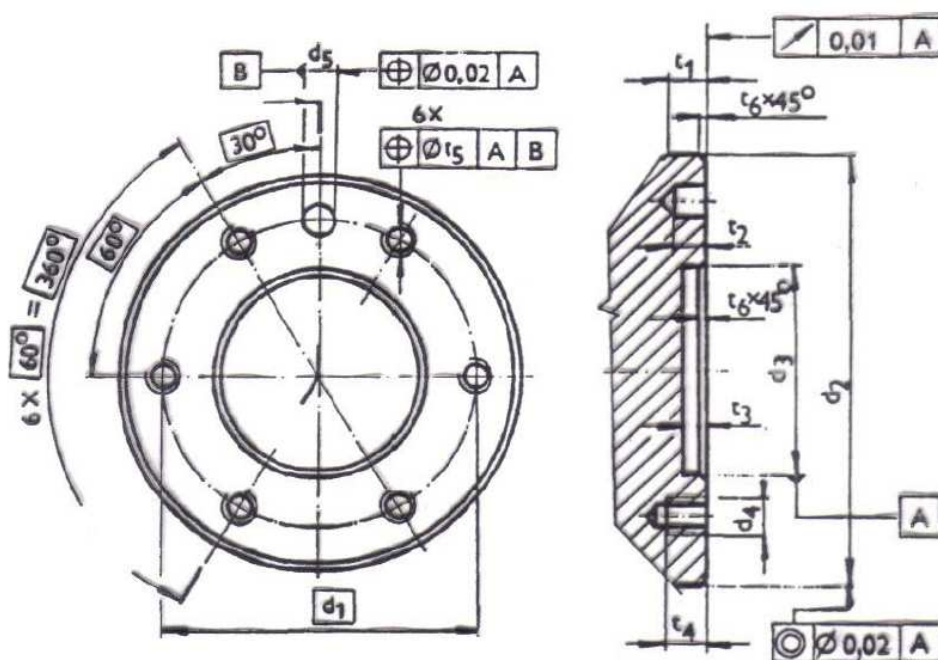
Obr. 5.7 – Kombinovaná nůžková hlavice[2]

- d) **Speciální** – plní svou funkci v rozsahu, který se nadá zahrnout pod předešlé typy koncových efektorů. Jsou to především efekторы servisních robotů používaných pro speciální aplikace vybavené příslušnými senzory.

### 5.2.3 Interface

Tato normalizovaná část zajišťuje propojení výstupní hlavice s koncovou částí manipulačního zařízení, kterou je myšlen poslední člen kinematického řetězce orientačního ústrojí. Části interface na robotu i na výstupní hlavici si musí tvary, rozměry i parametry odpovídat a jsou proto logicky předepsány normou ISO, kterou dnes dodržují všichni výrobci.

Interface musí zajistit nejen přesné silové spojení obou částí, ale také propojení energetických a informačních toků, potrubí a vše co koncový efektor pro svou činnost potřebuje. Konstrukční řešení efektoru je tedy v části interface závazně předepsáno.

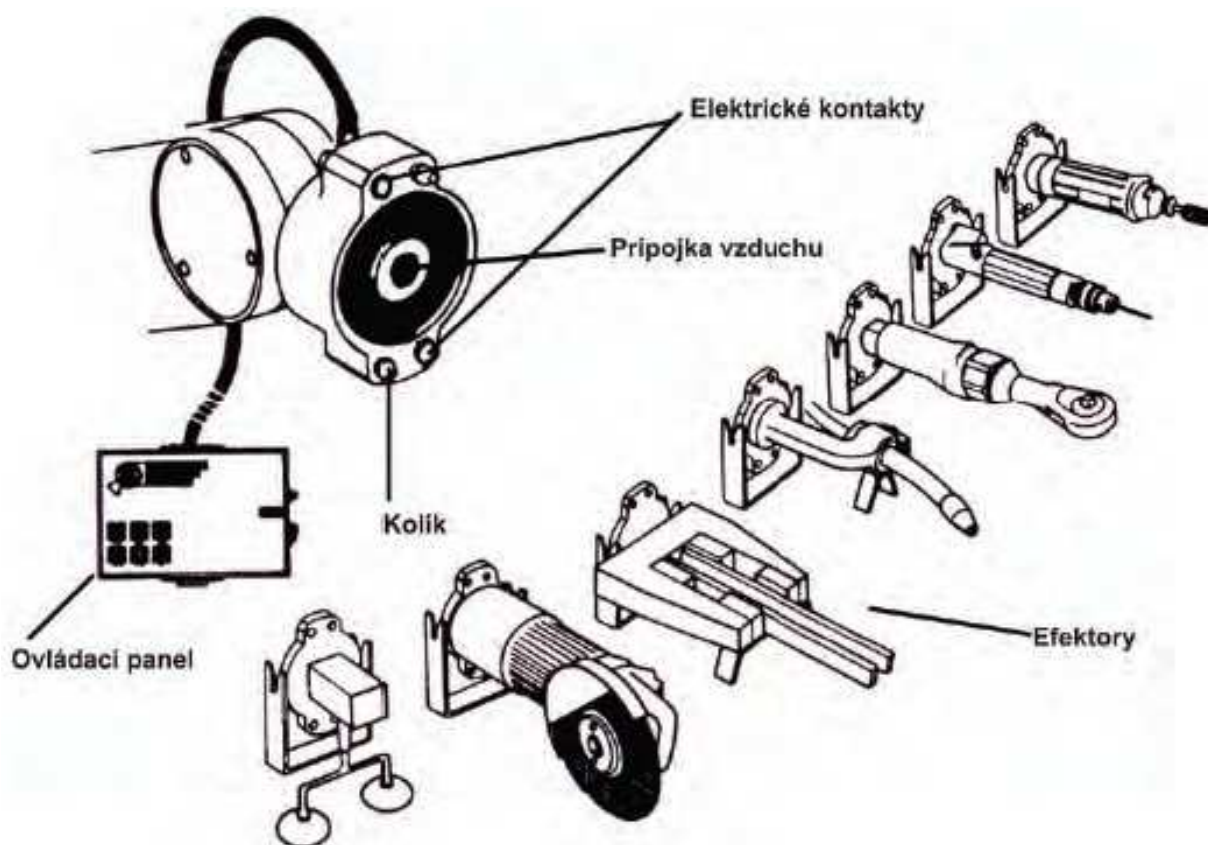


Obr. 5.8 – Provedení interface dle ISO [2]

### 5.2.4 Automatická výměna výstupních hlavice

V praxi je také nutno zvážit zda proces vykonávaný manipulačním zařízením bude vyžadovat výměnu výstupní hlavice výjimečně, často nebo pravidelně. Při pravidelné výměně se výměna zajišťuje automaticky pomocí výměnného systému, který zvyšuje flexibilitu průmyslových robotů. Tento systém je o to více důležitý a potřebný pro manipulační zařízení, které vykonává více technologických a manipulačních zařízení, protože je možné změnit technologickou operaci či změnit tvar manipulovaného objektu bez nutnosti zastavení automatického pracovního cyklu obsluhovaného stroje.

Tento systém funguje tak, že robot si dle programu v zásobníku sám vyhledá a sám upne požadovaný efektor, potřebný k vykonání naprogramované operace. Po vykonání dané operace opět najede do zásobníku a provede samostatně výměnu. Ovšem jak již bylo řečeno, jednotlivé efektor musí být opatřeny koncovým interface, které odpovídá koncovému interface umístěnému na konci kinematického řetězce manipulačního zařízení.



Obr. 5.9 – Systém automatické výměny výstupních hlavic [3]

### 5.3 Zhodnocení manipulačních zařízení

Jak bylo v předchozím textu uvedeno, manipulačních zařízení existuje mnoho druhů, které můžeme podle určitých hledisek rozdělovat. Proto je na dnešním trhu nepřehledné množství rozličných druhů manipulačních zařízení, ze kterých si může zákazník vybrat přesně podle svých požadavků. Při výběru nejvhodnějšího manipulátoru se musí zohlednit mnoho hledisek, jako druh vykonávaného procesu, rozměry manipulovaného předmětu a jeho hmot-



nost, prostředí, ve kterém bude manipulační zařízení pracovat a mnoho dalších aspektů, které jsou důležité pro co nejefektivnější automatizaci procesu.

Jelikož v zadání bylo zadáno jako základní požadavky na manipulátor pouze podmínky, že se bude jednat o manipulaci s různorodými předměty v kusové výrobě. Byl vybrán jako příklad kusové výroby obráběcí stroj a to číslicově řízený soustruh SP 180<sup>20</sup> firmy Kovosvit MAS<sup>21</sup>. Obrábění je nejrozšířenější strojírenská technologie, a proto právě u obráběcích strojů je velká snaha zařazovat manipulační zařízení tím se jejich použitím u těchto strojů stalo nejrozšířenější aplikací. Ovšem zapojení manipulačního zařízení není snadné, proces obrábění je velmi různorodý, potřebuje velké množství manipulačních úkonů, vysokou přesnost polohování při upínání a mnoho dalších faktorů ztěžujících automatizaci obráběcího procesu pomocí manipulačního zařízení.

### 5.3.1 Základní požadavky na manipulační zařízení

Nyní si uvedeme základní požadavky na manipulační zařízení, aby co nejvíce vyhovovalo aplikaci u vybraného obráběcího stroje:

- Obsluhovaný prostor
- Nosnost (předpokládáme objekty do 15 kg)
- Nízká hmotnost pohyblivých částí
- Přesnost – měla by odpovídat obráběcímu stroji, což je těžké dodržet, jelikož se jedná o sériovou kinematickou strukturu a ta vždy bude mít nižší přesnost než obráběcí stroj
- Statická a dynamická tuhost
- Minimální rozměry
- Rychlost pohybů
- Plynulost rozběhu a brzdění
- Nízké ztráty
- Odolnost proti opotřebení
- Nenáročnost z hlediska mazání a údržby
- Nízké ekonomické parametry (náklady, spolehlivost, udržovatelnost, životnost)
- Možnost obsluhy více strojů

---

<sup>20</sup> Další informace o tomto stroji lze nalézt na adrese: <http://www.kovosvit.cz/cz/sp-180/>

<sup>21</sup> Další informace o této firmě lze nalézt na adrese: <http://www.kovosvit.cz/>

## 6. VARIANTNÍ NÁVRHY MANIPULAČNÍHO ZAŘÍZENÍ

Při výběru variant je důležité zvolit nejvhodnější zařízení ze širokého spektra možností. Výběr variant omezíme pouze na sériové kinematické struktury, protože paralelní kinematická struktura se používá pouze ve speciálních aplikacích a zařízení jsou složitá na řízení a pro toto použití by byla příliš nákladná. Další vlastnost konstrukce bude zvoleno, že zařízení bude plně modulární, a bude možné měnit všechny jeho část (bude upřesněno dle vybrané varianty). To zvýší flexibilitu zařízení, která by jinak závisela pouze na možnosti výměny koncového efektoru, který bude možné měnit podle velikosti a tvaru manipulovaných objektů.

