



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní



# TÝMOVÝ PŘÍSTUP NÁVRHU, VÝROBY A TESTOVÁNÍ SERVISNÍHO MOBILNÍHO ROBOTU A JEHO SUBSYSTÉMŮ

Případová studie k tématu „Týmový přístup v servisní robotice“

Ing. Milan Mihola, Ph.D.

Ing. Ladislav Kárník, CSc.

prof. Dr. Ing. Petr Novák

Ing. Michal Gloger

Ostrava 2012



Tyto studijní materiály vznikly za finanční podpory Evropského sociálního fondu (ESF) a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu OP VK CZ.1.07/2.3.00/09.0147 „Vzdělávání lidských zdrojů pro rozvoj týmů ve vývoji a výzkumu“.

Název: Týmový přístup návrhu, výroby a testování servisního mobilního robotu a jeho subsystémů

Autoři: Milan Mihola, Ladislav Kárník, Petr Novák, Michal Gloger

Vydání: první, 2012

Počet stran: 125

Náklad: 30

Studijní materiály pro studijní obor Strojírenství Fakulty strojní

Jazyková korektura: nebyla provedena.



**Tyto studijní materiály vznikly za finanční podpory Evropského sociálního fondu a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu Operačního programu Vzdělávání pro konkurenceschopnost.**



*Název:* Vzdělávání lidských zdrojů pro rozvoj týmů ve vývoji a výzkumu

*Číslo:* CZ.1.07/2.3.00/09.0147

*Realizace:* Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

© Milan Mihola, Ladislav Kárník, Petr Novák, Michal Gloger

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN <(bude zajištěno hromadně)>

## OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD.....</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>KONSTRUKČNÍ NÁVRH MANIPULAČNÍ NÁSTAVBY .....</b>	<b>7</b>
2.1	Seznámení s aktuálním stavem mobilního servisního robotu ARES .....	7
2.2	Sestavení požadavkových listů .....	10
2.2.1	Požadavkový list - efektor .....	10
2.2.2	Požadavkový list – nosný subsystém.....	11
2.2.3	Požadavkový list – senzorický, vizuální a komunikační subsystém.....	12
2.3	Sestavení týmu a způsob komunikace .....	13
2.4	Analýza současného stavu řešené problematiky a vlastní konstrukční návrh .	16
2.4.1	Efektor manipulační nástavby .....	16
2.4.2	Nosný subsystém manipulační nástavby .....	20
2.4.3	Návrh manipulační nástavby dle upraveného požadavkového listu I .....	28
2.4.4	Návrh manipulační nástavby dle upraveného požadavkového listu II.....	34
2.5	Pevnostní analýza manipulační nástavby metodou konečných prvků .....	41
2.6	Ukončení konstrukčních prací .....	45
<b>3</b>	<b>VÝROBA, MONTÁŽ A TESTOVÁNÍ MANIPULAČNÍ NÁSTAVBY SMR.....</b>	<b>47</b>
3.1	Předvýrobní etapa .....	47
3.2	Etapa výroby konstrukčních dílů .....	60
3.2.1	Výroba konstrukčních dílů efektoru.....	61
3.2.2	Výroba konstrukčních dílů ramena 1 .....	66
3.2.3	Výroba konstrukčních dílů ramena 2 .....	67
3.2.4	Výroba konstrukčních dílů ramena 3.....	69
3.2.5	Výroba konstrukčních dílů ramena 4.....	70
3.3	Etapa montáže manipulační nástavby.....	72
3.3.1	Montáž efektoru.....	73
	• Řešení problémů při montáži efektoru .....	74
3.3.2	Montáž ramena 1 .....	74
	• Řešení problémů při montáži ramena 1 .....	75
3.3.3	Montáž ramena 2 .....	76
	• Řešení problémů při montáži ramena 2 .....	77
3.3.4	Montáž ramena 3 .....	77

• Řešení problémů při montáži ramena 3 .....	78
<b>3.3.5 Montáž ramena 4 .....</b>	<b>78</b>
• Řešení problémů při montáži ramena 4 .....	79
<b>3.3.6 Montáž manipulační nástavby do celku .....</b>	<b>79</b>
• Řešení problémů při montáži manipulační nástavby do celku .....	80
<b>3.3.7 Zhodnocení výroby a montáže manipulační nástavby pro SMR .....</b>	<b>80</b>
<b>3.4 Etapa testování a následného provozu manipulační nástavby .....</b>	<b>81</b>
<b>3.4.1 Řešení problémů při testování manipulační nástavby .....</b>	<b>82</b>
<b>4 REALIZACE MĚŘENÍ DEFORMACÍ MANIPULAČNÍHO SUBSYSTÉMU... 84</b>	
<b>4.1 Návrh měření a popis mobilního robotu ARES .....</b>	<b>84</b>
<b>4.2 Popis převodové jednotky CSG-2UH .....</b>	<b>86</b>
<b>4.3 Určení průhybu manipulační nástavby na základě výpočtů a pevnostní analýz 88</b>	
<b>4.3.1 Analýza ramene 1 .....</b>	<b>89</b>
<b>4.3.2 Analýza ramene 2 .....</b>	<b>92</b>
<b>4.3.3 Analýza ramene 2 .....</b>	<b>96</b>
<b>4.4 Praktické testy navrženého subsystému .....</b>	<b>97</b>
<b>4.5 Porovnání výsledků měření s výsledky teoretickými a závěrečné zhodnocení 103</b>	
<b>5 NÁVRH SUBSYSTÉMU PRO ODBĚR KAPALNÝCH A PLYNNÝCH VZORKŮ .....</b>	<b>104</b>
<b>5.1 Úvod do problematiky a popis subsystému .....</b>	<b>107</b>
<b>5.1.1 Subsystém pro odběr plynů .....</b>	<b>108</b>
<b>5.1.2 Subsystém pro odběr kapalin .....</b>	<b>109</b>
<b>5.1.3 Řídicí jednotka odběru tekutinových vzorků .....</b>	<b>110</b>
<b>5.1.4 Rozmístění subsystému pro odběr tekutin na platformě MR .....</b>	<b>111</b>
<b>5.2 Představení členů týmu .....</b>	<b>111</b>
<b>5.3 Postup řešení projektu .....</b>	<b>112</b>
<b>5.4 Specifikace zadání .....</b>	<b>113</b>
<b>5.4.1 Jednání s externí společností OKD, HBZS, a.s. ....</b>	<b>114</b>
<b>5.5 Teoretický návrh .....</b>	<b>116</b>
<b>5.5.1 Výpočty specifikační .....</b>	<b>117</b>
<b>5.6 Nákup komponent .....</b>	<b>117</b>
<b>5.6.1 Výběr dodavatele .....</b>	<b>117</b>

5.6.2	Specifikace komponent a objednávky.....	118
5.7	Výroba komponent.....	119
5.7.1	Technologie FDM a systém FORTUS 360mc L.....	120
	• Dělení .....	120
	• Vůle .....	121
	• Tloušťky stěn a pevnost.....	121
	• Tvary a přechody .....	121
5.7.2	Elektronika.....	121
5.8	Montáž celků a předběžné testování.....	122
5.8.1	První fáze montáže a testování.....	122
5.8.2	Druhá fáze montáže.....	123
5.9	Výpočty aplikační a testování celého systému .....	123
5.9.1	Výpočet úbytku tlaku ve vzdušniku a testování .....	123
5.9.2	Postup měření a jeho realizace .....	124
6	ZÁVĚR.....	125

## 1 ÚVOD

Servisní robotika patří k rychle se rozvíjejícím oborům techniky. Je to dáno pokroky v elektronice a elektrotechnice, materiálovém inženýrství a dalších oblastech, jejichž poznatky jsou následně aplikovány při návrzích nejen mechatronických zařízení, k nimž servisní roboty patří. Významnou roli hrají také CAx systémy, s jejichž pomocí je možné vývoj výrazným způsobem urychlit, případně se vyvarovat chybám, jež by mohli výrazným způsobem ovlivnit funkci navrhovaného mechanismu.

Již z prvního odstavce je zřejmé, že návrh zařízení typu servisní robot není triviální záležitostí. Rozsah požadovaných schopností a znalostí nutných k návrhu obdobného zařízení v požadované kvalitě tedy není záležitostí jednoho člověka, ale více lidí tvořících pracovní skupinu, jinak řečeno tým. Složení takového týmu je závislé na konkrétním řešeném úkolu.

V této studii bude popsán postup návrhu dvou subsystémů mobilního robotu ARES, vyvinutého na Katedře robototechniky Fakulty strojní VŠB-TU Ostrava. Prvním z nich je manipulační nástavba umožňující, jak již název napovídá, manipulaci s různými předměty v dosahu mobilního robotu. Druhý subsystém slouží k odebrání kapalných a plyných vzorků z místa zásahu. Je zde předpoklad spolupráce těchto dvou subsystémů, což sebou přináší řadu problémů a omezení, s nimiž je nutné při konstrukčních návrzích počítat.

Studie je rozdělena do čtyř částí, přičemž úvodní tři jsou věnovány manipulační nástavbě. První část, jejímž autorem je Ing. Milan Mihola, Ph.D., je věnována konstrukčnímu návrhu manipulační nástavby a problémům, s nimiž se tým, vytvořený ze zástupců jednotlivých technických oborů, potýkal. Druhá část studie, jejímž autorem je Ing. Ladislav Kárník, CSc., popisuje postup výroby, montáž a další kroky potřebné k převedení konstrukčního návrhu do reálné podoby. Poslední část studie, vztahující se k manipulační nástavbě, je věnována testování navrženého zařízení z pohledu změny polohy sledovaných bodů v závislosti na hmotnosti objektu manipulace a porovnání odměřených hodnot s hodnotami získanými na základě výsledků výpočtů a simulací. Autorem této části je prof. Dr. Ing. Petr Novák. Čtvrtá část studie je věnována subsystému pro odběr kapalných a plyných vzorků. Popisuje postupný vývoj tohoto zařízení od prvotních plánů až do současné podoby. Autorem této části je Ing. Michal Gloger.

## 2 KONSTRUKČNÍ NÁVRH MANIPULAČNÍ NÁSTAVBY

Konstrukční návrh manipulační nástavby je rozdělen do několika částí. Úvod je věnován seznámení s mobilním robotem ARES a jeho stavem v době, kdy začali práce na manipulační nástavbě. Následuje soupis požadavků, které by měla nástavba splňovat. Další část kapitoly je věnována odbornému týmu, jenž se podílí na plnění daného úkolu. Poté již následují vlastní konstrukční návrh manipulační nástavby.

### 2.1 Seznámení s aktuálním stavem mobilního servisního robotu ARES



**Cíl:** Popis mobilního servisního robotu ARES a jeho subsystémů

- ✚ Základní technické parametry robotu ARES
- ✚ Popis dostupných subsystémů
- ✚ Popis plánovaných subsystémů



#### Výklad

Základem mobilního servisního robotu ARES je pásový podvozek řízený smykem. Rozměry podvozku robotu byly navrhovány s ohledem na pohyb v budovách, kde k nejčastěji vyskytujícím se překážkám, ovlivňující rozměry robotu, patří zárubně dveří, resp. jejich šířka. V tomto případě bylo počítáno s minimální vnitřní šířkou zárubní 800 mm a z toho vyplývající maximální šířkou robotu 760 mm. Zbývající rozměry robotu byly navrhovány s ohledem na možnosti pohybu v budovách, překonávání potenciálních překážek a nárokům na prostor potřebný k umístění jednotlivých subsystémů mobilního robotu.



Obrázek 2.1 - Mobilní servisní robot ARES, osazený vodním rozstřelovačem, určeným pro destrukci nástražných výbušných systémů



Tab. 2.1 - Základní technické parametry mobilního servisního robotu ARES

Technické parametry mobilního servisního robotu ARES	
Parametr	Hodnota
Podvozek	pásový (12 neodpružených vodících kol)
Řízení	diferenční (smykem)
Pohon	každý pás hnaný prostřednictvím jednoho kola
Motory	2× DC motor (600 W, 24 V)
Senzory	kamera v přední části
Řídicí systém	dálkové ovládání pomocí PC
Rozměry	1253 mm × 731 mm × 810 mm

Robot byl navržen jako nosič nastavbových modulů, s jejichž pomocí je možné plnit různé servisní úlohy. Z Obrázek 2.1 je možné získat představu o jeho aktuálním stavu v době, kdy započal vývoj manipulační nástavby. V přední části je umístěno zařízení určené k destrukci nástražných výbušných systémů vodním paprskem, kamera a dvojice reflektorů. Vzhledem k tomu, že je rozstřelovací zařízení upevněno k rámu robotu za pomoci tvarově a rozměrově totožné příruby používané k upevnění manipulační nástavby k mobilnímu robotu HERCULES, je možné tuto nástavbu bez dodatečných úprav použít také u pásového robotu ARES.