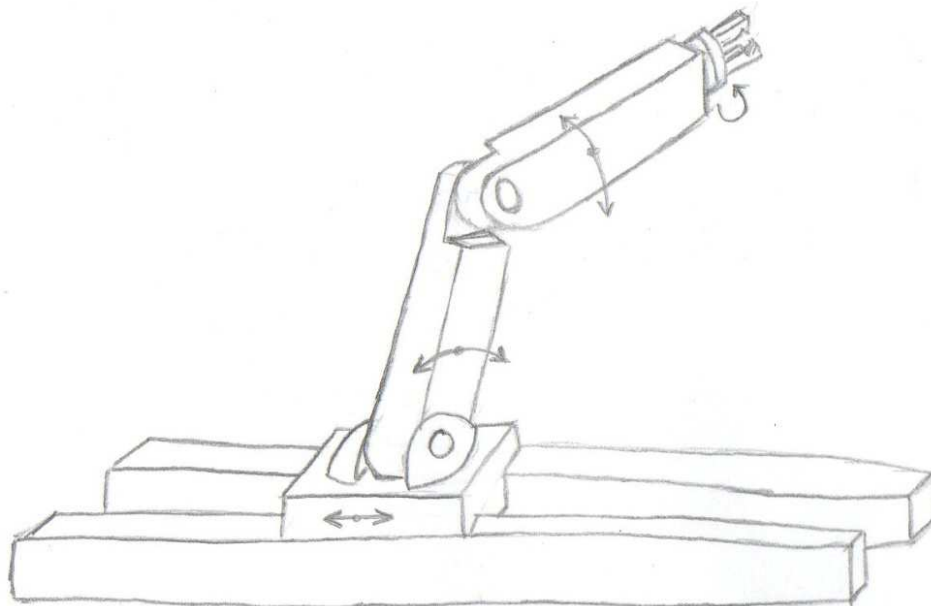
Další výběr jako např. pohony, převody, uložení, volba efektoru a další bude konkrétně řešen dle zvolené varianty. V rozhodovací analýze budou těmto zařízením přiřazeny předpokládané hodnoty, které budou odhadované nebo zjištěné z podobných zařízení.

### 6.1 Variantní návrhy

Naskicované varianty jsou vytvořeny pouze jako příklad kinematického řetězce, a proto je možné, že výsledné řešení nebude designově odpovídat skice vybrané varianty.

#### 6.1.1 Varianta A

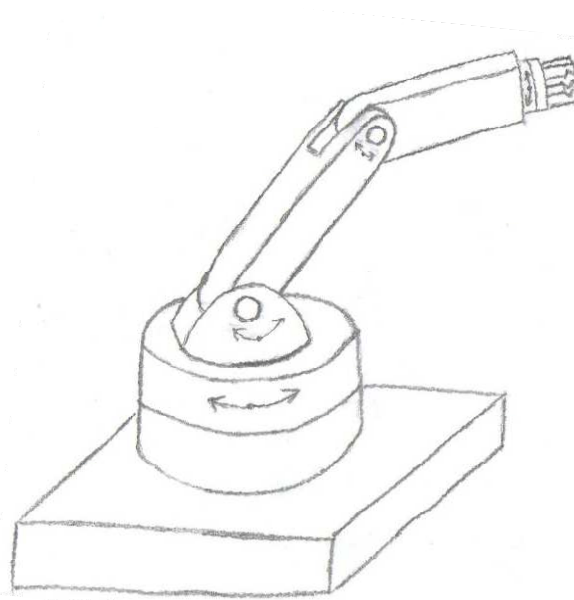
Toto manipulační zařízení pracuje v cylindrických souřadnicích, ovšem osa obsluhovaného válcového prostoru je vodorovná. To je dáno pořadím jeho kinematických vazeb s jednou posuvnou a dvěma rotačními vazbami (TRR) jak je vidět na Obr. 6.2. (T=posuv, R=rotace). Z obrázku je také vidět že na konci polohovacího řetězce je přidána ještě jedna rotační vazba, která je zde z důvodu otáčení obrobků, aniž by bylo nutné manipulovaný obrobek pouštět z efektoru.



Obr. 6.2 – Varianta A pracující v cylindrickém (válcovém) pracovním prostoru

### 6.1.2 Varianta B

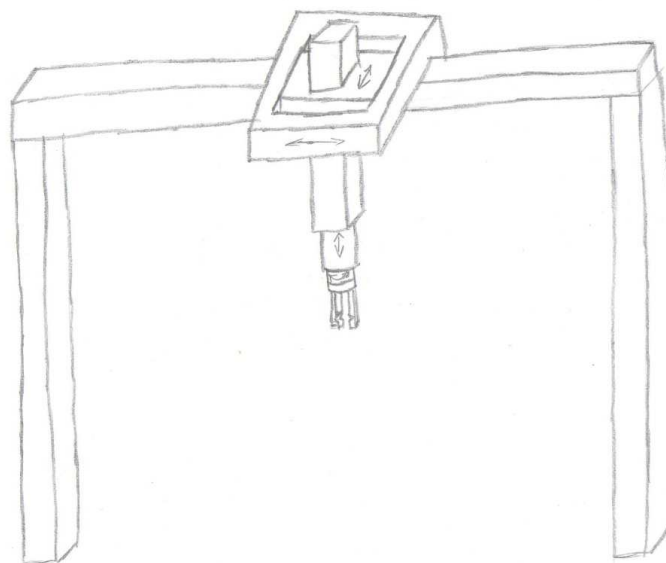
Kinematická struktura tohoto manipulátoru se skládá ze tří rotačních kinematických dvojic (RRR) a od toho se odvíjí angulární pracovní prostor, který může toto zařízení obsluhovat. Na konci kinematického řetězce je přidána ještě jedna rotační vazba, která slouží jako u varianty A k otáčení obrobku.



Obr. 6.3 – Varianta B pracující v torusovém (angulárním) pracovním prostoru

### 6.1.3 Varianta C

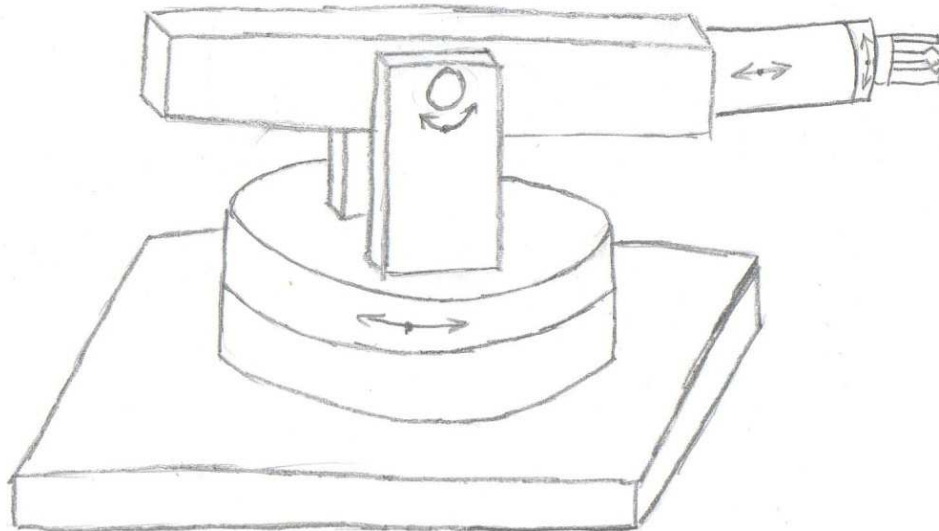
V této třetí variantě je použit kartézský pracovní prostor, který je dán třemi posuvnými kinematickými dvojicemi (TTT). Opět je na konci polohovacího ústrojí přidána rotační kinematická vazba pro otáčení obrobků.



Obr. 6.4 – Varianta C pracující v kartézském (pravoúhlém) pracovním prostoru

### 6.1.4 Varianta D

Poslední varianta má stejné kinematické dvojice jako první varianta, tedy 2 rotační a jednu posuvnou. Rozdíl mezi nimi je však v pořadí těchto vazeb a to (RRT), tudíž tato varianta má obsluhovaný pracovní prostor kulový. U této varianty je jako u všech předešlých přidána jedna rotační vazba, která slouží k otáčení obrobků.



Obr. 6.5 – Varianta D pracující ve sférickém (kulovém) pracovním prostoru

## 6.2 Zhodnocení jednotlivých variant

Zhodnocení jednotlivých variant bude provedeno pomocí metody párového srovnání. Nejprve budou jednotlivá kritéria srovnána každé s každým a z toho se určí jejich váha a tím i důležitost při rozhodování. Dále seřadíme jednotlivé varianty od nejlepší (4) po nejhorší (1). V dalším kroku bude pořadí vynásobeno vahou kritéria a součtem těchto hodnot dostaneme nejlepší variantu.

### 6.2.1 Výpis nejdůležitějších kritérií

K1 – Velikost obsluhovaného prostoru

K2 – Nosnost

K3 – Hmotnost pohyblivých částí

K4 – Přesnost

K5 – Rozměry

K6 – Rychlost

K7 – Obsluha více strojů

K8 – Pořizovací cena

**6.2.2 Párové srovnání**

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	$\Sigma$	Váha
K1	<b>X</b>	0	1	0	0	0	0	0	1	<b>1</b>
K2	1	<b>X</b>	1	0	1	1	1	1	6	<b>6</b>
K3	0	0	<b>X</b>	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
K4	1	1	1	<b>X</b>	1	1	1	1	7	<b>7</b>
K5	1	0	1	0	<b>X</b>	0	0	0	2	<b>2</b>
K6	1	0	1	0	1	<b>X</b>	0	1	4	<b>4</b>
K7	1	0	1	0	1	1	<b>X</b>	1	5	<b>5</b>
K8	1	0	1	0	1	0	0	<b>X</b>	3	<b>3</b>

**6.2.3 Metoda pořadí**

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
Varianta A	4	4	3	2	2	2	4	2
Varianta B	2	3	4	1	4	4	3	3
Varianta C	3	1	1	4	1	1	1	4
Varianta D	1	2	2	3	3	3	2	1

**6.2.4 Součet vážených hodnot**

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	$\Sigma$	Pořadí
Varianta A	4	24	0	21	4	8	10	6	<b>77</b>	<b>2</b>
Varianta B	3	18	0	28	2	16	20	9	<b>96</b>	<b>1</b>
Varianta C	2	6	0	7	8	4	5	12	<b>44</b>	<b>4</b>
Varianta D	1	12	0	14	3	12	15	3	<b>57</b>	<b>3</b>
Váha kritéria	1	6	0	7	2	4	5	3		

**6.2.5 Výsledek výběru varianty**

Pomocí metody párového srovnání vyšlo jako nejvhodnější řešení **varianta B**, tedy manipulační zařízení s angulárním pracovním prostorem. Tato varianta bude dále řešena detailně a bude pro ni navrhnut vhodný efektor.