Obrázek 2.2 - Mobilní servisní robot HERCULES [2.1] osazený manipulační nástavbou se třemi stupni volnosti, dvoučelistovým efektořem a stereovizní kamerovou jednotkou

Manipulační nástavba robotu HERCULES (Obrázek 2.2) disponuje třemi stupni volnosti, což umožňuje plnění manipulačních úloh ve velmi omezené míře. Při jejím testování



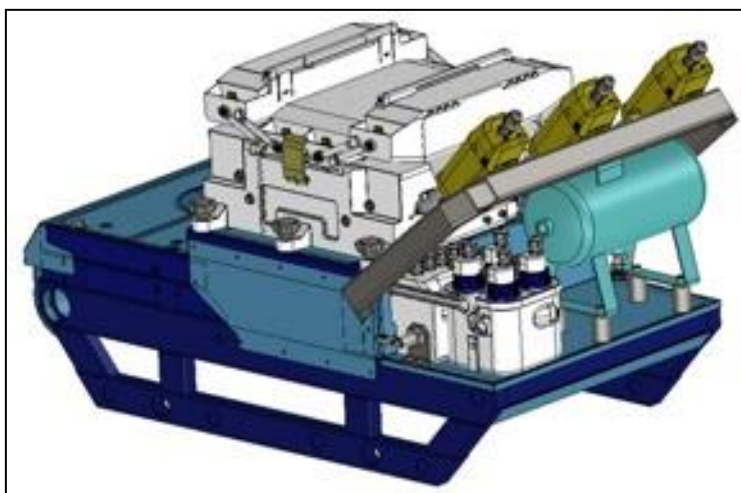
se jako nejvíce kritická jevila nemožnost změny polohy efektoru vůči rameni, k němuž je upevněn. Doplněním této nástavby o minimálně jeden stupeň volnosti právě v místě spojení efektoru s ramenem, by se výrazným způsobem zlepšily manipulační schopnosti tohoto zařízení.

Vzhledem k relativně nízkým výkonům použitých pohonných jednotek byla stanovena nosnost této manipulační nástavby 1,5 kg. Do této hodnoty je potřeba započítat nejen hmotnost objektu manipulace (OM), ale také vlastní hmotnost efektoru. Maximální hmotnost OM se tedy pohybuje v rozmezí 0,75 až 1 kg, což také není v mnoha případech hodnota dostačující. Je zde možnost krátkodobého přetížení pohonných jednotek a tedy dočasného zvýšení nosnosti manipulační nástavby. Toto řešení však sebou přináší riziko poškození, případně zkrácení životnosti jednotlivých komponent pohonných jednotek.

Při návrhu manipulační nástavby pro robot ARES bylo potřeba počítat také s umístěním, resp. provozováním dalších subsystémů. V době zpracovávání podkladů byly známy podrobnější informace pouze k subsystému pro odběr kapalných a plyných vzorků, jehož návrh řešil v rámci nejen své diplomové práce Ing. Michal Gloger [2.2].

Navrhované zařízení má sloužit k automatizovanému odběru vzorků potenciálně nebezpečných kapalin a plynů z míst, v nichž by měl robot provádět požadovanou činnost. Vzhledem k celkovým rozměrům tohoto subsystému (Obrázek 2.3), jeho předpokládanému umístění a požadované součinnosti s navrhovanou manipulační nástavbou byla dána kritéria, která by měla nově navrhovaná manipulační nástavba splňovat:

- Upevnění manipulační nástavby k robotu za pomoci stávající příruby v přední části robotu.
- Velice omezená možnost využití prostoru uvnitř robotu v blízkosti příruby (vychází z rozměrů manipulační nástavby robotu HERCULES).
- Možnost odebírání vzorků v součinnosti se subsystémem pro odběr vzorků.
- Zabránění kolizím mezi jednotlivými subsystémy.
- Konstrukce manipulační nástavby umožňující její složení do stavu vhodnému k pohybu robotu v omezeném prostoru, resp. při přepravě robotu k místu zásahu.






Obrázek 2.3 - Subsystém mobilního robotu pro odběr kapalinových vzorků

Vzhledem k již zmíněným rozměrům subsystému pro odběr vzorků lze předpokládat, že při jeho nasazení by byl robot osazen již pouze nově navrhovanou manipulační nástavbou, případně subsystémy s minimálními nároky na prostor.

## 2.2 Sestavení požadavkových listů



**Cíl:** Sestavení požadavkových listů k jednotlivým částem manipulační nástavby

-  Efektor
-  Nosný subsystém
-  Senzorický, vizuální a komunikační subsystém



### Výklad

Při navrhování různých zařízení se setkáváme s množstvím požadavků, které by měly být splněny. V servisní robotice, resp. v robotice obecně se často setkáváme s požadavky, které není možné současně splnit, případně je možné je splnit pouze částečně za přistoupení k určitým kompromisům. Typickým příkladem je požadavek na minimální deformaci dané komponenty subsystému při zachování minimální hmotnosti, případně momentů setrvačnosti. Toto je možné řešit použitím speciálních materiálů a výrobních technologií. Zde ale často narážíme na požadavek přiměřených finančních nákladů. Je tedy potřeba nalézt optimální řešení v rámci daných požadavků [2.3].

Ať už při návrhu průmyslového robotu nebo manipulační nástavby servisního robotu je vhodné postup prací rozdělit na dvě části. Je to z důvodu množství požadavků kladených na tento typ zařízení. První část bude věnována efektoru, jež má sloužit k úchopu objektu manipulace, případně k provádění požadované technologické operace. Druhá část bude věnována vlastnímu nosnému subsystému manipulační nástavby, ovlivňující pracovní prostor navrhovaného mechanismu [2.3].

### 2.2.1 Požadavkový list - efektor

Efektory v servisní robotice v mnoha případech konstrukčně vycházejí z efektorů používaných v robotice průmyslové. Jsou zde kladeny ale rozdílné požadavky, hlavně z pohledu životnosti, odolnosti vůči působení látek používaných při dané technologii, apod. [2.4]. Oproti tomu je v servisní robotice výrazně vyšší riziko kolize efektoru s prostředím. Také zde chybí informace o vlastnostech objektu, se kterým má být manipulováno, což zvyšuje nároky na stykové plochy efektoru a také riziko jeho poškození v důsledku přetěžování některých částí uchopovacího mechanismu. To vše je potřeba při návrhu zohlednit [2.3].

První verze požadavkového listu vychází ze zkušeností zaměstnanců Katedry robototechniky Fakulty strojní VŠB-TU Ostrava, získaných na základě výsledků testování různých typů efektorů používaných např. na již dříve zmíněném mobilním robotu HERCULES, z požadavků zástupců pyrotechnické jednotky, případně na základě informací získaných z odborné literatury.

Tab. 2.2 - Požadavkový list - efektor

<b>Seznam požadavků vztahující se k efektoru manipulační nástavby</b>	
<b>Parametr</b>	<b>Hodnota</b>
Hmotnost efektoru	do 10 kg
Hmotnost objektu manipulace (OM)	do 10 kg
Počet stupňů volnosti	2 (pohyb čelistí + rotace zápěstí)
Čelisti	výměnné
Rozsah rozevření čelistí	od 0 do 300 mm
Typ pohonů	elektrický (rotační, lineární, ...)
Způsob řízení pohonů	rychlostní nebo momentové, příp. volitelné
Možnost měření uchopovací síly	měření proudu na svorkách pohonné jednotky, speciální tlakové snímače, apod.
Ochrana vůči kapalinám a prachu	možnost provozu za deště a v prostředí se zvýšenou prašností (IP 67)
Ochrana vůči působení tepla	rozsah pracovních teplot od -20 do 60°C, po dobu 1 až 2 minut do 200°C
Kamera	zvážit možnost osazení jako součást efektoru, případně v jeho blízkosti

### 2.2.2 Požadavkový list – nosný subsystém

Při konstrukčním návrhu manipulační nástavby jsou využívány obdobné postupy jako v případě průmyslových robotů. Také v tomto případě se požadavky kladené na nosné subsystémy používané v průmyslové a servisní robotice liší a významným způsobem ovlivňují výsledné konstrukční návrhy. U průmyslových robotů je kladen důraz např. na opakovatelnou přesnost polohování koncového bodu, relativně vysoké hodnoty rychlostí a zrychlení při změnách polohy koncového bodu mechanismu nebo celková tuhost konstrukce ve spojení s minimálními vůlemi v mechanismu [2.4]. Vzhledem k tomu, že úroveň autonomního řízení není v současnosti na takové úrovni, aby robot vykonával manipulační činnosti zcela samostatně, předpokládá se řízení činnosti manipulační nástavby operátorem, resp. obsluhou mobilního servisního robotu. Požadavky kladené na průmyslového robota a uvedené výše tedy nejsou v tomto případě klíčové z důvodu přesnosti polohování koncového bodu mechanismu při dosažitelné přesnosti ovládaní operátorem. Také hodnoty potřebných rychlostí a zrychlení mohou být i řádově nižší. Před vysokou tuhostí nosného subsystému je dáována přednost nižší hmotnosti jednotlivých komponent a tedy nižším nárokům na pohonný subsystém mechanismu [2.3].

Požadavkový list vychází, obdobně jako v případě efektoru, ze zkušeností získaných při testování manipulačních nástaveb různého typu a z informací dostupných v rámci odborné literatury, případně z jiných dostupných zdrojů.

Tab. 2.3 - Požadavkový list - nosný subsystém

<b>Seznam požadavků vztahující se k nosnému subsystému manipulační nástavby</b>	
<b>Parametr</b>	<b>Hodnota</b>
Nosnost subsystému	min. 15 kg (celková hmotnost objektu manipulace a efektoru)
Hmotnost nosného subsystému	do 50 kg
Počet stupňů volnosti	4 až 5
Manipulační dosah	cca 1500 mm od osy příruby
Typ pohonů	elektrický (rotační, lineární, ...)
Způsob řízení pohonů	rychlostní nebo momentové, příp. volitelné
Ochrana vůči kapalinám a prachu	možnost provozu za deště a v prostředí se zvýšenou prašností (IP 67)
Ochrana vůči působení tepla	rozsah pracovních teplot od -20 do 60°C, po dobu 1 až 2 minut do 200°C
Součinnost s dalšími doplňkovými subsystémy robotu (např. s modulem pro odběr kapalných a plynných vzorků)	
Možnost vyložení ramene do vodorovné a svislé polohy	

### 2.2.3 Požadavkový list – senzorický, vizuální a komunikační subsystém

Vzhledem k předpokladu vykonávání požadované činnosti robotu mimo přímou vizuální kontrolu operátora, musí být robot vybaven vhodně navrženou soustavou snímačů, kamer a modulů pro zabezpečení přenosu obrazu, naměřených údajů a vlastní ovládní robotu. Mobilní robot ARES byl v základu vybaven přední kamerou a základními moduly pro bezdrátový přenos obrazu a řídicích povelů. Požadavky kladené na navrhovanou manipulační nástavbu jsou uvedeny v následujících tabulkách.

Tab. 2.4 - Požadavkový list - senzorický subsystém

Seznam požadavků vztahující se k senzorickému subsystému manipulační nástavby	
Parametr	Hodnota
Sledování polohy koncového bodu manipulační nástavby	abs. inklinometry, abs. úhly vzájemného natočení jednotlivých ramen, ...
Sledování stavu pohonných jednotek	hodnota elektrického proudu procházející vinutím motoru, úhlové rychlosti a zrychlení rotoru, ...

Tab. 2.5 - Požadavkový list - vizuální subsystém

Seznam požadavků vztahující se k vizuálnímu subsystému manipulační nástavby	
Parametr	Hodnota
Počet kamer umístěných na manipulační nástavbě	3 (jedna umístěná na efektoru, dvě tvořící systém stereovize)
Počet kamer umístěných na podvozku robotu	2 (přední a zadní)
Stereovize	komerčně dostupné řešení, optimálně Full HD rozlišení

Tab. 2.6 - Požadavkový list - komunikační subsystém

Seznam požadavků vztahující se ke komunikačnímu subsystému manipulační nástavby	
Parametr	Hodnota
Přenos dat	řídící povely, údaje ze snímačů
Přenos obrazu	v jednom okamžiku přenášet obraz ze dvou kamer

### 2.3 Sestavení týmu a způsob komunikace



**Cíl:** Seznámení se členy odborného týmu a způsobem jejich komunikace

- ✚ Seznam členů odborného týmu a jejich odbornost
- ✚ Způsob komunikace mezi členy týmu



## Výklad

Na základě požadavkových listů je možné určit okruhy profesí, jejichž zástupci by se měli podílet na řešení daného úkolu. V tomto případě na konstrukčním návrhu, kinematických, dynamických a pevnostních analýzách, výrobě potřebných dílů, sestavení a oživení manipulační nástavby. Součástí prací je také propojení nově navrženého subsystému s mobilním robotem ARES a doplnění aplikace sloužící k řízení tohoto robotu o podporu nového subsystému. Složení odborného týmu včetně předpokládaného zaměření je uvedeno v následující tabulce.

Tab. 2.7 - Členové odborného týmu

Seznam členů odborného týmu	
Člen odborného týmu	Odbornost, řešená problematika v rámci týmu
Ing. Milan Mihola, Ph.D. Katedra robototechniky – 354 email: <a href="mailto:milan.mihola@vsb.cz">milan.mihola@vsb.cz</a> tel: 597 325 445	konstrukce se zaměřením na robotiku, kinematické, dynamické a pevnostní analýzy, technická dokumentace
Ing. Ladislav Kárník, CSc. Katedra robototechniky – 354 email: <a href="mailto:ladislav.karnik@vsb.cz">ladislav.karnik@vsb.cz</a> tel: 597 324 123	konstrukce se zaměřením na robotiku, kinematické, dynamické a pevnostní analýzy, technická dokumentace, montáž
doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc. Katedra mechanické technologie – 345 email: <a href="mailto:jitka.podjuklova@vsb.cz">jitka.podjuklova@vsb.cz</a> tel: 597 323 117	tepelná ochrana subsystému manipulační nástavby, povrchové úpravy
Ing. Ondřej František, Ph.D. Katedra mechaniky – 337 email: <a href="mailto:ondrej.frantisek@vsb.cz">ondrej.frantisek@vsb.cz</a> tel: 597 323 231	kinematické a pevnostní analýzy
Ing. František Fojtík, Ph.D. Katedra pružnosti a pevnosti – 339 email: <a href="mailto:frantisek.fojtik@vsb.cz">frantisek.fojtik@vsb.cz</a> tel: 597 323 292	kinematické a pevnostní analýzy, tenzometrie
doc. Ing. Renata Wágnerová, Ph.D. Katedra automatizační techniky a řízení – 352 email: <a href="mailto:renata.wagnerova@vsb.cz">renata.wagnerova@vsb.cz</a> tel: 597 324 113	testování 3D modelu manipulační nástavby v prostředí softwaru Matlab/Simulink
doc. Ing. Robert Čep, Ph.D. Katedra obrábění a montáže – 346 email: <a href="mailto:robert.cep@vsb.cz">robert.cep@vsb.cz</a> tel: 597 323 193	zajištění výroby vybraných částí mechanismu

Ing. Marek Sadílek, Ph.D. Katedra obrábění a montáže – 346 email: <a href="mailto:marek.sadilek@vsb.cz">marek.sadilek@vsb.cz</a> tel: 597 324 475	zajištění výroby vybraných částí mechanismu
Ing. et Ing. Mgr. Jana Petru, Ph.D. Katedra obrábění a montáže – 346 email: <a href="mailto:jana.petru@vsb.cz">jana.petru@vsb.cz</a> tel: 597 324 391	ověření reálnosti montáže
Ing. Lenka Čepová, Ph.D. Katedra obrábění a montáže – 346 email: <a href="mailto:lenka.cepova@vsb.cz">lenka.cepova@vsb.cz</a> tel: 597 324 396	metrologie, testování manipulační nástavby z pohledu ohybu, tuhosti, ...
Ing. Ján Banjak Katedra robototechniky – 354 email: <a href="mailto:jan.babjak@vsb.cz">jan.babjak@vsb.cz</a> tel: 597 329 362	elektronika, senzorika, komunikace
Ing. Jaromír Škuta, Ph.D. Katedra automatizační techniky a řízení – 352 email: <a href="mailto:jaromir.skuta@vsb.cz">jaromir.skuta@vsb.cz</a> tel: 597 324 119	elektronika, senzorika, komunikace
Ing. Jiří Kulhánek, Ph.D. Katedra automatizační techniky a řízení – 352 email: <a href="mailto:jiri.kulhanek@vsb.cz">jiri.kulhanek@vsb.cz</a> tel: 597 324 134	elektronika, senzorika, komunikace
Ing. Tomáš Kot, Ph.D. Katedra robototechniky – 354 email: <a href="mailto:tomas.kot@vsb.cz">tomas.kot@vsb.cz</a> tel: 597 329 363	programování, software pro řízení robotu
Ing. Petr Staníček Katedra automatizační techniky a řízení – 352 email: <a href="mailto:petr.stanicek@vsb.cz">petr.stanicek@vsb.cz</a> tel: 597 323 486	softwarová podpora běhu týmu

Tým je tvořen zaměstnanci VŠB-TU Ostrava, což sebou přináší výhody v podobě možnosti využívání jednotné infrastruktury. Pro předávání informací o stavu probíhajících, resp. již ukončených prací byl zvolen e-learningový systém Moodle. Jedná se o systém primárně určený pro výuku studentů, jak již napovídá jeho název. Vzhledem k možnosti omezení přístupu do dané sekce pro vybrané osoby (v tomto případě členy řešitelského týmu), možnosti ukládání dat a dostupnosti diskusního fóra je tento systém vhodný také pro účely týmové práce na daném projektu. Přístup k potřebným informacím je tak omezen pouze uživatelským jménem a heslem daného člena týmu, což umožňuje vykonávat zadané úkoly také mimo prostory školy.

Dalším způsobem předávání informací a konzultování dosažených výsledků jsou schůzky odborného týmu. V počátcích se předpokládala účast kompletního týmu. Poté již jen



schůzky členů zabývajících se daným úkolem, např. konstrukcí efektoru nebo řídicí elektronikou.

## 2.4 Analýza současného stavu řešené problematiky a vlastní konstrukční návrh



**Cíl:** Seznámení s aktuálním stavem v dané oblasti servisní robotiky a návrh vlastního konstrukčního řešení manipulační nástavby

- ✚ Konstrukční řešení obdobných zařízení
- ✚ Návrhy koncepcí efektorů a nosných subsystémů
- ✚ Konkrétní konstrukční návrhy
- ✚ Výsledný návrh manipulační nástavby



### Výklad

V technické praxi se často setkáváme se situací, kdy požadavky kladené na dané zařízení přesahují možnosti současné, běžně dostupné techniky. Případně náklady na realizaci takového zařízení výrazným způsobem přesahují objem finančních prostředků na něj určený. Je tedy vhodné provést analýzu současného stavu řešené problematiky a z ní na počátku vycházet. K nejdostupnějším zdrojům informací patří internetová síť, odborné knihy a články.

Velmi cenné jsou informace získané z vlastního testování a provozu obdobných zařízení. Z tohoto důvodu se analýze současného stavu řešené problematiky věnovali zástupci Katedry robototechniky (Ing. Kárník a Ing. Mihola).

#### 2.4.1 Efektor manipulační nástavby

V případě zařízení typu manipulační nástavba je vhodné začít od koncového členu. V tomto případě tedy efektoru a požadavků kladených na tuto část mechanismu.

U mobilních servisních robotů, disponujících manipulační nástavbou, jsou používány převážně konstrukčně jednoduché dvoučelist'ové efektoru. Na následující obrázku je efektor využívaný u zásahového robotu Telerob [2.5]. Čelisti jsou k nosné části efektoru upevněny pomocí dvojic táhel tvořící paralelogram. Možnost natáčení mechanismu čelistí vůči centrální ose efektoru výrazným způsobem rozšiřuje možnosti manipulace. Kamera s dvojicí reflektorů slouží k přesnějšímu uchopení objektu manipulace při řízení robotu na dálku.

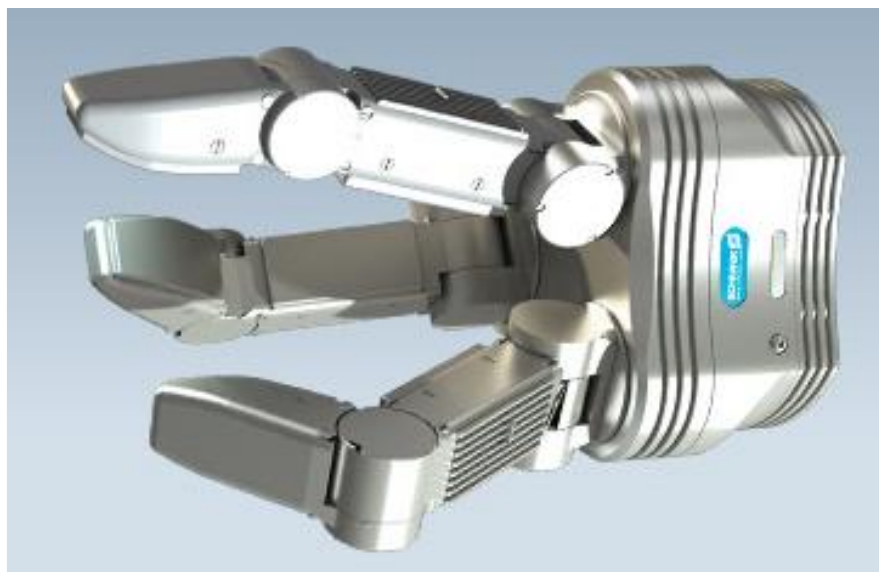


Obrázek 2.4 - Efektor zásahového pásového robotu Telerob

Tab. 2.8 - Základní technické parametry efektoru robotu Telerob [2.5]

<b>Základní technické parametry efektoru robotu Telerob</b>	
<b>Parametr</b>	<b>Hodnota</b>
Maximální hmotnost objektu manipulace	100 kg
Maximální uchopovací síla	600 N
Rozsah rozevření čelistí	od 0 do 300 mm
Rozsah natočení kolem centrální osy	neomezený
Typ pohonů	elektrický

V současnosti jsou vyvíjeny efektor, jejichž konstrukce vychází z principu funkce ruky člověka, resp. jeho prstů. Z pohledu uchopování se jedná o výhodnější řešení než v případě jednoduchého dvoučelistového efektoru. Z konstrukčního hlediska se ale jedná o výrazně složitější mechanismus.



Obrázek 2.5 - Tříprstý efektor společnosti Schunk

Tab. 2.9 - Základní technické parametry efektoru Schunk [2.6]

Základní technické parametry efektoru Schunk	
Parametr	Hodnota
Krouticí momenty v kloubech	2,1 nebo 1,4 Nm
Možnosti řízení	polohy, rychlosti, úchopné síly
Typ pohonů	elektrické (stejnoseměrné napětí 24 V)
Ovládání jednotlivých prstů	nezávislé

V případě efektoru společnosti Schunk (Obrázek 2.5, [2.6]) byly použity pohonné jednotky uzpůsobené pro tento typ aplikace. Při použití běžně dostupných pohonných jednotek by obdobná konstrukce dosahovala rozměrů a hmotnosti výrazně vyšších, než je tomu u klasických dvoučelistových efektorů. Také pořizovací náklady by byly výrazně vyšší. Z tohoto důvodu bylo od této koncepce efektoru upuštěno.