## 7. KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ MANIPULÁTORU

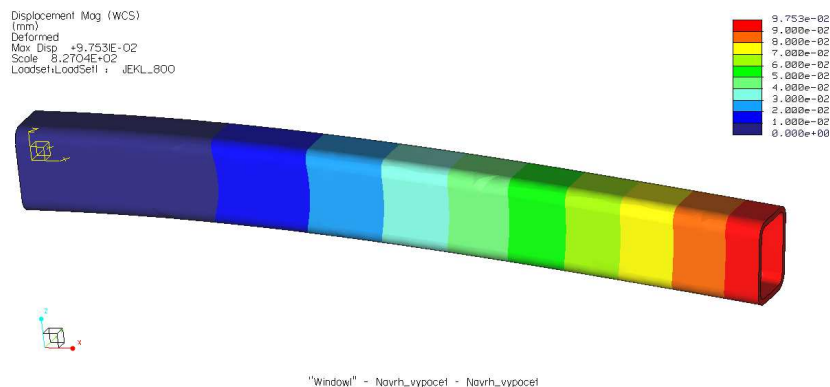
Z předchozího zhodnocení už je zřejmé, jaké požadavky jsou na manipulační zařízení kladeny, a dle toho budou vybírány co nejvhodnější řešení jednotlivých částí manipulátoru.

V následujícím textu bude proveden výběr nejdůležitějších částí, jako jsou např. pohony, převody a uložení pro vybraný typ manipulačního zařízení. Také budou provedeny základní výpočty potřebné k volbě jednotlivých částí.

### 7.1 Návrh nosné části manipulátoru

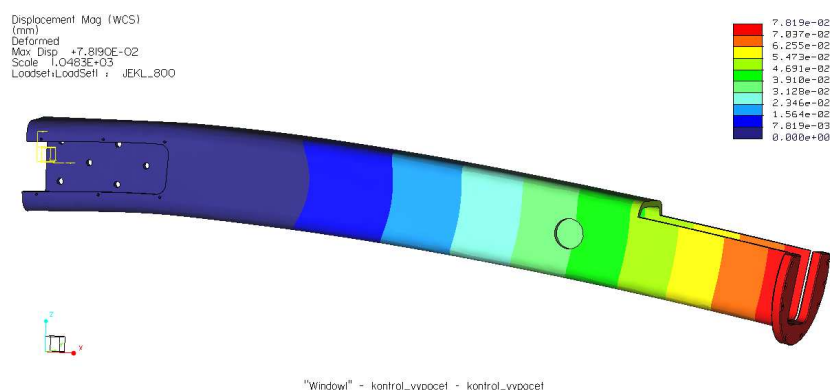
Jako profil nosné části manipulačního zařízení byl vybrán obdélníkový jekl a byly provedeny jednoduché MKP výpočty, aby se určilo, který profil vyhovuje.

Jako kritérium hodnotící, zda profil vyhovuje, byl zvolen průhyb, který neměl přesáhnout 0,15 mm. Tato podmínka se může zdát v poměru s přesností obráběcího stroje dosti velká, avšak pokud vybavíme manipulátor snímací a řídicí jednotkou dá se takovýto průhyb eliminovat a přesnost zařízení nebude snížena.



Obr. 7.1 – Ukázka návrhu pomocí MKP výpočtu – Příloha č. 2 (max. posunutí 0,09753mm)

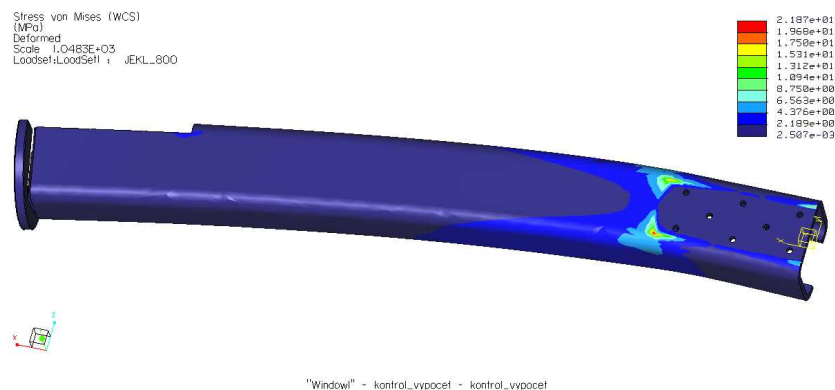
Po zjištění vyhovujících profilů byl manipulátor kompletně zkonstruován a znovu byly jednotlivé profily, zkontrolovány pomocí MKP výpočtů, zda vyhovují.



Obr. 7.2 – Ukázka kontrolního MKP výpočtu – Příloha č. 2 (max. posunutí 0,07819 mm)

Z Obr. 7.2 je vidět že při kontrolním výpočtu nosníku se jeho průhyb nepatrně snížil. To je dáno tím, že se oproti návrhovému výpočtu změnilo uložení i zatížení nosníku podle skutečného zatížení a uložení, a tím se zkrátilo rameno, na kterém působí zatěžující síla. U tohoto výpočtu také dle očekávání špičky napětí vycházely v uložení ramene, jak je vidět

z Obr. 7.3, ale přesto bylo napětí v dovolených hodnotách. Detail Obr 7.3 je možné nalézt v Příloze č. 2



Obr. 7.3 – Špičky napětí dle MKP výpočtu (max. napětí 21.87 MPa)

## 7.2 Návrh pohonů a převodů

Při řešení pohonů je nutné navrhovat současně i typ převodu, protože je nutné zajistit u manipulátoru samosvornost v jednotlivých kloubech. Samosvornost můžeme zajistit dvěma způsoby a to mechanicky nebo elektricky. Mechanický způsob by byl využit použitím šnekové převodovky, která udrží polohu i bez pohonu motoru. Avšak u tohoto manipulátoru si postačíme se způsobem elektrickým. To znamená, že požadovaná poloha bude držena servomotorem (lze použít i krokový motor), který bude stále dodávat výkon. Jako převody byly zvoleny cykloidní převodovky, který jsou v dnešní době, v konstrukci PRaM hojně využívány díky jejich vysoké přesnosti, torzní tuhosti, kompaktním rozměrům, vysoké přetížitelnosti, velkému převodovému poměru a mnoho dalšího.

### 7.2.1 Ukázka výpočtu motoru a volba převodu

V této části bude ukázán výpočet třetího motoru pohánějícího osu O3 (viz Obr. 8.1), stejný postup výpočtu byl proveden i u zbylých motorů.

#### Výpočet potřebného momentu

$$M_3 = F_1 * l_1 + F_2 * l_2 = 200 * 0,8 + 110 * 0,4 = 204 \text{ N.m}$$

#### Zvolené parametry

Otáčky ramene	n=10 ot/min
Převodový poměr převodu	i=100
Účinnost převodu	$\eta=90\%$

#### Výpočet parametrů motoru

Otáčky motoru

$$n_{M3} = n * i = 10 * 100 = 1000 \text{ ot/min}$$

Moment motoru

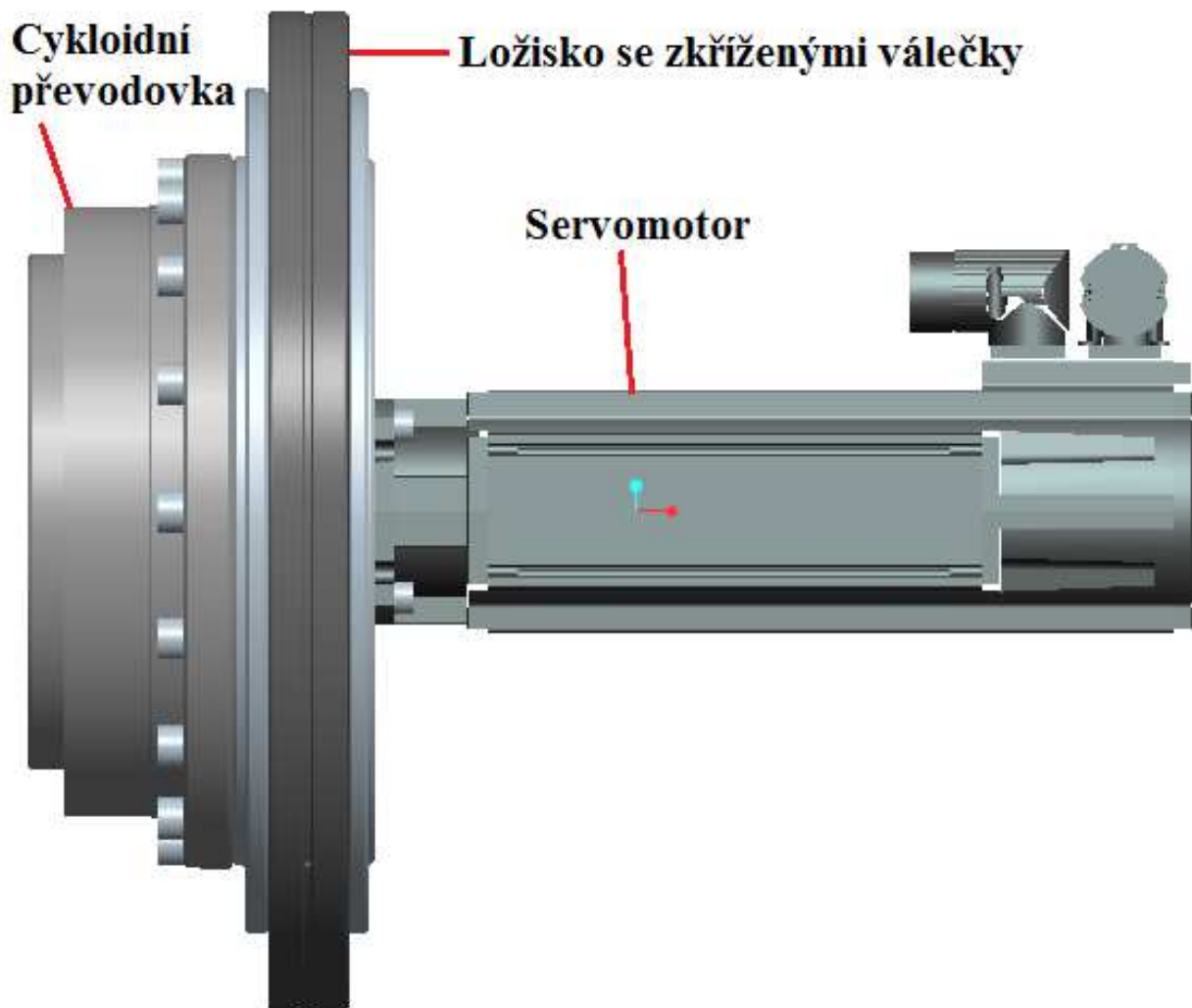
$$M_{M3} = \frac{M_3}{i * \eta} = \frac{204}{100 * 0,9} = 2,27 \text{ N.m}$$