Výsledky analýzy současného stavu v oblasti efektorů používaných nejen v servisní robotice byly představeny odbornému týmu a podrobeny diskuzi. Pozornost byla věnována převážně těmto aspektům:

- Hmotnost efektorů a jejich srovnání s požadavkovým listem**  
 Porovnání efektorů uvedených v rešerších z pohledu hmotnosti je velmi problematické. Ve většině případů nesplňovali požadavek rozevření čelistí v rozsahu od 0 do 300 mm. Jejich rozměry tedy byly výrazně menší a tomu také odpovídala jejich nižší hmotnost. Získání vlastních údajů o hmotnosti jednotlivých efektorů nebylo v některých případech vůbec možné.
- Použití materiálu, jejich dostupnost, možnost výroby jednotlivých dílů**  
 Velmi problematické je také porovnávání použitých materiálů. Ve většině případů tento údaj výrobci neuvádějí vůbec, případně se omezí na velmi široké pojmy typu

ocel, slitina hliníku, slitina titanu, plast, apod. Z pohledu výroby je ve většině případů zřejmá snaha o využití běžně dostupných metod obrábění. Používání sériově vyráběných komponent, případně jejich drobné úpravy výrazným způsobem snižují celkové náklady na výrobu efektoru.

- **Pohonné jednotky, možnost jejich úpravy, způsob řízení síly mezi čelistmi**

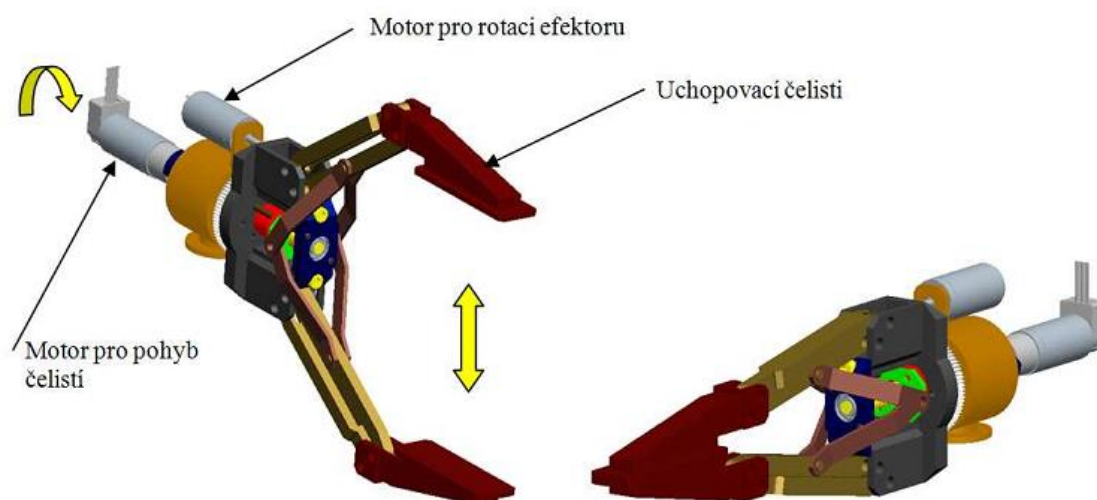
Informace o použitých pohonných jednotkách nejsou ve většině případů dostupné. V některých případech nebylo možné určit ani způsob přenosu síly, resp. krouticího momentu z pohonné jednotky na mechanismus čelistí z důvodu krytování efektoru. Způsob řízení velikosti uchopovací síly tedy bylo možné pouze odhadnout a následně porovnávání by bylo zavádějící z důvodu nedostatku relevantních informací.

- **Možnosti tepelné ochrany**

Ve všech případech se jako nejvhodnější způsob tepelné ochrany jeví návlek, z něhož by do volného prostoru vystupovali pouze čelisti. Je potřeba věnovat pozornost odvodu tepla generovaného vlastní pohonnou jednotkou a elektronikou efektoru, aby po aplikaci tepelné ochrany nedocházelo k jejich přehřívání a s tím spojeným nežádoucím jevům.

Na základě zkušeností z dřívějších projektů, provedených rešerší a diskuze odborného týmu byly provedeny konstrukční návrhy dvoučelistových efektorů klasické konstrukce (Ing. Kárník a Ing. Mihola). Výběr vhodných pohonných jednotek byl konzultován s Ing. Babjakem.

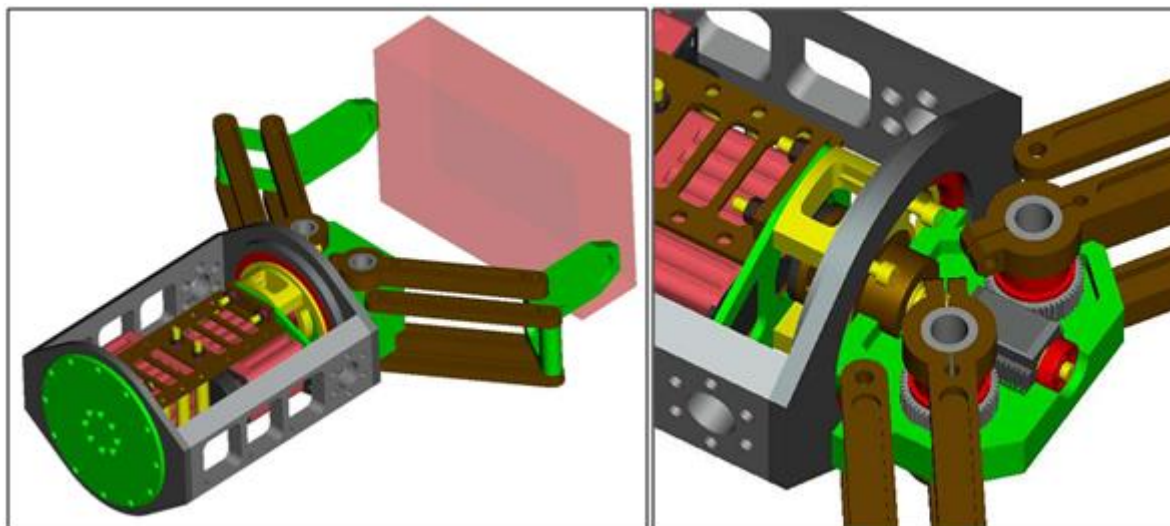
Na Obrázek 2.6 je konstrukční návrh efektoru Ing. Kárníka. Při délce 595 mm, šířce 340 mm a výšce 85 mm je jeho hmotnost 10,5 kg. K pohonu dvou stupňů volnosti (ovládání čelistí, rotace kolem centrální osy efektoru) slouží dvojice elektromotorů s planetovými převodovkami. Určení velikosti uchopovací síly mezi čelistmi je možné na základě měření velikosti proudu protékajícího vinutím příslušného elektromotoru. Až na hmotnost (bude navýšena o díly potřebné k upevnění efektoru k nosnému subsystému a ke krytování) a tepelnou ochranu efektor splňuje požadavky uvedené v Tab. 2.2.



Obrázek 2.6 - Konstrukční návrh efektor (autor Ing. Kárník)

Na následujícím obrázku je konstrukční návrh efektoru Ing. Miholy. Při délce 660mm a šířce 480mm je jeho hmotnost přibližně 15 kg. K pohonu dvou stupňů volnosti slouží

servomotory TORXIS i00600 [2.7] (pro ovládání čelistí je potřeba servopohon upravit pro kontinuální otáčení). Určení velikosti uchopovací síly mezi čelistmi je možné stejně jako v předchozím případě na základě měření velikosti proudu protékajícího vinutím příslušného pohonu. Až na hmotnost a tepelnou ochranu efektor splňuje požadavky uvedené v Tab. 2.2.



Obrázek 2.7 - Konstrukční návrh efektoru (autor Ing. Mihola)

Výsledky provedených prací byly následně prezentovány před odborným týmem. A to včetně srovnání navržených efektorů s požadavkovým listem a poznámkami, jež vyplynuly z předchozí diskuze vztahující se k efektorům uvedeným v řešerších. V obou případech se nepodařilo splnit podmínku hmotnosti efektoru do 10 kg. V obou případech se jedná o efektor založený na pákovém mechanismu a na transformaci krouticího momentu pohonné jednotky na translační pohyb za pomoci pohybového šroubu. Konstrukčně náročnější návrh Ing. Miholy je vyvážen nižšími náklady spojenými s pořízením pohonných jednotek, resp. potřebnou řídicí elektronikou. V obou případech se předpokládá použití tepelné ochrany formou návleku. Navržené varianty efektorů byly ve výsledku označeny jako rovnocenné a vhodné k dalšímu využití při pracích na manipulační nástavbě.

#### 2.4.2 Nosný subsystém manipulační nástavby

Obdobným způsobem jako v případě efektoru bylo postupováno při návrhu nosného subsystému manipulační nástavby. Vzhledem k hmotnosti navržených efektorů je ale oproti původnímu požadavkovému listu potřeba korigovat hodnotu nosnosti z 15 kg na 25 kg. Zbývající požadavky zůstaly zachovány.

Na základě provedených řešerší (Ing. Kárník a Ing. Mihola) mohli členové odborného týmu získat přehled o současných mobilních robotech vybavených manipulační nástavbou, o jejich vlastnostech a možnostech plnit požadované úkoly.

Na Obrázek 2.8 je mobilní pásový robot iRobot 510 PackBot [2.8]. Manipulační nástavba s osmi stupni volnosti a dosahem přesahujícím dva metry má nosnost 4,5 kg. Celková hmotnost nepřesahuje hodnotu 10 kg. Pohonné rotační jednotky a kabeláž jsou umístěny kompletně v nosné konstrukci nástavby. S výjimkou nosnosti a ochrany vůči působení vyšších teplot manipulační nástavba splňuje požadavky uvedené v Tab. 2.3.





Obrázek 2.8 - Mobilní pásový robot iRobot 510 PackBot

Tab. 2.10 - Základní technické parametry manipulační nástavby robotu iRobot 510 PackBot [2.8]

<b>Základní technické parametry manipulační nástavby robotu iRobot 510 Packbot</b>	
<b>Parametr</b>	<b>Hodnota</b>
Nosnost	4,5 kg (při maximálním natažení)
Dosah	2083 mm
Počet stupňů volnosti	8
Typ pohonů	elektrické rotační
Hmotnost manipulační nástavby	9,3 kg
Cena	neuveдена

Manipulační nástavba robotu ASI Chaos Small (Obrázek 2.9) disponuje pravděpodobně pouze třemi stupni volnosti (výrobce tento údaj neuvádí) a jednodušší kinematickou strukturou, než je tomu u konkurenčních zařízení [2.9]. Nosnost této nástavby se již blíží požadované hodnotě. Pohonné jednotky jsou v tomto případě umístěny převážně mimo vlastní nosnou konstrukci manipulátoru. Stejně jako v předchozím případě není manipulační nástavba chráněna vůči působení vyšších teplot.



Obrázek 2.9 - Mobilní pásový robot ASI Chaos Small

Tab. 2.11 - Základní technické parametry manipulační nástavby robotu ASI Chaos Small [2.9]

Základní technické parametry manipulační nástavby robotu ASI Chaos Small	
Parametr	Hodnota
Nosnost	22,7 kg
Dosah	1829 mm
Počet stupňů volnosti	není uveden (pravděpodobně 3)
Typ pohonů	elektrické rotační a lineární, servopohony
Cena	5995 dolarů (USD)

Manipulační nástavby uvedené v rešerších byly opět podrobeny odborné diskusi a jejich vlastnosti byly porovnány s požadavky uvedenými v Tab. 2.3. Pozornost byla věnována převážně těmto aspektům:

- Schopnost plnit požadované úkoly**  
 Požadovanou nosnost samotné manipulační nástavby 25 kg a dosah 1500 mm splňují jen roboty celkově větších rozměrů a hmotností. Ve většině případů disponují jejich manipulační nástavby dostatečným počtem stupňů volnosti a jejich rozsah pohybů umožňuje plnění požadovaných úkolů.
- Prostorové nároky dané nástavby**  
 Nároky na prostor v místě určeném pro upevnění manipulační nástavby k robotu ARES splňují pouze manipulační nástavby nižších nosností do 5 kg. V případě ostatních by již docházelo ke kolizím se subsystémem pro odběr kapalných a plyných vzorků.
- Konstrukční uspořádání jednotlivých částí mechanismů, jejich složitost, výrobní náročnost**



Vzhledem k předpokládané činnosti mobilního robotu ARES je vhodné všechny komponenty manipulační nástavby umístit do těla vlastního nosného subsystému, jako je to v případě robotu iRobot 510 PackBot (Obrázek 2.8). Toto řešení je výhodné také z pohledu jednoduchosti realizace tepelné ochrany, případně dekontaminace robotu po provedení požadovaného úkolu v zamořeném prostředí. Jedná se však zároveň o řešení konstrukčně výrazně složitější z důvodu potřeby vměstnat velké množství komponent do velmi omezeného prostoru.

- **Použité materiály, jejich dostupnost a cena**

Při konstrukci některých manipulačních nástaveb byly použity vysoko pevnostní oceli a slitiny hliníku, karbon a jiné materiály s velmi dobrými pevnostními vlastnostmi při zachování relativně nízké hmotnosti. Vzhledem k dostupnosti těchto materiálů a nákladům na jejich pořízení bylo rozhodnuto o setrvání u běžně dostupných ocelí, slitin hliníku a plastů (možnost využití technologie 3D tisku).

- **Použité pohonné jednotky, jejich umístění, dostupnost, možnosti řízení, cena**

Podrobnější informace o technických parametrech pohonných jednotek nejsou u většiny manipulačních nástaveb k dispozici. V některých případech je uveden výrobce, případně výkon a údaje týkající si napájení. Použití speciálně vyvinutých pohonných jednotek pro danou aplikaci také není výjimečné.

- **Možnosti tepelné ochrany**

Tepelná ochrana manipulační nástavby může být provedena různými způsoby. Od speciálních nátěrů, přes ochranné folie až po návlek, jež by byl na nástavbu nasazen. Volba konkrétního typu ochrany bude závislá na výsledcích jejich testování a na vlastní konstrukci navržené manipulační nástavby.



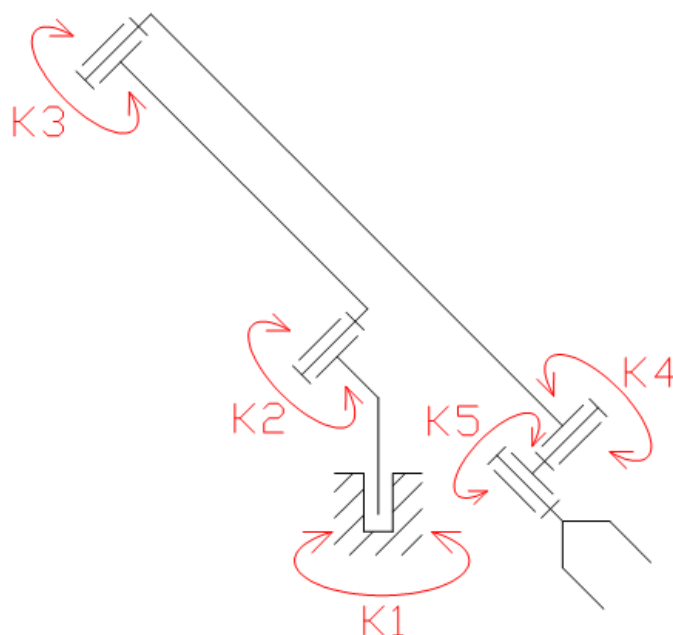
### Důležité informace

Z jednání odborného týmu vplynuly následující poznatky ke konstrukci a průběhu následných prací na návrhu manipulační nástavby mobilního robotu ARES:

- Volba angulární struktury manipulační nástavby s 5 až 6 stupni volnosti (počítáno včetně efektoru).
- Zvážit možnost použití lineárních pohonných jednotek, navržené pohonné jednotky budou konzultovány s Ing. Babjakem.
- Použití běžně dostupných materiálů na bázi oceli a hliníku, rozměry potřebných polotovarů a postupy výroby průběžně konzultovat se zástupci Katedry obrábění a montáže (doc. Čep a Ing. Sadílek).
- Pro konstrukční návrh, kinematické a dynamické analýzy a základní pevnostní analýzy využít CAD systém Pro/ENGINEER Wildfire 5.0 (Ing. Kárník a Ing. Mihola). Pro pokročilejší pevnostní analýzy využít software Ansys Workbench 13 (Ing. František). Výkresová dokumentace bude předávána ve formátech dwg (AutoCAD verze 2000) a pdf (Ing. Kárník a Ing. Mihola).

Na následujícím obrázku je vhodné kinematické schéma navrhované manipulační nástavby. Kloub K5 je již součástí efektorů. Z diskuze v rámci týmu byla navržena možnost

rozšíření nástavby o mechanismus umožňující měnit vzdálenost mezi klouby K3 a K4, tedy možnost rozšíření o další stupeň volnosti.



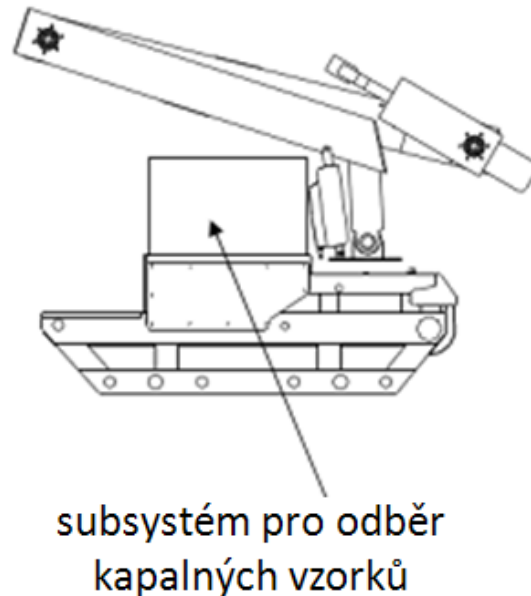
Obrázek 2.10 - Kinematické schéma manipulační nástavby

Na Obrázek 2.11 jsou tři varianty manipulační nástavby představené Ing. Kárníkem. Oproti kinematickému schématu (Obrázek 2.10) jsou všechny tři varianty doplněny o možnost změny vzdálenosti mezi klouby K3 a K4, resp. klouby K2 a K3:



Obrázek 2.11 - Varianty manipulační nástavby představené Ing. Kárníkem

Jedná se o koncepce bez podrobnějšího propracování a výpočtů. Celkový počet stupňů volnosti je ve všech případech 7. Předpokládá se umístění pohonných jednotek přímo v jednotlivých ramenech manipulační nástavby. Výjimkou je kloub nejbližší základny, k jehož ovládní by měla sloužit dvojice lineárních pohonných jednotek. Dosah manipulační nástavby je přibližně 2500 mm. Manipulační nástavba ve složeném stavu, umístěna na mobilní robotu ARES, je naznačena na Obrázek 2.12:



Obrázek 2.12 - Manipulační nástavba ve složeném stavu na mobilním robotu ARES

Navržené koncepce byly stejně jako v případě efektorů podrobeny odborné diskuzi, z níž vyplynuly následující poznatky:

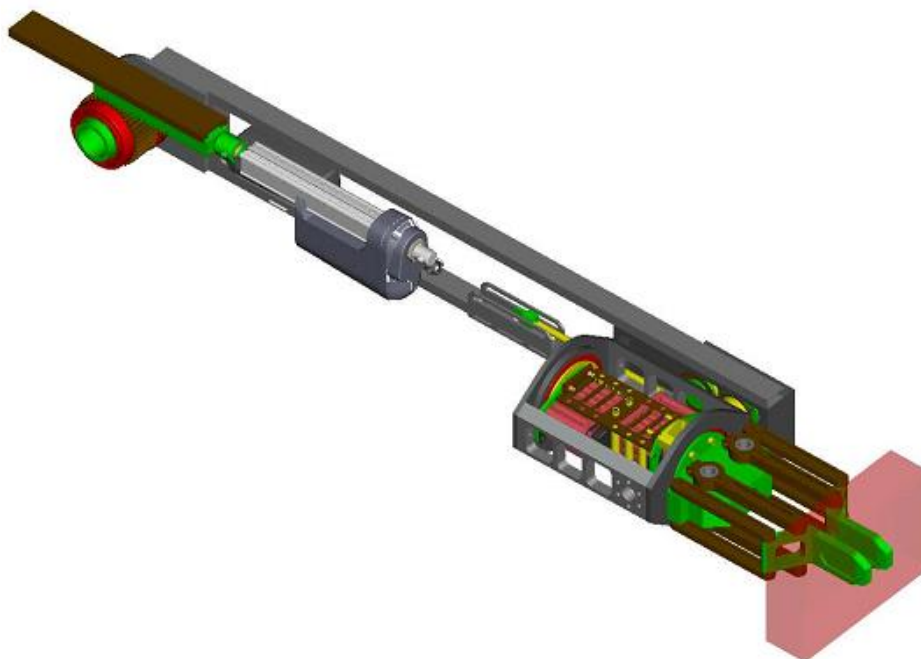
- **Úprava navržené kinematické struktury, rozsahy pohybů a možnosti manipulace**  
Z pohledu manipulace a obsluhy subsystému pro odběr kapalných vzorků se jako výhodnější jeví řešení s translační jednotkou v horní části nástavby. Byla také zvažena možnost manipulační nástavby bez translační jednotky, čímž by došlo ke zjednodušení konstrukce daného ramene a snížení celkové hmotnosti navrhovaného mechanismu. Potřebný výkon pohonných jednotek ve spodní části by poté mohl být také nižší.
- **Rozměry jednotlivých částí mechanismu, použité převodové mechanismy**  
Jedná se pouze o koncepce, tedy návrhy, jak by mohla budoucí manipulační nástavba vypadat. Nejsou známy přesnější rozměry jednotlivých částí nosného subsystému (potřebné průřezy nosných profilů), nároky na převodové mechanismy, potřebné výkony pohonných jednotek, apod. Posouzení z pohledu složitosti konstrukce a použitých materiálů tedy nebylo možné na potřebné odborné úrovni.
- **Ovlivnění možnosti pohybu mobilního robotu ARES**  
Jaký vliv bude mít manipulační nástavba, resp. posunutí těžiště robotu vzhůru (manipulační nástavba ve složené pozici – Obrázek 2.12) na stabilitu robotu při překonávání překážek, při jízdě po schodišti nebo nájezdové rampě, apod. Jaká je možnost převrácení robotu při maximálním vyložení manipulační nástavby směrem dopředu nebo do strany. Tyto otázky nebylo možné zodpovědět opět z důvodů nedostatku relevantních informací.
- **Posouzení pohonných jednotek a dalších částí mechanismu**  
Posouzení navržených pohonných jednotek a dalších částí manipulační nástavby nebylo možné opět z důvodu nedostatku relevantních informací.

- **Možnosti tepelné ochrany**

Vzhledem k předpokládanému umístění většiny potřebných součástí uvnitř nosného subsystému nástavby a povrchu jednotlivých ramen bez výstupků či tvarově náročnějších dílů, by bylo možné velice jednoduše aplikovat různé druhy tepelné ochrany.

Největším nedostatkem představených koncepcí je nedostatek relevantních údajů, bez nichž nebylo možné dotazy vznesené v rámci diskuze odborného týmu adekvátním způsobem zodpovědět.

Na Obrázek 2.13 je návrh manipulační nástavby Ing. Miholy, resp. její horní části končící pohonnou jednotkou kloubu K3. Komponenty, z nichž se navržený mechanismus skládá, byly navrženy a zkontrolovány dle příslušných norem, resp. katalogů výrobců. Pro pohon kloubů jsou použity lineární jednotky společnosti LINAK [2.10]. K transformaci lineárního pohybu na rotační jsou použity soustavy ozubených kol a hřebenů. Hlavním nosným prvkem ramen jsou tenkostěnné trubky ze slitiny hliníku.



Obrázek 2.13 - Varianta manipulační nástavby představená Ing. Miholou

Z následné diskuze odborného týmu vyplynuly následující poznatky:

- **Použití převodové mechanismy a možnosti jejich modifikace**

Transformační mechanismy spolu s pohonnými jednotkami tvoří převážnou část hmotnosti manipulační nástavby. Možnost snížení hmotnosti zvýšením únosnosti ozubených mechanismů změnou navržených materiálů, nitrídováním nebo cementováním. Je potřeba řešit způsob vymezení vůlí v ozubených převodech. Možnost nahrazení navržených převodových mechanismů rotačními pohybovými jednotkami umístěnými přímo v kloubech byla zamítnuta z důvodu jejich rozměrů, hmotnosti a ceny.

- **Výroba jednotlivých dílů, dostupnost polotovarů, konstrukční změny spojů**

Z pohledu výroby a použitých polotovarů nebyly vzneseny podstatnější výhrady. Jen byla navržena možnost náhrady některých šroubových spojů za svařované. Ozubená kola a hřebeny je vhodné nakupovat jako polotovary z důvodu snížení výrobních nákladů, je-li to možné.