Výkon motoru

$$P_{M3} = M_{M3} * \omega_3 = M_{M3} * \frac{2 * \pi * n_{M3}}{60} = 2,27 * \frac{2 * \pi * 1000}{60} = 237,7 \text{ W}$$

Zvolený servomotor - Emerson Unimotor FM 75 E 2 B 10 1 B A AR A 75 190<sup>22</sup>

Zvolená cykloidní převodovka - Nabtesco Vigo Drive RV-40E<sup>23</sup>



Obr. 7.4 – Sestava servomotoru s cykloidní převodovkou uložené v ložisku se zkříženými válečky

<sup>22</sup> Další informace o tomto motoru lze nalézt na: [http://www.emersonindustrial.com/en-EN/documentcenter/ControlTechniques/Brochures/CTA/BRO\\_SRVMTR.pdf](http://www.emersonindustrial.com/en-EN/documentcenter/ControlTechniques/Brochures/CTA/BRO_SRVMTR.pdf)

<sup>23</sup> Další informace o této převodovce lze nalézt na: [http://www.nabtescomotioncontrol.com/pdfs/RVseriesENG\\_051110.pdf](http://www.nabtescomotioncontrol.com/pdfs/RVseriesENG_051110.pdf)



### 7.3 Návrh uložení

Uložení všech kloubů bude provedeno pomocí ložisek se zkříženými válečky. Tato ložiska se používají v uloženích, kde je nutné zachytit mimo radiálního a axiálního zatížení též klopný moment. Pro manipulátor byla použita ložiska s vysokou tuhostí, od firmy IKO<sup>24</sup> řada CRBH<sup>25</sup>.



Obr. 7.5 – Ložisko se zkříženými válečky [29]

### 7.4 Návrh výstupní hlavice

Vyvození přítláčné síly kleští efektoru bylo zvoleno pružinou a otevírání kleští bylo provedeno pomocí elektromagnetického lineárního pohonu.

Kleště efektoru byly opatřeny povrchovou úpravou EKagrip<sup>26</sup> firmy ESK<sup>27</sup>, aby bylo dosaženo zvýšení kluzného tření mezi kleštěmi a manipulovaným objektem.

Výpočtem byla určena potřebná přítláčná síla 150N a dle toho byla navržena pružina a lineární pohon. Jako lineární pohon byl zvolen motor Linmot®<sup>28</sup> P01-37x120/180x260<sup>29</sup>.

<sup>24</sup> Další informace o této firmě lze nalézt na: <http://www.ikont.com>

<sup>25</sup> Další informace o těchto ložiscích lze nalézt na:

[http://www.ikont.co.jp/global\\_data/download/pdf\\_catalog/cat57151.pdf](http://www.ikont.co.jp/global_data/download/pdf_catalog/cat57151.pdf)

<sup>26</sup> Další informace o této úpravě lze nalézt na: <http://www.mmspektrum.com/clanek/ekagrip-zvysuje-treni.html>

<sup>27</sup> Další informace o této firmě lze nalézt na: <http://www.esk.com/>

<sup>28</sup> Další informace o této firmě lze nalézt na adrese: <http://www.linmot.com/>

<sup>29</sup> Další informace o tomto motoru lze nalézt na: [http://www.linmot.com/fileadmin/doc/Manuals/Motors/P01-37x120/English/datasheet\\_P01-37x120\\_e\\_recent.pdf](http://www.linmot.com/fileadmin/doc/Manuals/Motors/P01-37x120/English/datasheet_P01-37x120_e_recent.pdf)

## 8. ZHODNOCENÍ KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ

### 8.1 Zhodnocení konstrukčního řešení manipulátoru

Navržený a zkonstruovaný univerzální manipulátor vyhovuje zvoleným parametrům a požadavkům definovaným v předchozí části. Manipulátor byl konstruován pro potřeby jediné obráběcího stroje, avšak vhodným uspořádáním pracoviště je možné, aby toto zařízení obsluhovalo více strojů současně.

Dále byl kladen důraz na stavebnicovost zařízení. U všech částí byla snaha umožnit jednoduché rozebrání a umožnit tím případnou výměnu např. za rameno jiných rozměrů nebo změnu rotačního pohybu na posuvný pohyb. Příkladem by mohlo být odpojení manipulátoru od osy O1 (viz Obr. 8.1) a nahrazení rotačního pohybu např. kolejovým pojezdem. Tím by se zvětšil pracovní prostor stroje a bylo by možné obsluhovat více strojů najednou avšak počet stupňů volnosti by zůstal stejný. Další možností by byly připojit celé manipulační zařízení (i s osou O1) na kolejový pojezd a tím by se zvýšil počet stupňů volnosti a pracovní prostor by se ještě více zvětšil.

Při konstruování bylo myšleno také na připojení všech motorů ke zdroji energie, připojení snímačů a čidel příslušnými vodiči energie a signálu, a proto byli v manipulátoru vytvořeny otvory pro jejich bezpečné vedení od základu až k efektoru.

**Tab. 1 – Základní technické údaje manipulátoru**

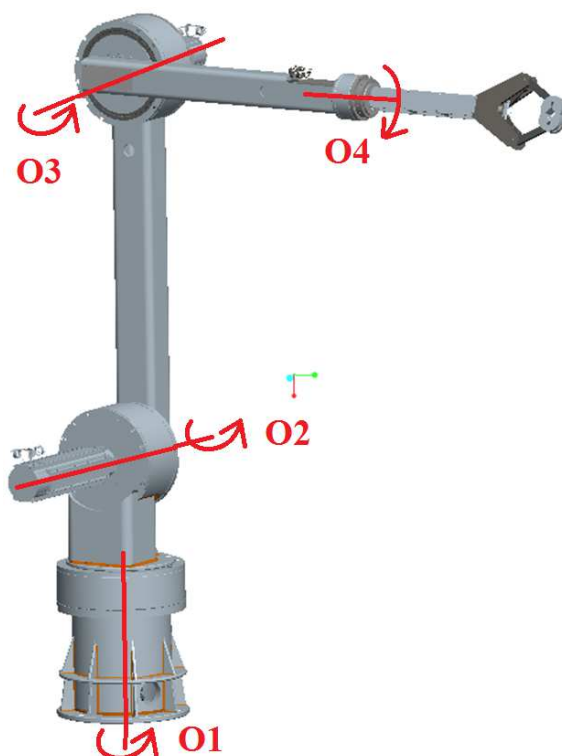
Údaj	Hodnota
Počet stupňů volnosti	4
Maximální zatížení manipulátoru	20 [kg]
Maximální dosah manipulátoru	1843 [mm]
Montážní rozměry k základu	16×M12 - Ø315
Montážní rozměry efektoru	6×M8 - Ø58

**Tab. 2 – Rozsah pohybů manipulátoru**

Osa	Rozsah [°]	Rychlost [°/s]
O1	360 (350)	36
O2	210	60
O3	330	60
O4	360 (350)	120

U manipulátoru nebyly řešeny mechanické dorazy pohybu, z důvodu že se počítá s elektronickou kontrolou polohy pomocí snímačů, proto není nutné omezení pohybu jednotlivých ramen řešit mechanicky. V případě mechanických dorazů by se navíc omezil rozsah některých pohybů, jak je uvedeno v závorkách v tabulce Tab. 2

V Příloze č. 1 se nachází výkres operačního prostoru manipulátoru.