- **Posouzení pohonných jednotek**

Navržené pohonné jednotky byly schváleny jako vyhovující jak z pohledu řízení, tak z pohledu napájení.

Členové řešitelského týmu byli následně seznámeni s požadavky kladenými na pohonné jednotky a další komponenty kloubu K2, resp. navazujícího kloubu K1. Na základě předběžných výpočtů a následně provedených konstrukčních návrhů těchto dvou kloubů vyplynul problém s nároky na prostor v dolní části manipulační nástavby, tedy v místě upevnění k robotu ARES. Vlastní rozměry vhodných převodových mechanismů, ať už na stejném principu jako u kloubů K3 a K4 nebo v případě použití planetových, harmonických nebo cykloidních převodovek, výrazným způsobem přesahovali prostor vymezený pro manipulační nástavbu. Došlo by tedy ke kolizi nově navrhovaného subsystému se subsystémem pro odběr vzorků. Na základě hodnoty nosnosti manipulační nástavby a hmotnosti navrženého efektoru vyvstaly stejné problémy také v případě předložených koncepcí Ing. Kárníka. Bylo tedy nutné zvážit, jakým směrem budou další práce na projektu pokračovat. Byly předneseny následující možnosti:

- **Použití materiálů na bázi hořčíku nebo uhlíkových vláken**

Jedná se o materiály s problematičtější dostupností, případně by bylo nutné některé součásti nechat vyrábět u specializovaných firem. Celkové náklady na výrobu by se násobně zvýšily.

- **Posunutí příruby na robotu ARES**

Posunutí příruby do vhodnější pozice, případně jiné výraznější konstrukční úpravy robotu ARES byly zamítnuty z důvodu potřeby výrazné přestavby uspořádání komponent uvnitř mobilního robotu.

- **Úpravou požadavkového listu**

Změnou hodnoty požadované nosnosti manipulační nástavby, případně manipulačního dosahu je možné výrazným způsobem ovlivnit parametry a tedy rozměry pohonných jednotek v kloubech K1 a K2 a tím se vyhnout možným kolizím s dalšími subsystémy.

Řešení v podobě použití materiálů na bázi hořčíku nebo uhlíkových vláken sebou přináší citelné snížení hmotnosti jednotlivých částí manipulační nástavby. Toto snížení však stále není na takové úrovni, aby klouby K1 a K2 nepřicházeli do kontaktu se subsystémem pro odběr vzorků. Úprava stávající konstrukce robotu ARES byla zamítnuta z výše uvedených důvodů. Zbývá tedy poslední možnost v podobě úpravy požadavků kladených na manipulační nástavbu. Na základě diskuze v rámci odborného týmu byly navrženy a odsouhlaseny následující změny:



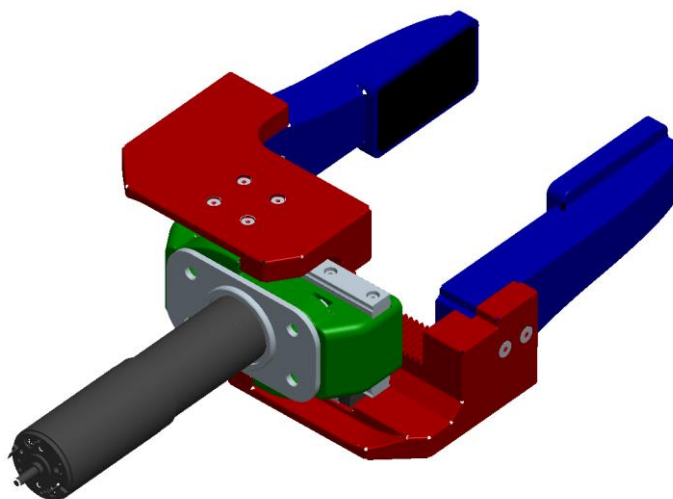
### Důležité informace

- Maximální hmotnost objektu manipulace je snížena na 5 kg (původně 10kg).
- Maximální hmotnost efektoru je snížena na 5 kg (původně 10 kg, na základě konstrukčních návrhů efektorů následně zvýšena na 15 kg).
- Rozsah rozevření čelistí efektoru od 0 do 100 mm (původně od 0 do 300 mm).

#### 2.4.3 Návrh manipulační nástavby dle upraveného požadavkového listu I

Vzhledem k zásadním změnám v požadavcích kladených na navrhovanou manipulační nástavbu nebylo možné použít stávající konstrukční návrhy efektorů, ani další, již spočítané části jednotlivých mechanismů. Bylo tedy nutné vypracovat návrhy nové. Vzhledem k plánovaným termínům ukončení jednotlivých etap projektu, v jehož rámci byla manipulační nástavba navrhována, bylo rozhodnuto o návrhu pouze jedné varianty manipulační nástavby. Práce na novém zařízení byly následně rozděleny mezi autory původních návrhů. Ing. Mihoľa měl navrhovat část od efektoru po kloub K3, Ing. Kárník se měl zabývat konstrukcí kloubů K2 a K1 (dle kinematického schématu, Obrázek 2.10).

Při vlastním konstrukčním návrhu manipulační nástavby dle upravených požadavků bylo postupováno stejným způsobem, jako tomu bylo v předchozím případě. Prvním krokem byl tedy návrh efektoru včetně mechanismu kloubu K5. V rámci jednání odborného týmu byla nastíněna možnost využití konstrukce efektoru původně navrženého pro mobilní robot HERCULES (Obrázek 2.14) jako základ nově navrhovaného efektoru.



Obrázek 2.14 - Efektor původně navržený pro mobilní robot HERCULES

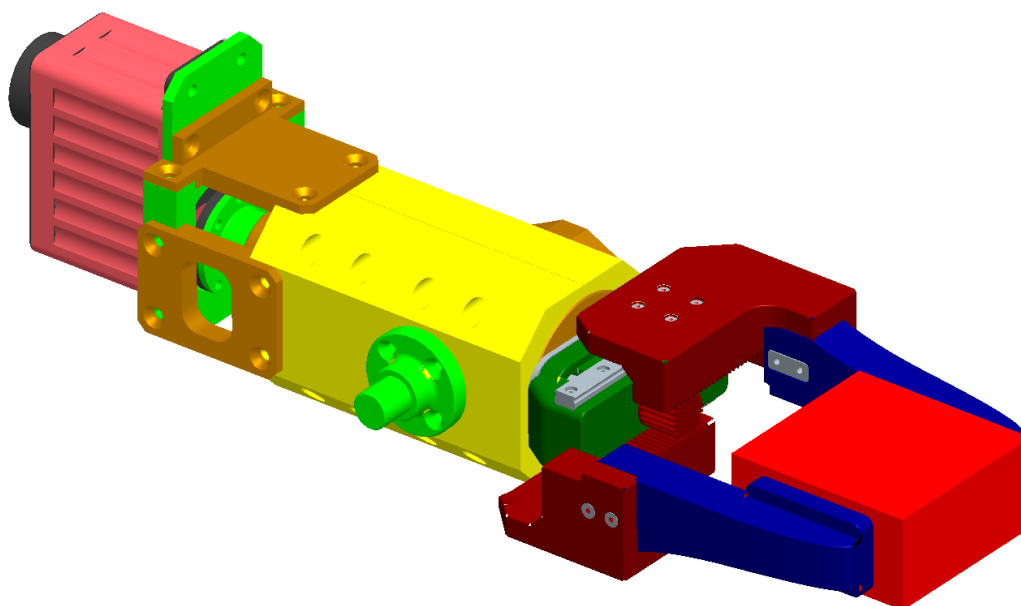
Rotační pohyb výstupní hřídele pohonné jednotky je zde převáděn na translační pohyb čelistí efektoru za pomoci ozubeného kola a dvojice ozubených hřebců. Vzhledem k jednoduchosti toho transformačního mechanismu je možné velmi snadno řídit uchopovací sílu mezi čelistmi regulací velikosti elektrického proudu protékajícího vinutím elektromotoru. Na



výsledné hmotnosti se pozitivním způsobem projevuje použití plastů (technologie 3D tisku) u významné části dílů efektoru.

Z následné diskuze vyplynula potřeba změny materiálu čelistí efektoru z důvodu vykonávání požadované činnosti při teplotách okolního prostředí, až 200 °C. Dále byly diskutovány vlastnosti plastu použitého při 3D tisku z důvodu jeho vyšší křehkosti a celkové náchylnosti ke vzniku trhlin.

Následný konstrukční návrh jednotky (Obrázek 2.15), skládající se z efektoru a kloubu K5, byl výrazným způsobem ovlivněn možnostmi upevnění efektoru ke zbývající části jednotky, prostorem potřebným pro mechanismus rozevírání čelistí a délkou pohonné jednotky efektoru.

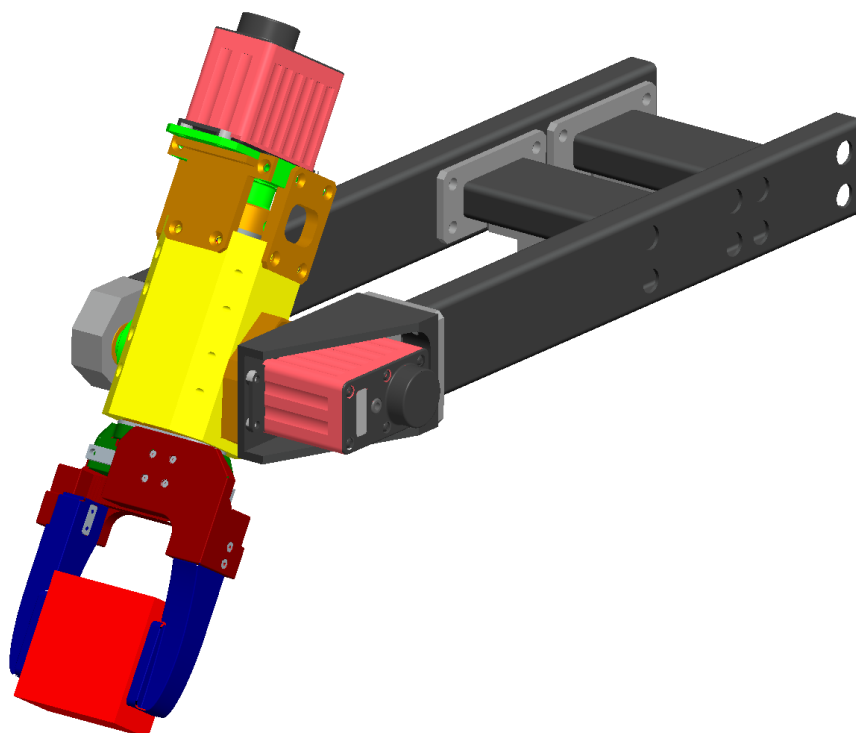


Obrázek 2.15 - Konstrukční návrh jednotky tvořené efektořem a kloubem K5

Také v tomto případě se opakuje situace s nesplněním požadavku týkajícího se maximální hmotnosti efektoru 5 kg, kdy tato hodnota byla překročena přibližně dvojnásobně. Snížení hmotnosti je možné úpravou stávajících dílů, případně použitím jiných materiálů. V tomto případě ale plní vyšší hmotnost jednotky, respektive vyšší hmotnost dílů umístěných v zadní části jednotky, funkci pasivního vyvažovacího systému. Toto řešení umožnilo použití méně výkonné, výrazně menší a lehčí pohonné jednotky pro kloub K4. Ve výsledku se tedy jedná o výhodnější řešení, než v případě maximálního odlehčování jednotky s efektořem a použitím výkonnější pohonné jednotky u následujícího kloubu. Při konstrukčním návrhu bylo počítáno s použitím ochranného návleku. Z tohoto důvodu nebylo řešeno další krytování pohonné jednotky kloubu K5 v zadní části jednotky.

Společně s efektořem byl odbornému týmu představen konstrukční návrh horní části nosného subsystému manipulační nástavby. Na následujícím obrázku je naznačena konstrukce prvního ramene, společně s efektořem a pohonnou jednotkou kloubu K4.