Obr. 8.1 – Vyznačení os manipulátoru

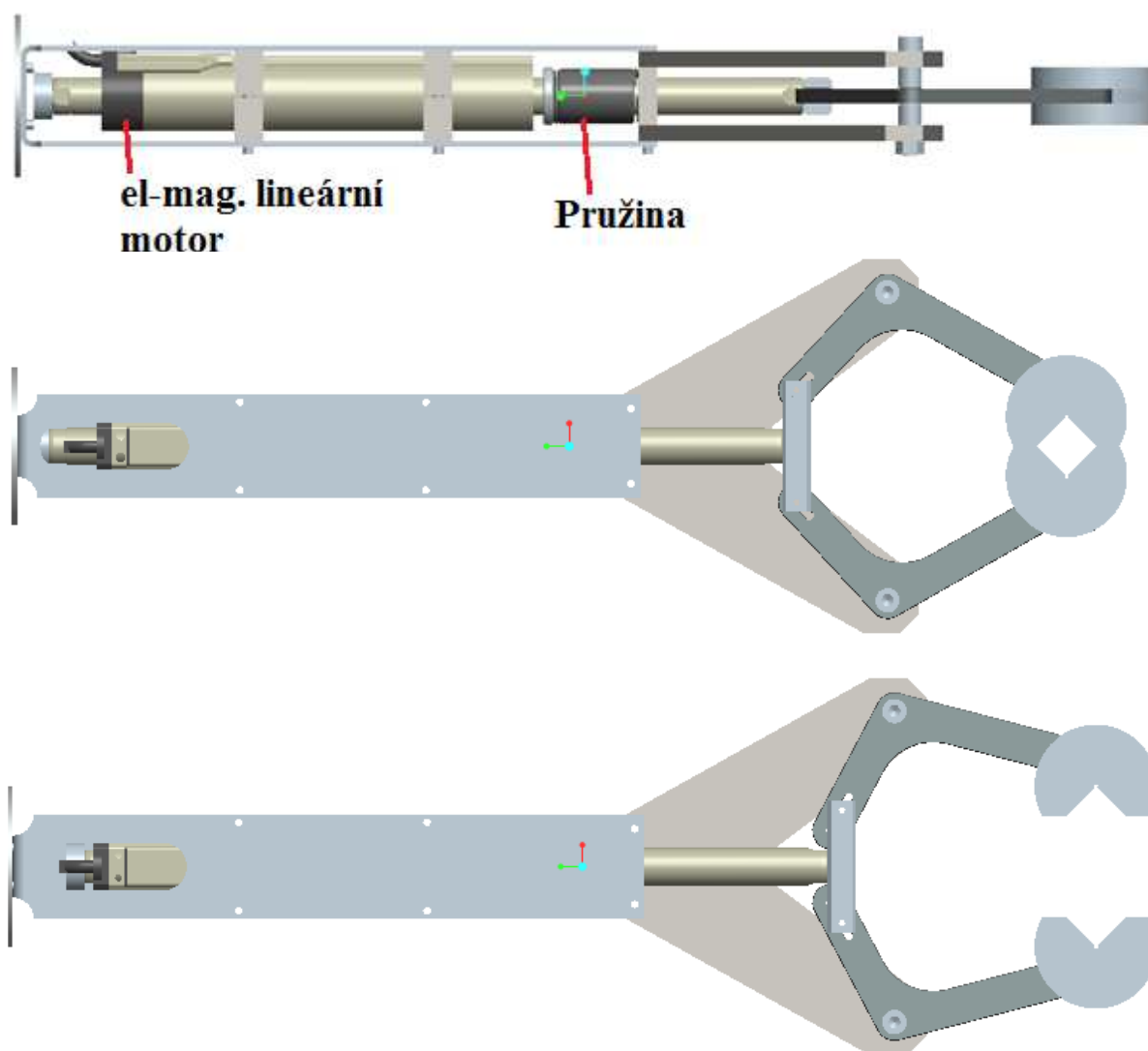
## 8.2 Zhodnocení konstrukčního řešení výstupní hlavice

Výstupní hlavice byla konstruována jako výměnná, tudíž je možné tuto hlavici zaměnit za jinou manipulační hlavici vyhovující manipulovaným objektům nebo je možné připojit i technologickou hlavici.

Maximální síla vyvozená pružinou, přes pákový mechanismus na kleštiny, odpovídá únosnosti 15 kg. Avšak maximální uchopitelný průměr je omezen na  $\text{Ø}50$  mm, kvůli max. dovolenému stlačení pružiny. Pro zvětšení maximálního uchopitelného průměru není nutné měnit celou hlavici, zvětšení je možné dosáhnout výměnou pružiny nebo změnou rozměrů pákového mechanismu.

**Tab. 3 – Základní technické údaje výstupní hlavice**

Údaj	Hodnota
Vzdálenost osy kleštin od montážní desky	568 [mm]
Maximální síla vyvozená na kleštiny	250 [N]
Minimální uchopitelný $\text{Ø}$	23 [mm]
Maximální uchopitelný $\text{Ø}$	50 [mm]
Zdvih pohonu	16 [mm]
Montážní rozměry připojení	6×M8 - $\text{Ø}58$



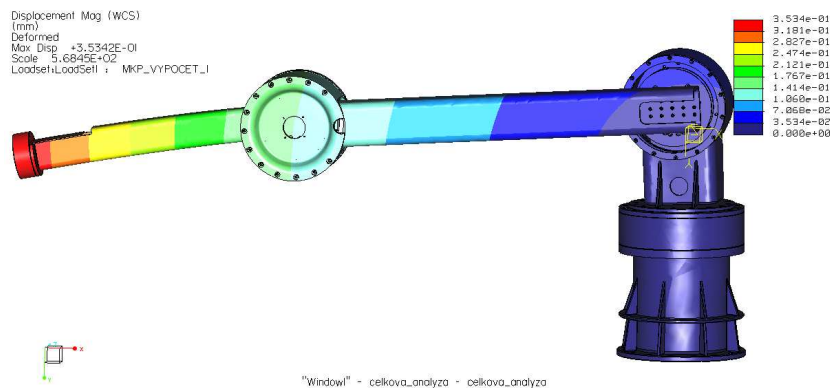
Obr. 8.2 – Model koncového efektoru

### 8.3 Zhodnocení MKP výpočtů

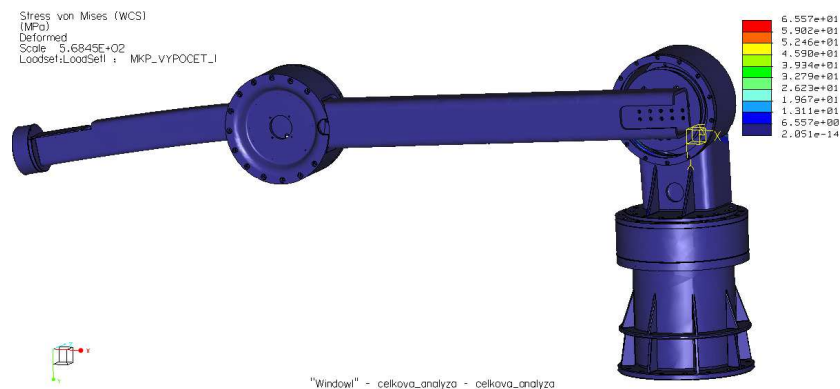
Manipulátor byl spočítán v poloze, ve které bude nejvíce namáhán na ohyb, a proto v této poloze bude i největší posunutí od původní polohy. Do MKP výpočtů nebyly zahrnuty součásti, jako jsou motory, převodovky, ložiska šrouby a další díly, protože pro výpočet nejsou potřebné, a výpočet by zpomalovaly nebo tyto díly byly nahrazeny vhodnými zjednodušujícími prvky, které plní stejnou funkci a navíc zrychlují výpočet. Manipulátor byl zatížen silou 200 N odpovídající váze břemene a váze efektoru. Všechny ostatní části (i ty vynechané z výpočtového modelu) byli nahrazeny silou odpovídající jejich tíhové síle.

Provedené MKP výpočty proběhly úspěšně. Jak je vidět z Obr. 8.4, maximální napětí v manipulátoru vyšlo necelých 66 MPa, což bylo způsobeno místním špičkovým napětím, vzniklém ve svaru uložení druhého motoru s jeklem (viz. Příloha č. 2). Toto místo bylo předvídatelně nejvíce namáháno, protože na něj působí největší zatížení. Přesto špičkové napětí bude ve skutečnosti menší, protože zatížení se rozloží ve větší ploše díky přilehlému svaro-  
vému spoji.

Maximální posunutí konce manipulátoru vyšlo z výpočtu 0,3534 mm. Pokud vybavíme manipulátor vhodnými snímači a řízením, bude možné toto posunutí eliminovat a přesnost tohoto zařízení nebude záviset na velikosti zatížení.



Obr. 8.3 – Ukázka celková analýza manipulátoru - Příloha č. 2 (max. posunutí 0,3534 mm)



Obr. 8.4 – Ukázka celkové analýzy manipulátoru - Příloha č. 2 (max. napětí 65,57 MPa)



Obr. 8.5 – Univerzální programovatelný manipulátor

## 9. ZÁVĚR

Účelem této bakalářské práce bylo vytvořit konstrukční návrh univerzálního programovatelného manipulátoru pro použití v kusové výrobě pro manipulaci s různorodými objekty. Dle zadání byly pro toto zařízení postupně zvoleny nejdůležitější požadavky a při návrhu konstrukce byly tyto požadavky plněny, aby byl manipulátor u vybraného výrobního stroje plně využitelný. Jako výrobní stroj byl vybrán, jako nejlepší příklad kusové výroby, numericky řízený soustruh. Konečné řešení manipulátoru je vhodné pro obsluhu jednoho soustruhu avšak díky jeho pracovnímu prostoru je možné ho použít i pro více strojů současně.

Součástí této práce nebylo navrhnout pouze mechanickou část manipulátoru, ale také koncovou hlavici. Pro koncovou hlavici manipulátoru byly také postupně definovány jednotlivé požadavky, které byly při konstrukčním řešení splněny. Jelikož při soustružení se manipuluje nejvíce s rotačními obrobky, hlavice byla konstruována právě pro tyto součásti, ale je možné ji použít i pro jiné tvary součástí.

Celá práce by se dala rozdělit do tří hlavních částí. Na začátku byla provedena rešerše manipulačních zařízení. Byly popsány jejich vlastnosti, rozdělení dle různých hledisek a ukázky použití v různých typech výroby u různých strojů. V této části bylo představeno velké množství typů manipulátorů s jejich technickými parametry. V další části byly vytvořeny čtyři různé varianty vhodné pro zadaný úkol a z nich byl analýzou vybrán nejvhodnější typ. V poslední části byl proveden výpočet a konstrukční návrh vybraného manipulačního zařízení a byl navrhnout také vhodný efektor.

Při konstruování manipulátoru, tak i koncové hlavice byl kladen důraz na jednoduchou stavebnicovost zařízení, tudíž je možné všechny části manipulátoru odmontovat a nahradit je jinými, které budou vyhovovat dané aplikaci. To zvyšuje využitelnost manipulátoru jak po stránce uzpůsobení rozměrů, tak po stránce změny druhu pohybu. Aby byl manipulátor úplně kompletní, musely by být navrženy náhradní stavebnicové díly, které by bylo snadné zaměnit za stávající navržené části manipulátoru. Také koncový efektor byl navržen pouze jeden, který má omezený rozsah manipulovaného průměru, proto by bylo nutné navrhnout i další vhodné efektor.

Cílem řešení byla mechanická část manipulátoru, proto aby byl manipulátor kompletní a schopný provozu, bylo by nutné navrhnout jeho další nezbytné části, jako jsou např. senzory, programování, řízení a další nutnosti, bez kterých nemůže manipulátor fungovat.



## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KOLÍBAL, Zdeněk. *Průmyslové roboty I: Konstrukce PRaM*. Brno: VUT Brno, 1993. ISBN 80-214-0526-0
- [2] SKUŘAPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátory*. Ostrava: Ediční středisko VŠB – TUO, 2007. ISBN 978-80-248-1522-0
- [3] BLECHA, Petr, KOLÍBAL, Zdeněk a KNOFLÍČEK, Radek. *Mechatronika: Modul 10: Robotika*. Brno: VUT Brno, 2010
- [4] ŠOLC, František a ŽALUD, Luděk. *Robotika*. Brno: VUT Brno 2002
- [5] LEINVEBER, Jan a VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky: Druhé doplněné vydání*. Úvaly: Albra-pedagogické nakladatelství, 2005. ISBN 80-7361-011-6
- [6] NĚMEJC, Jiří. *Průmyslové roboty a robotizace strojírenské výroby*. Plzeň: Západočeská univerzita, 1999. ISBN 80-7082-578-2
- [7] MM Průmyslové spektrum: *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. Praha, 2006
- [8] HOSNEDL, Stanislav a KRÁTKÝ, Jaroslav. *Příručka strojního inženýra*. Brno: Computer Press, 1999. ISBN 80-7226-055-3
- [5] LEINVEBER, Jan a VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky: Druhé doplněné vydání*. Úvaly: Albra-pedagogické nakladatelství, 2005. ISBN 80-7361-011-6

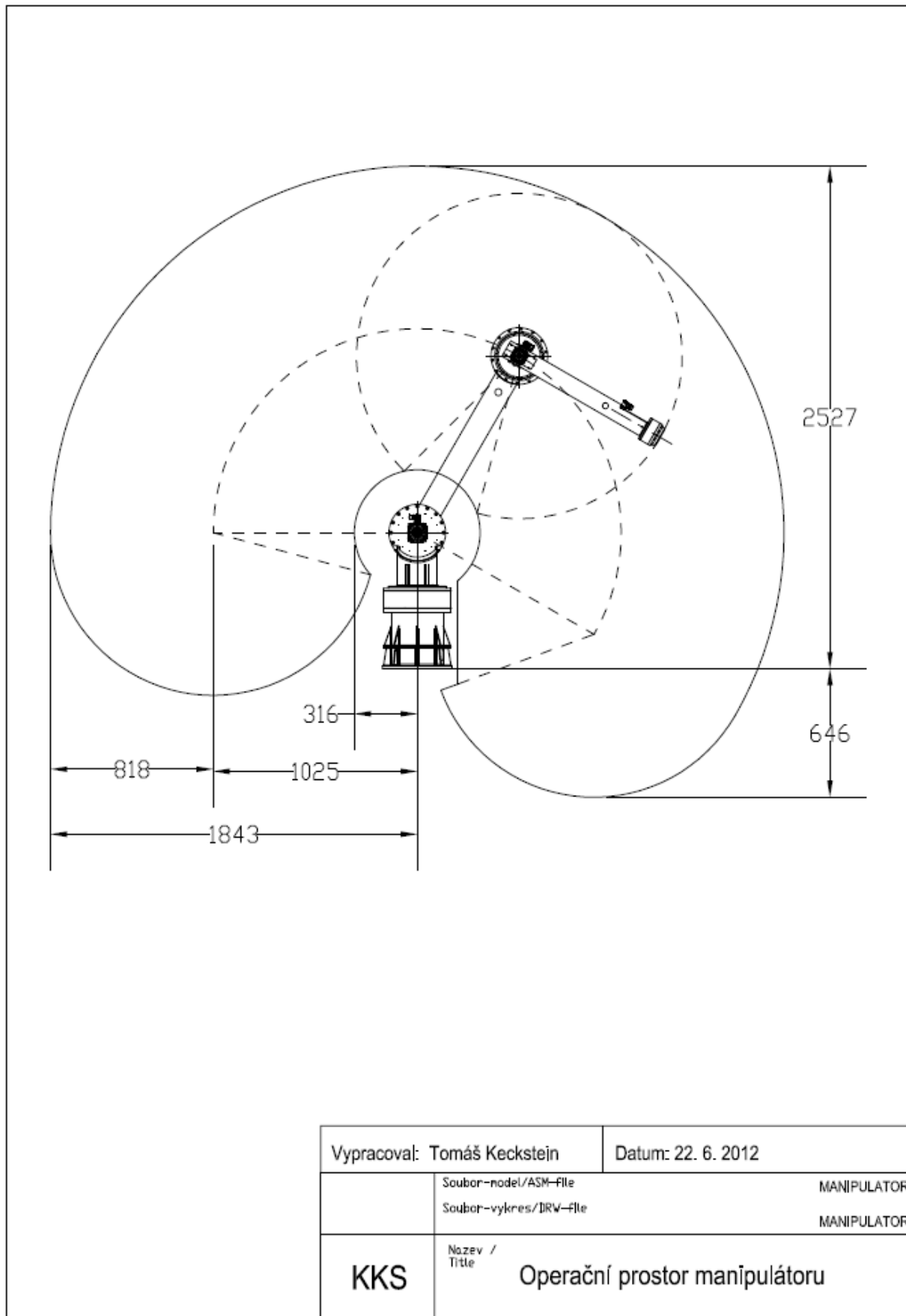
## INTERNETOVÉ ZDROJE

- [9] *Výrobní stroje: obráběcí* [online]. Dostupné z: [http://www.kvs.tul.cz/download/vyrobní\\_stroje/obrabeci.pdf](http://www.kvs.tul.cz/download/vyrobní_stroje/obrabeci.pdf)
- [10] *National Geographic Česko: Válečné stroje mistra Leonarda: kosy, roboti i kulometry* [online], Dostupné z: <http://www.national-geographic.cz/detail/valecne-stroje-mistra-leonarda-kosy-roboti-i-kulometry-10152/>
- [11] *Designboom: Robot history* [online]. Dostupné z: <http://www.designboom.com/weblog/cat/16/view/5116/robot-history.html>
- [12] *Joseph Marie Jacquard* [online]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/Joseph\\_Marie\\_Jacquard](http://en.wikipedia.org/wiki/Joseph_Marie_Jacquard)
- [13] *Jacquard Mechanism and Cards* [online]. 2002. Dostupné z: <http://www.duke.edu/web/isis/gessler/topics/jacquard.htm>
- [14] *Remembering the 50th anniversary of the first industrial robot* [online]. 2011. Dostupné z: <http://www.transhumanistic.com/2011/01/happy-50th-anniversary-to-first-industrial-robo/r/topics/jacquard.htm>
- [15] *History of robots: Versatran* [online]. Dostupné z: <http://robotrevue.cz/2010/09/39>
- [16] *Robot Revue 09/2010: Znáte toho robota* [online]. 2010. Dostupné z: <http://robotrevue.cz/2010/09/39>
- [17] JANOME. *Janome: JSR 4400 Series Scara* [online]. Dostupné z: [http://www.janomeie.com/main\\_catalog.asp?sitenam=janome&pagenam=products&category=8&item=921](http://www.janomeie.com/main_catalog.asp?sitenam=janome&pagenam=products&category=8&item=921)

- [18] WÄLISCHMILLER. *Wälischmiller: Articulated Arm Manipulator System HWM A200* [online]. Dostupné z: <http://www.hwm.com/36-1-Master-Slave+Manipulator+HWM+A200.html>
- [19] JANOME. *Janome: JSG Gantry* [online]. Dostupné z: <http://janome.exactec.com/index.php/component/content/article/81-jsg-gantry/104-jsg-gantry>
- [20] DALMEC. *Dalmecc: Industrial Manipulators* [online]. Dostupné z: <http://dalmecc.com/Cat/ing/FOUNDRY.pdf>
- [21] INOXVENETA. *Inoxveneta: Robot bending cell* [online]. Dostupné z: <http://www.inoxveneta.it/cms/technologies-sheet-metal-stainless-steel>
- [22] FRAUNHOFER IPA. *Fraunhofer: Roboshaping* [online]. Dostupné z: <http://www.roboshaping.de/Download.php>
- [23] KUKA. *Roboty propojují proces zápusťkového kování* [online]. Dostupné z: [http://www.kuka-robotics.com/czech\\_republic/cs/solutions/solutions\\_search/L\\_R267\\_Robots\\_Link\\_Drop\\_Forging\\_Process.htm](http://www.kuka-robotics.com/czech_republic/cs/solutions/solutions_search/L_R267_Robots_Link_Drop_Forging_Process.htm)
- [24] EPSON. *G-Series SCARA Robots: Epson G20* [online]. Dostupné z: <http://www.robots.epson.com/>
- [25] STÄUBLI. *RX170 hsm robot with integrated high speed spindle* [online]. Dostupné z: <http://www.staubli.com/en/robotics/robot-solution-application/high-speed-machining-robot/rx170-hsm/>
- [26] MOTOMAN. *Něco o svařovacích robotech* [online]. Dostupné z: [http://www.hadyna.cz/smartwelding/motoman/fist\\_robot.htm](http://www.hadyna.cz/smartwelding/motoman/fist_robot.htm)
- [27] FESTO. *Manipulační moduly HSP* [online]. Dostupné z: [http://www.festo.com/cat/cs\\_cz/data/doc\\_cs/PDF/CZ/HSP\\_CZ.PDF](http://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/HSP_CZ.PDF)
- [28] FESTO. *Mechanická chapadla* [online]. Dostupné z: [http://www.festo.com/pnf/cs\\_cz/products/](http://www.festo.com/pnf/cs_cz/products/)
- [29] SLB. *Ložiska se zkříženými válečky* [online]. Dostupné z: <http://www.slb.cz/Katalog/Loziska-se-zkrozenymi-valecky>