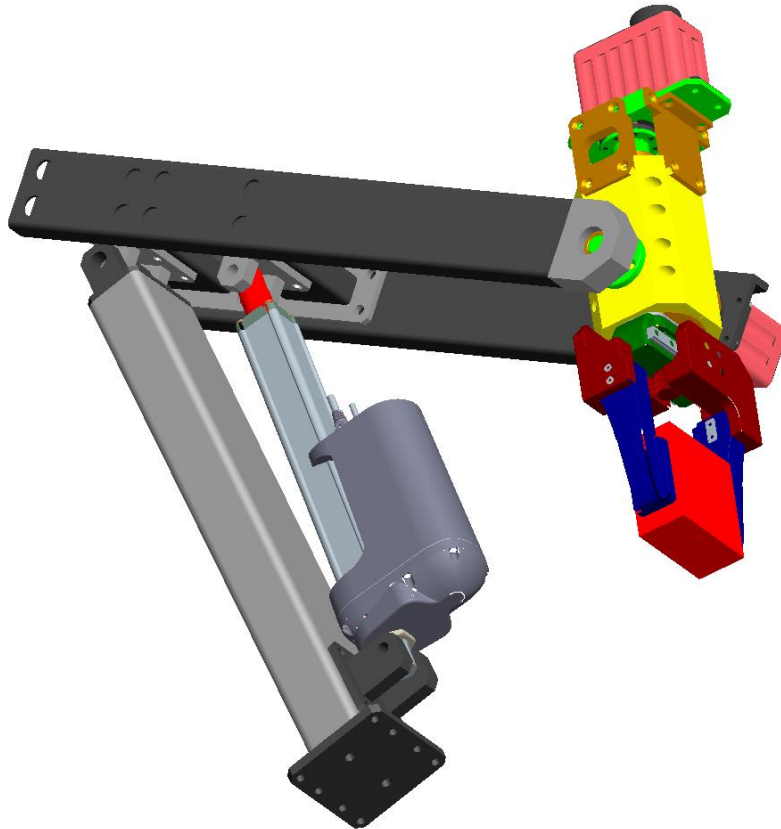
Obrázek 2.16 - Konstrukční návrh prvního ramene, společně s efektořem a pohonnou jednotkou kloubu K4

Nosná část ramene je tvořena tenkostěnnými profily obdélníkového průřezu. Dále jsou v konstrukci použity komponenty vyráběné konvenčními metodami třískového obrábění. Propojení jednotlivých částí bude realizováno za pomoci technologie svařování nebo šroubových spojů.

Pohon kloubu K4 je realizován za pomoci servomotoru TORXIS i00600 (stejný typ pohonné jednotky je použit také v případě kloubu K5, [2.7]), který v běžně dostupné konfiguraci umožňuje natáčení v rozsahu  $\pm 90^\circ$ , což je pro danou aplikaci dostačující. Také hodnota jmenovitého krouticího momentu 11,3 Nm je dostačující.

Druhé rameno se skládá z jediného nosného profilu a tří obráběných dílů, kdy jeden z dílů tvoří zároveň přírubu pro upevnění horní části manipulační nástavby k části navrhované Ing. Kárníkem.

Natáčení kloubu K3 je realizováno za pomoci lineární pohonné jednotky LINAK LA 36 [2.10] se zdvihem 0 až 300 mm a maximální tahovou/tlakovou silou 10 000N. Z pohledu maximálních sil je navržena jednotka výrazně předimenzovaná, ale nižší řady těchto jednotek již nejsou schopny dosáhnout potřebných sil.

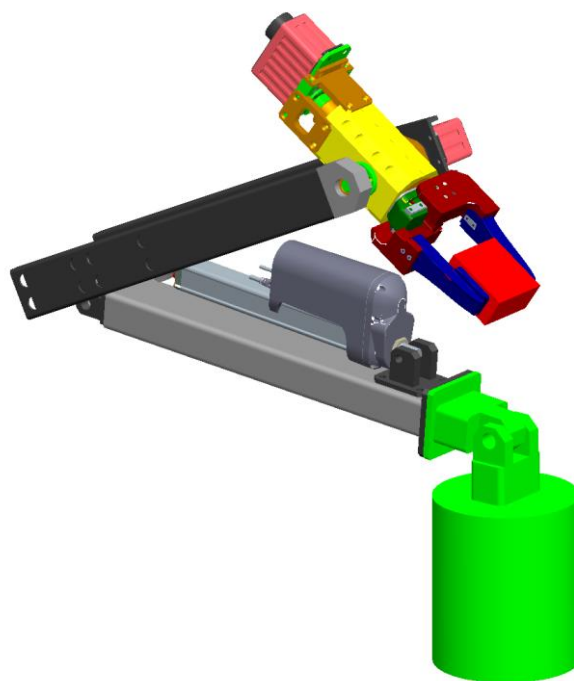


Obrázek 2.17 - Návrh druhého ramene s lineární jednotkou pro pohon kloubu K3

Konstrukční návrh byl prezentován a následně podroben odborné diskuzi, stejně jako tomu bylo v předchozích případech. Pozornost byla věnována následujícím tématům:

- **Použité materiály a jejich dostupnost**  
Vzhledem k malému množství odebíraného materiálu je potřeba zjistit jeho reálnou dostupnost. Byla zvažována možnost použití ocelových profilů menších průřezů místo profilů ze slitiny hliníku. Jaký vliv by to mělo na celkovou hmotnost horní části manipulační nástavby.
- **Způsob spojení jednotlivých dílů ramen manipulační nástavby**  
Byly diskutovány důvody použití šroubových spojů a možnost jejich nahrazení svarovými spoji, výhody a nevýhody jednotlivých řešení. Jaké by bylo nutné provést konstrukční změny v aktuálním návrhu.
- **Pohonné jednotky a rozsah pohybů**  
Z pohledu řízení nebyly k navrženým pohonům vzneseny žádné výtky. Pohonná jednotka kloubu K4 (servomotor TORXIS) neobsahuje brzdu, po celou dobu manipulace by tedy musela být napájena.
- **Způsob tepelné ochrany robotu**  
Komplikovanější aplikace tepelné ochrany z důvodu použití lineární pohonné jednotky (výsuvná funkce a umístění mimo nosnou konstrukci).

Na následujícím obrázku je horní část manipulační nástavby doplněna o velmi zjednodušený návrh spodní části, jejíž konstrukční návrh měl vypracovat Ing. Kárník. Spodní válcová část reprezentuje prostor, do něhož bylo nutné vměstnat všechny komponenty kloubů K2 a K1, aby nedocházelo ke kolizi manipulační nástavby se subsystémem pro odběr kapalných vzorků.



Obrázek 2.18 - Naznačení volného prostoru pro spodní část manipulační nástavby

V rámci jednání odborného týmu Ing. Kárník představil dvě konstrukční varianty kloubu K2. První varianta byla postavena na základě dvojice lineárních pohybových jednotek, stejně jako tomu bylo v případě koncepcí představených v úvodu řešení tohoto projektu (Obrázek 2.11). Jedná se o řešení konstrukčně jednoduché, u něhož nehrozí z důvodu nadměrných rozměrů možné kolize s dalšími subsystémy umístěnými na robotu. Také z pohledu pořizovacích nákladů se jedná o výhodné řešení. Problematickým je ovšem nedostatečný rozsah pohybu řešeného kloubu, čímž je výrazným způsobem omezen pracovní prostor robotu a tedy jeho možnosti při plnění požadovaného úkolu.

Druhá varianta byla postavena na základě harmonické převodovky a diskového rotačního elektromotoru. Jedná se stále o konstrukční řešení relativně jednoduché, ale z pohledu finančních nákladů je již situace výrazně horší. Také rozměry pohonné jednotky s potřebnými parametry zasahují do prostoru subsystému pro odběr vzorků. Vyskytuje se zde tedy stejný problém, jako v případě návrhů provedených před úpravou požadavkových listů.

Obě varianty byly podrobeny diskuzi v rámci odborného týmu. Druhá varianta byla zamítnuta bez podrobnější diskuze z důvodu celkových rozměrů kloubů přesahujících povolený zástavbový prostor. V případě varianty první byla diskuze věnována pracovnímu prostoru takto navržené manipulační nástavby, resp. možností obsluhy subsystému pro odběr vzorků. Z následné kinematické analýzy vyplynulo, že možnosti manipulace by byly omezeny nad únosnou mírou a tedy ani toto konstrukční řešení není vhodné.



### Důležité informace

Na základě doposud provedených prací bylo možné učinit následující závěry:

- Nejvíce problematickým místem manipulační nástavby je kloub K2, resp. prostor, do kterého je potřeba kompletní mechanismus vměstnat, aby nedocházelo ke kolizi se subsystémem pro odběr vzorků.
- Použití lineárních pohonných jednotek v případě kloubu K2 není vhodné z důvodu nedostatečného rozsahu pohybů takto navrženého kloubu (je požadováno natáčení v rozsahu větším než 180°).

Ze zkušeností získaných při předchozích konstrukčních návrzích, byl v rámci řešitelského týmu navržen následující postup prací:

- Pro pohon kloubu K2 bude navržena rotační pohonná jednotka (z důvodu požadovaného rozsahu pohybu daného kloubu).
- Dle katalogů výrobců se nejprve určí vhodný typ převodovky (z pohledu rozměrů nejdůležitější část rotační pohonné jednotky) a na základě jejich parametrů navrhnout úpravu požadavků vztahujících se k maximální hmotnosti objektu manipulace, resp. k nosnosti manipulační nástavby.
- Na základě upraveného požadavkového listu provést konstrukční návrh manipulační nástavby.

Na základě analýzy předchozích konstrukčních návrhů efektorů, resp. jednotek složených z efektoru a kloubu K5 vyplynulo, že převážná část hmotnosti tohoto členu manipulační nástavby připadá na spojení těchto dvou částí a na vlastní konstrukci kloubu K5. Efektor se na celkové hmotnosti podílí přibližně z jedné třetiny. Členům řešitelského týmu tedy byla předložena možnost odstranění kloubu K5 z původního kinematického schématu manipulační nástavby (Obrázek 2.10). Toto řešení sebou přináší určité omezení možností manipulace a uchopování objektů v rámci plnění požadovaného úkolu, ale z pohledu celkových vlastností mobilního robotu je odstranění kloubu K5 výhodné.

Na základě předběžných výpočtů vycházejících ze zvolené harmonické převodovky pohonné jednotky kloubu K2, rozsahu pohybu manipulační nástavby a odhadu hmotností jednotlivých částí nosného subsystému byly upraveny následující požadavky:



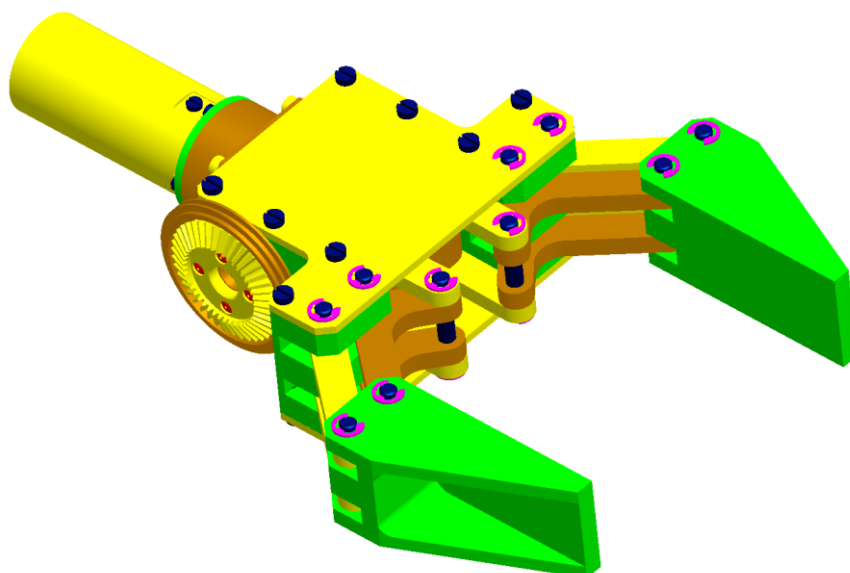
### Důležité informace

- **Maximální hmotnost objektu manipulace je snížena na 2 kg (původně 10 kg, resp. 5 kg).**
- **Maximální hmotnost efektoru je snížena na 2 kg (původně 10 kg, resp. 5 kg).**
- **Úprava kinematického schématu (odstranění kloubu K5).**

#### 2.4.4 Návrh manipulační nástavby dle upraveného požadavkového listu II

Vzhledem k termínům vztahujícím se k řešení tohoto projektu byl kompletní konstrukcí pověřen již pouze Ing. Mihola. Ing. Kárník se začal věnovat přípravě vlastního mobilního robotu ARES.