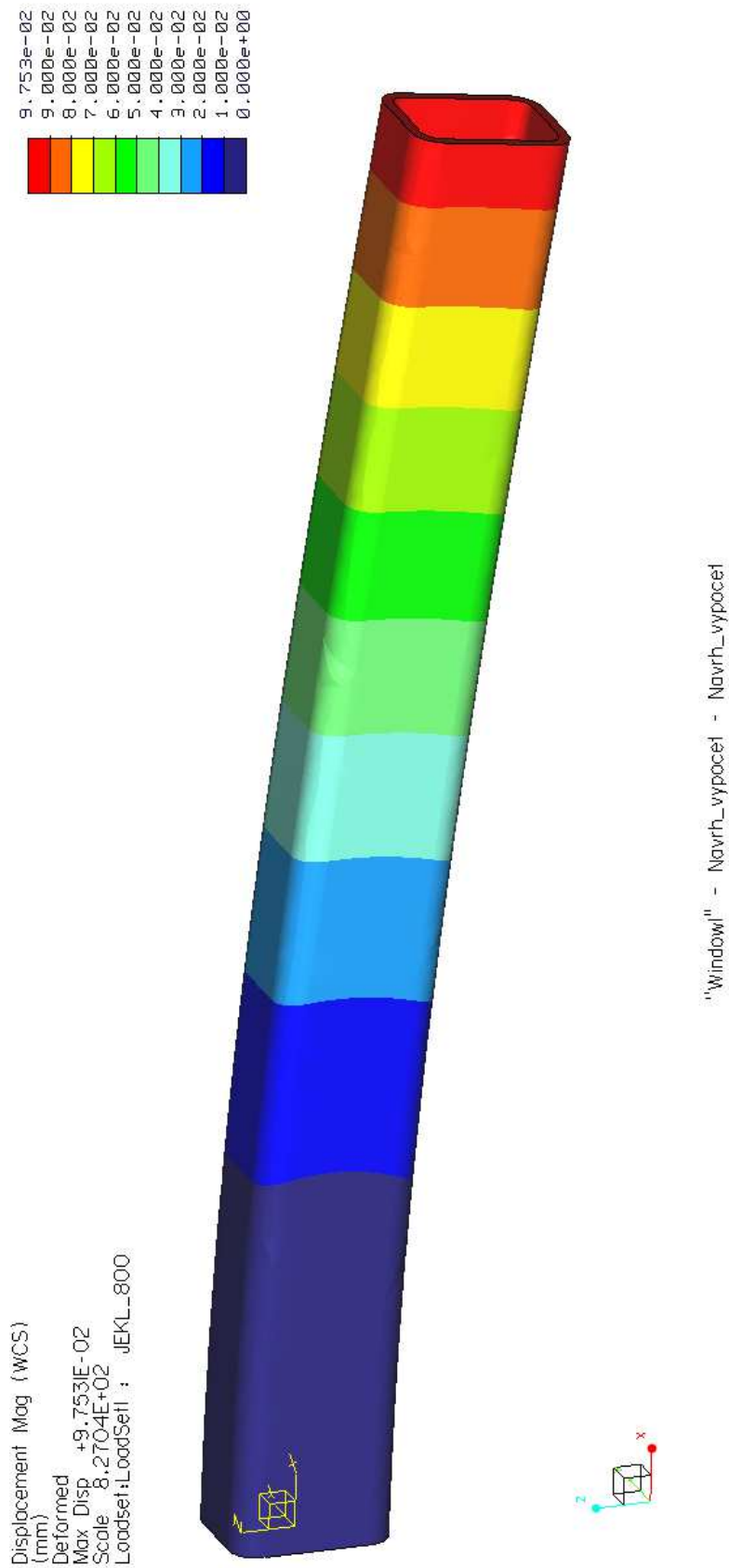
## **PŘÍLOHA č. 1**

### **Operační prostor manipulátoru**

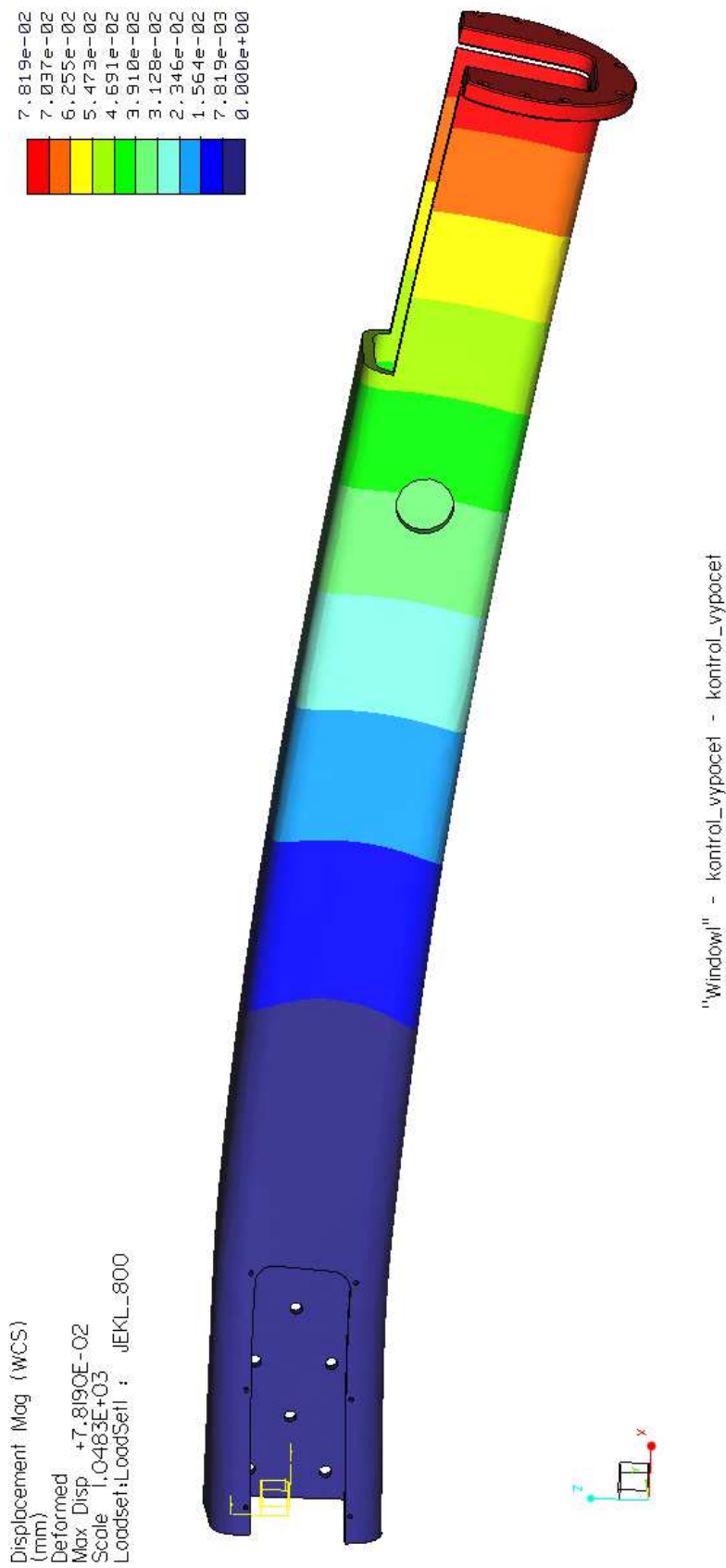


## **PŘÍLOHA č. 2**

### **Výsledky MKP výpočtů**

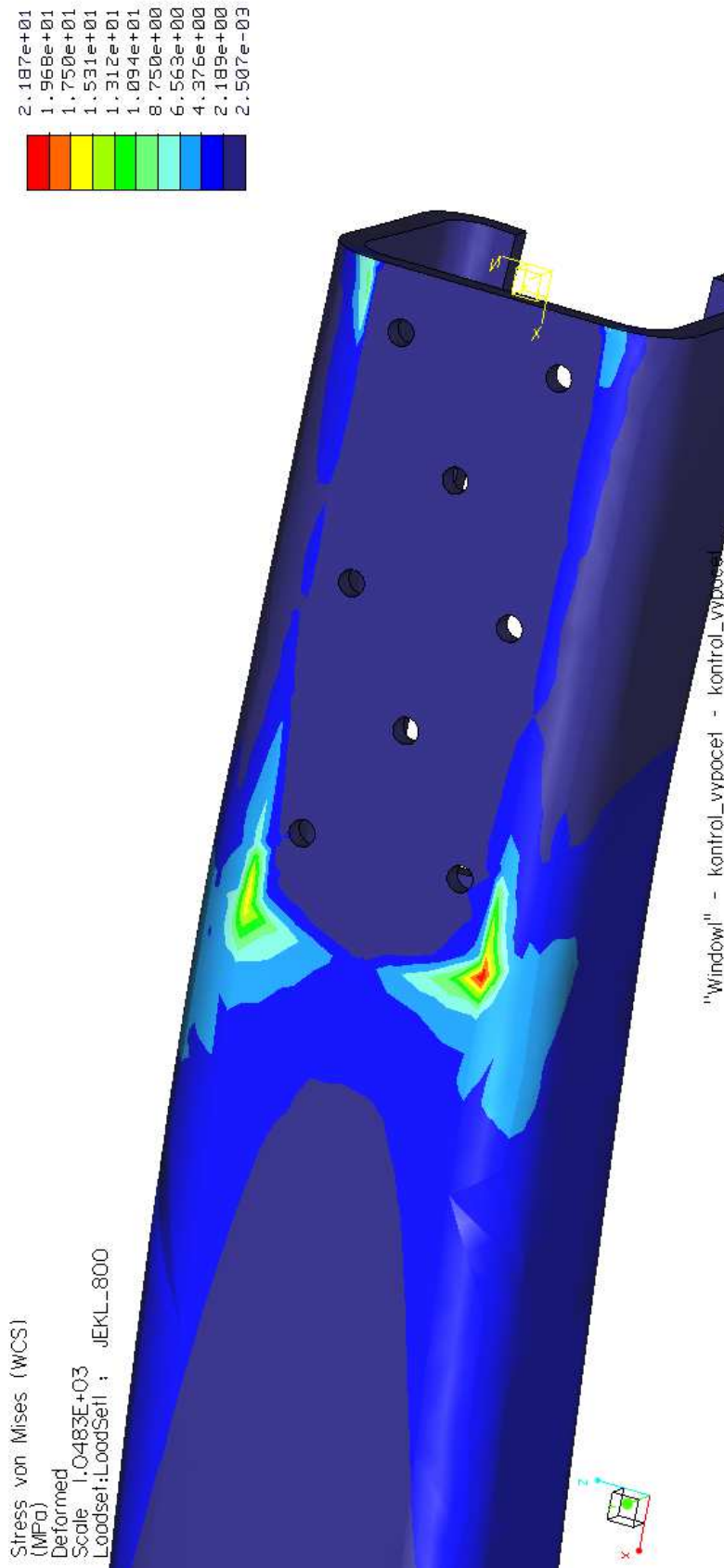


Obrázek 1. Návrhový výpočet jeklu 90x70x6 dlouhý 800mm zatížený silou 200 N

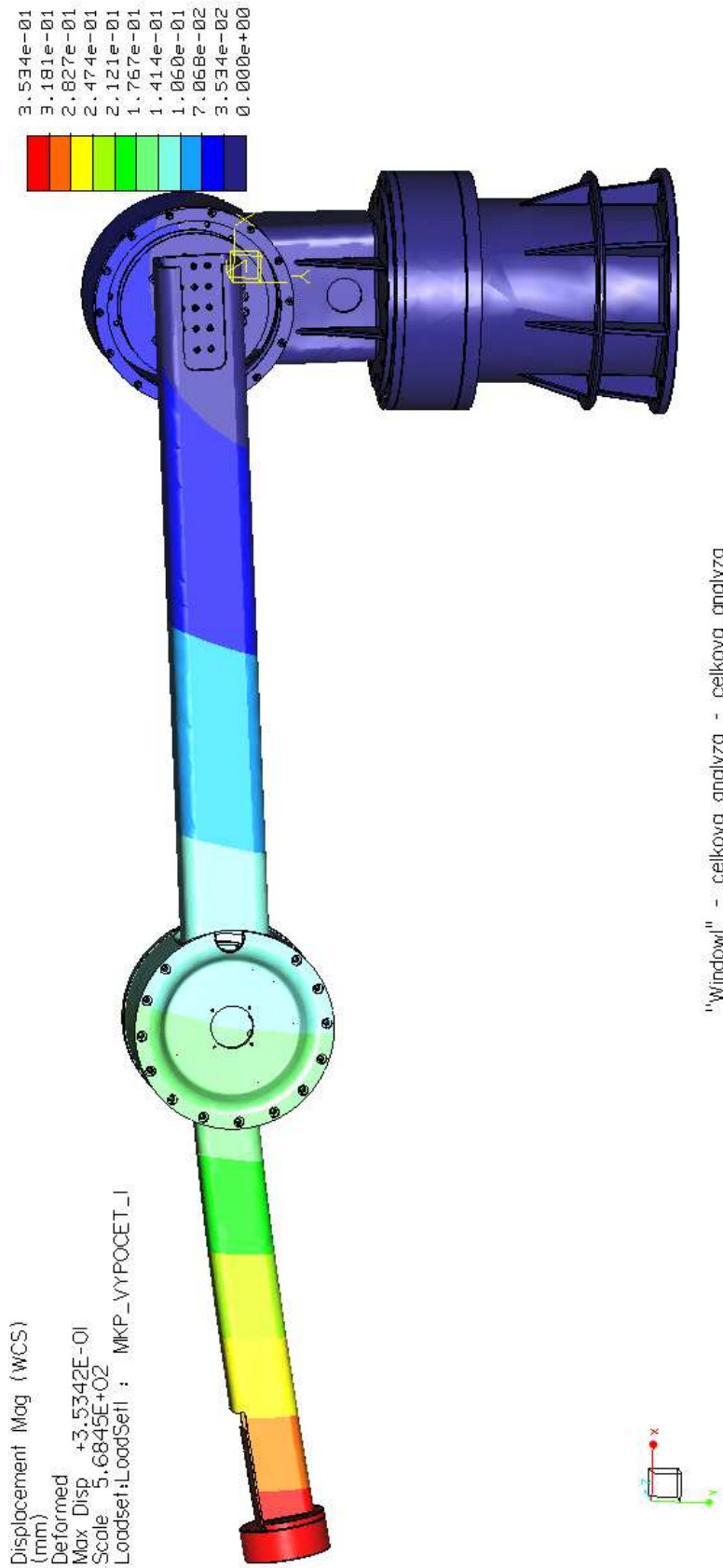


Obrázek 2. Kontrolní výpočet jeklu 90x70x6 dlouhý 800mm zatížený silou 200 N

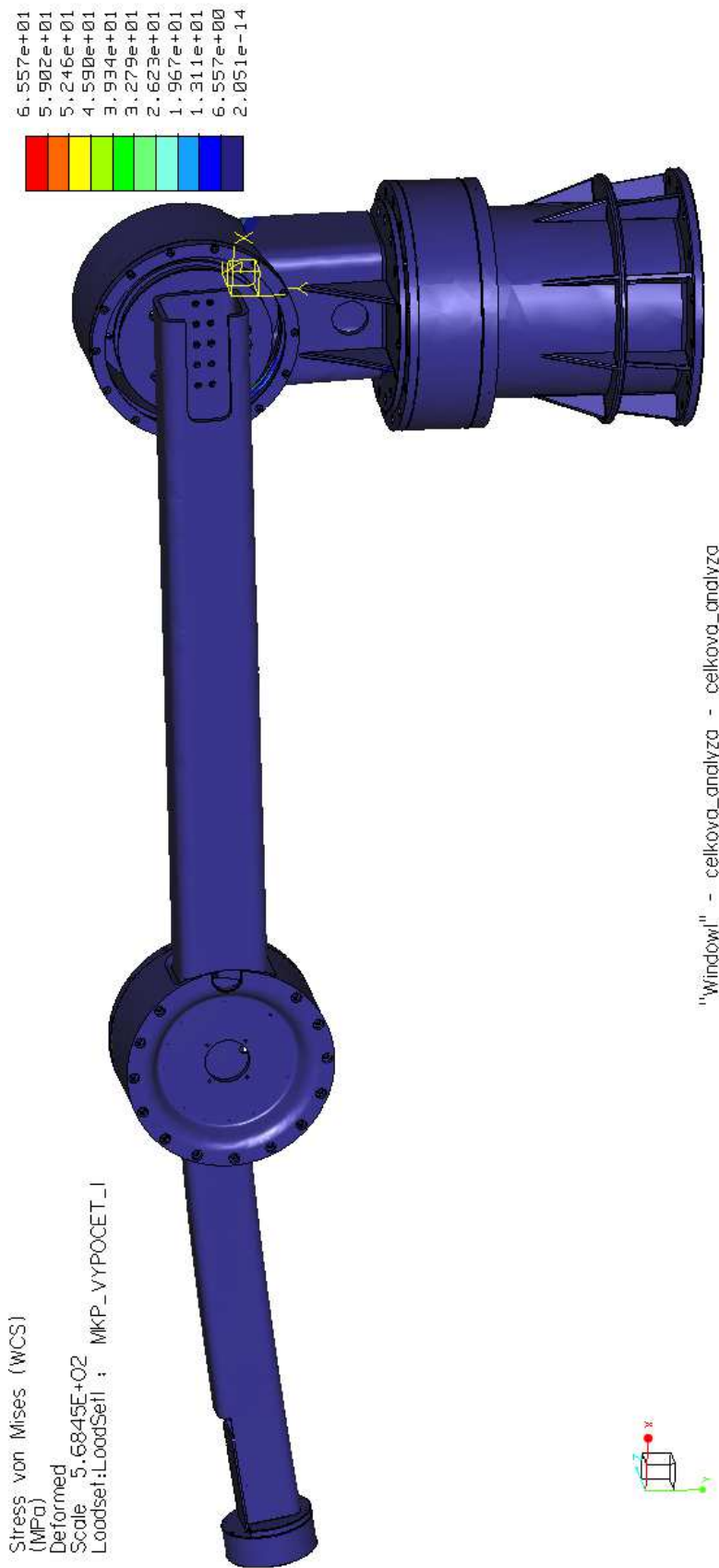




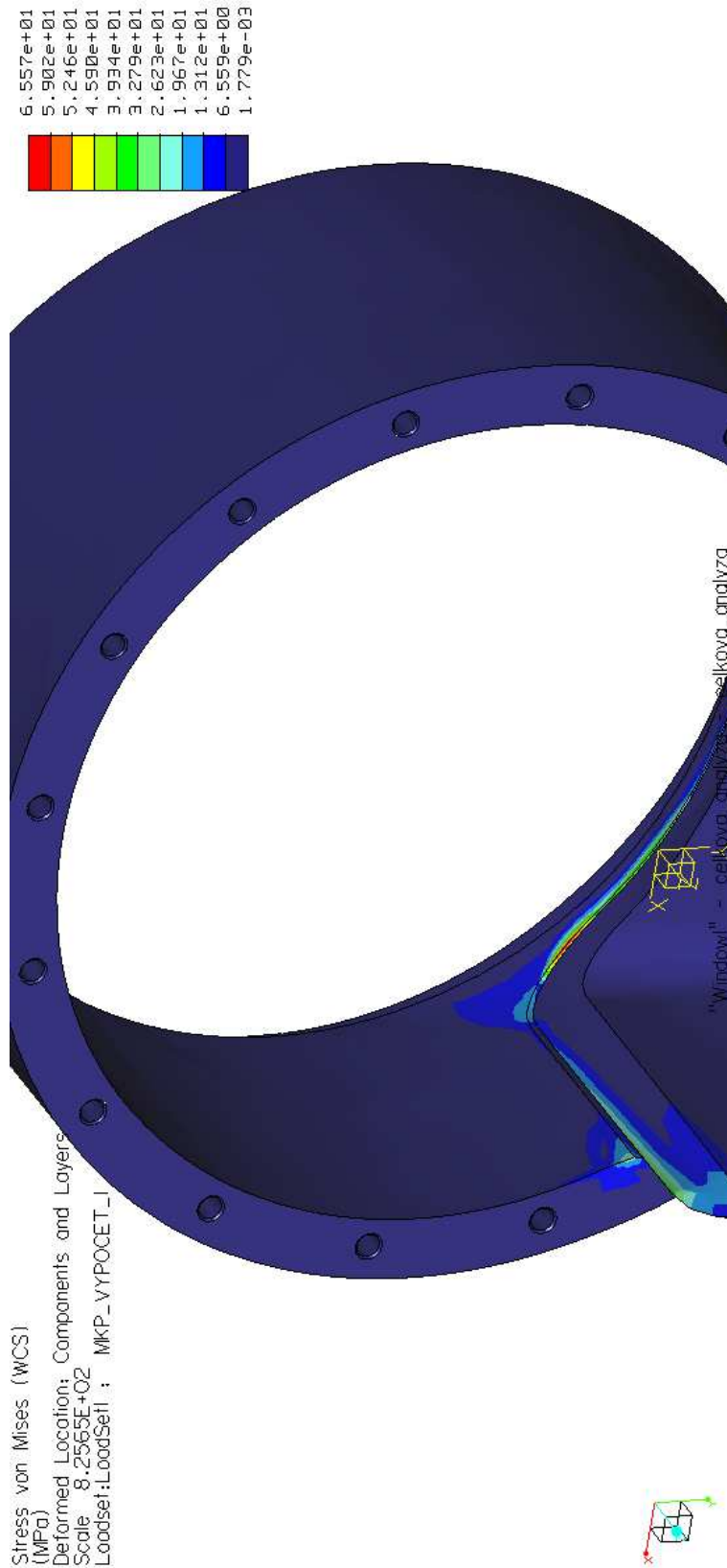
Obrázek 3. Detailní obrázek špiček napětí z kontrolního výpočtu jeklu 90x70x6



Obrázek 4. Celkové analýza manipulátoru, zobrazení posunutí



Obrázek 5. Celkové analýza manipulátoru, zobrazení napětí



Obrázek 6. Celkové analýza manipulátoru, zobrazení špičky napětí ve svarovém spoji uložení motoru 2