Postup prací byl stejný jako v předchozích případech. Na základě upravených požadavků byl nejprve proveden konstrukční návrh efektoru. K transformaci rotačního pohybu pohonné jednotky na pohyb čelistí byl využit jednoduchý pákový mechanismus v kombinaci s trapézovým pohybovým šroubem. Požadovaná poloha čelistí efektoru byla zajištěna doplněním pákového mechanismu efektoru paralelogramem. Výsledná hmotnost efektoru činí 1,68 kg (včetně kuželového ozubeného kola patřícího k převodovému mechanismu kloubu K4). Byla tedy splněna jedna z pozměněných podmínek požadavkového listu. Rozsah rozevření čelistí se pohybuje v rozmezí od 0 do 120 mm, čímž byla splněna další podmínka požadavkového listu.



Obrázek 2.19 - Konstrukční návrh efektoru

V rámci jednání odborného týmu vyvstali následující poznatky:

- **Relativně vysoká robustnost konstrukce**  
Na základě pevnostních analýz provedených v prostředí software Pro/ENGINEER Wildfire 5 vyplynulo, že jednotlivé navržené součásti efektoru jsou dimenzovány na přibližně trojnásobné zatížení. Jejich úpravou by bylo možné citelným způsobem snížit výslednou hmotnost efektoru.
- **Možnost náhrady trapézového šroubu kuličkovým**  
U kuličkového šroubu je tření řádově nižší než v případě šroubu s klasickým trapézovým závitem. Účinnost převodu by tedy byla vyšší a bylo by možné použít méně výkonnou a tedy menší a lehčí pohonnou jednotku.
- **Použití plastů v konstrukci efektoru**

Při konstrukci efektoru bylo počítáno s použitím materiálů na bázi oceli nebo slitiny hliníku. Při použití plastů (technologie 3D tisku) by bylo možné snížit hmotnost efektoru o přibližně 20 až 30 procent.

- **Typ použité pohonné jednotky**

Pohonná jednotka se skládá z rotačního elektromotoru a planetové převodovky. Při návrhu potřebné elektroniky je potřeba počítat se jmenovitým napětím elektromotoru 6 V.

Při manipulaci s daným objektem hrozí zvýšené nebezpečí kolize. V tomto okamžiku by došlo k výraznému zvýšení namáhání jednotlivých částí mechanismu a mohlo by dojít k jejich poškození a tedy vyřazení efektoru, resp. manipulační nástavby z provozu.

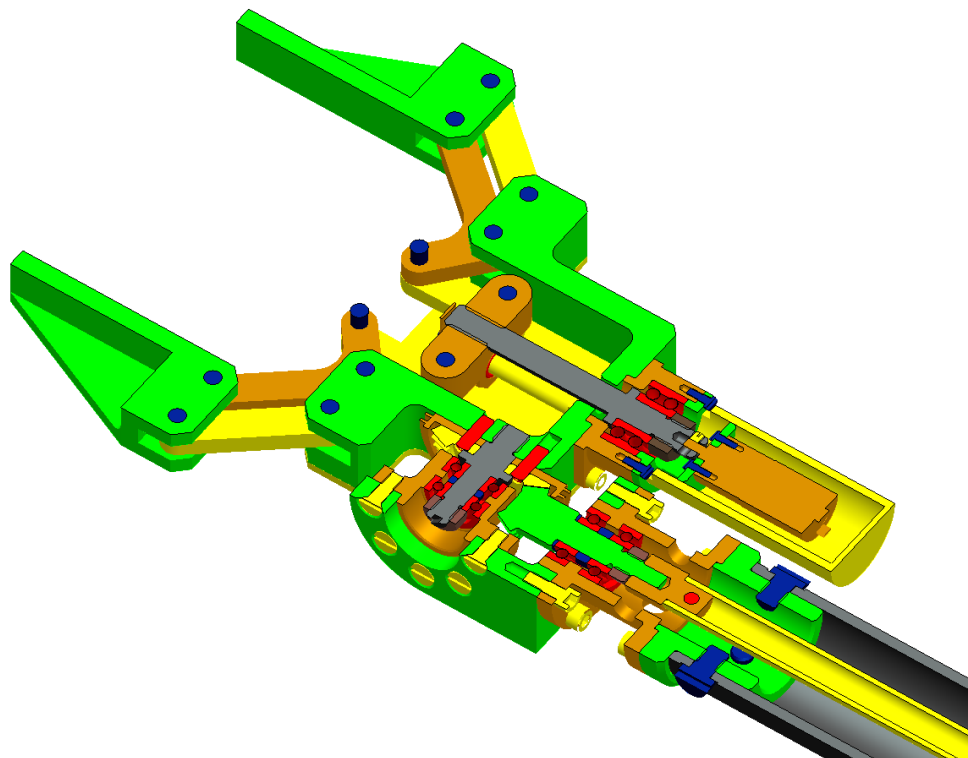
Výměnou původního trapézového šroubu za kuličkový by sice došlo ke zvýšení účinnosti dané části mechanismu, ale celkové rozměry a hmotnost efektoru by byly výrazně větší, než je tomu u současného konstrukčního řešení. Také samosvornost navrženého trapézového šroubu zároveň působí jako bezpečnostní element v případě výpadku elektrické energie nebo poruchy pohonné jednotky.

Použitím plastů místo původně navržených materiálů na bázi oceli nebo hliníku by došlo ke snížení výsledné hmotnosti efektoru. V případě použití navrhované technologie 3D tisku jsou však vyrobené díly relativně křehké a náchylné ke vzniku trhlin. Z těchto důvodů, bylo od použití dílů vyráběných za pomoci 3D tisku upuštěno.

I přes uvedené výhrady odborného týmu byl ponechán konstrukční návrh efektoru bez významnějších změn z důvodu vyšší robustnosti konstrukce a tedy větší odolnosti celého mechanismu proti poškození v případě kolizí s jinými objekty.

Kloub K5 byl z původního kinematického schématu (Obrázek 2.10) odstraněn. Další konstrukční práce tedy pokračovali u kloubu K4. Část jeho převodového mechanismu je možné vidět v podobě kuželového ozubeného kola na obrázku efektoru výše.

Na následujícím obrázku je již řez mechanismu efektoru společně s kloubem K4.



Obrázek 2.20 - Řez konstrukcí efektoru a kloubu K4

Konstrukce tohoto kloubu vychází z použití kuželového ozubeného soukolí, jehož kolo je za pomoci kolíků a šroubového spojení upevněno k efektoru. Pastorek je součástí hřídele, na níž je za pomoci duté hřídele přenášén krouticí moment z pohonné jednotky umístěné na opačném konci trubky, tvořící hlavní nosný prvek prvního ramene. Spojení kloubu s ramenem je realizováno za pomoci příruby a šroubů. Rozměry jednotlivých částí navrženého mechanismu byly navrženy dle příslušných norem a katalogových listů výrobců použitých komponent [2.11], [2.12]. Z diskuze odborného týmu vyplynuly následující poznámky ke konstrukčnímu návrhu kloubu K4:

- **Výroba ozubených kol, použité materiály, možnosti zušlechtění, způsob vymezení vůlí**  
Použitím ozubených kol dodávaných jako polotovary by bylo možné snížit náklady na výrobu. Při použití vysokopevnostních materiálů, případně při využití technologií kalení nebo cementování, by bylo možné zmenšit rozměry navrženého soukolí a tedy celkovou hmotnost mechanismu. Možnost vymezení vůlí ozubeného kuželového soukolí za pomoci distančních kroužků je náročnější z pohledu montáže, resp. potřeby opakované montáže a demontáže.
- **Náročnost výroby jednotlivých částí mechanismu**  
Tvarová náročnost některých částí vyžaduje použití počítačově řízených obráběcích strojů, což výrazným způsobem zvyšuje výrobní náklady. Možnost použití plastů a technologie 3D tisku při výrobě těchto dílů.
- **Přesunutí pohonné jednotky do kloubu K4**



Nahrazení celého mechanismu kloubu K4 pohonnou jednotkou (obdoba řešení na Obrázek 2.16). Případně posunutí stávající pohonné jednotky blíže k mechanismu kloubu.

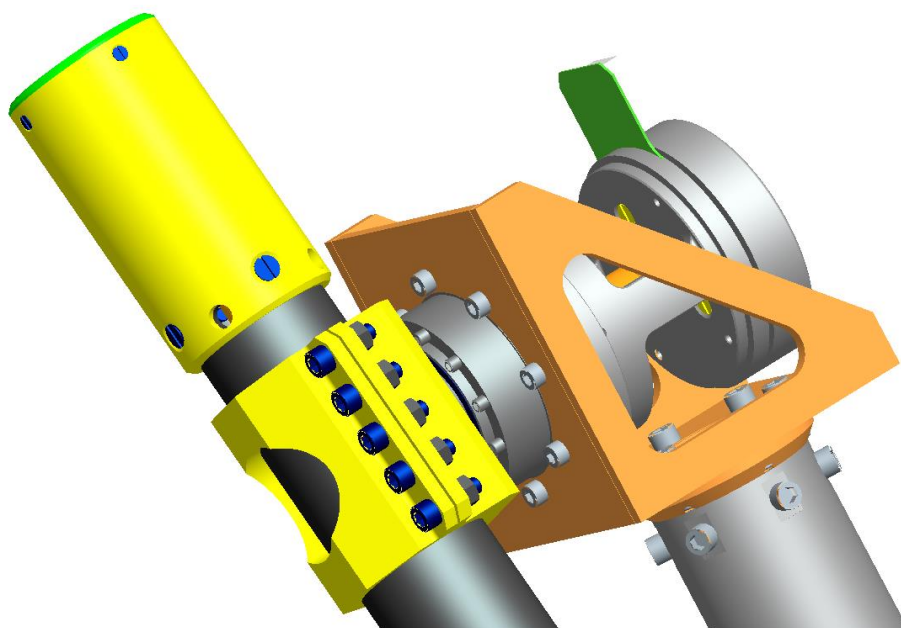
Parametry ozubených kol byly optimalizovány na základě přenášených krouticích momentů, dostupných pohonných jednotek a rozměrů zbývajících částí mechanismu. Vhodná ozubená kola v podobě dostupných polotovarů nebyla v době návrhu k dispozici. Zmenšení rozměrů ozubeného soukolí použitím lepších materiálů, případně zušlechtním stávajícího materiálu je sice možné, ale vzhledem k celkové rozměrové optimalizaci navrženého mechanismu nepřináší tato úprava patřičný efekt.

Jednotlivé části kloubu K4 byly navrženy s ohledem na co nejmenší rozměry a hmotnost při zachování dostatečné tuhosti a robustnosti celé soustavy. Úprava některých částí z důvodu zjednodušení výroby by znamenala nárůst celkových rozměrů a hmotnosti kloubu. Použití plastů a technologie 3D tisku při výrobě těchto dílů není vhodná jak z již dříve uvedených důvodů (vyšší křehkost používaného materiálu a náchylnost ke vzniku prasklin), tak z důvodu nedostatečné pevnosti tohoto materiálu.

Nahrazení mechanismu kloubu servomotorem TORXIS je možné. Z pohledu požadovaných krouticích momentů a rozsahu pohybu kloubu splňuje tato jednotka kladené požadavky. Rozměry a hmotnost této jednotky jsou již podstatně větší, než je tomu u navrženého mechanismu, což by se negativním způsobem podepsalo na rozměrech následujících kloubů. Úprava stávajícího mechanismu přesunutím pohonné jednotky do blízkosti kloubu K4 by přineslo určité zjednodušení vlastní konstrukce. Hmotnost přesunutě pohonné jednotky by se však negativně podepsala na rozměrech následujícího kloubu, stejně jako v případě použití servomotoru TORXIS.

Konstrukční úpravy kloubu K4 navržené v rámci jednání odborného týmu tedy nebyly akceptovány z důvodu dosažení horších parametrů, než je tomu v případě původního konstrukčního řešení.

Na následujícím obrázku je detail kloubu K3. Upevnění prvního ramene je realizováno za pomoci speciální příruby se svěrným spojem. Ve válcové části na konci tohoto ramene je umístěna výše zmíněná pohonná jednotka kloubu K4.



Obrázek 2.21 - Detail kloubu K3 manipulační nástavby

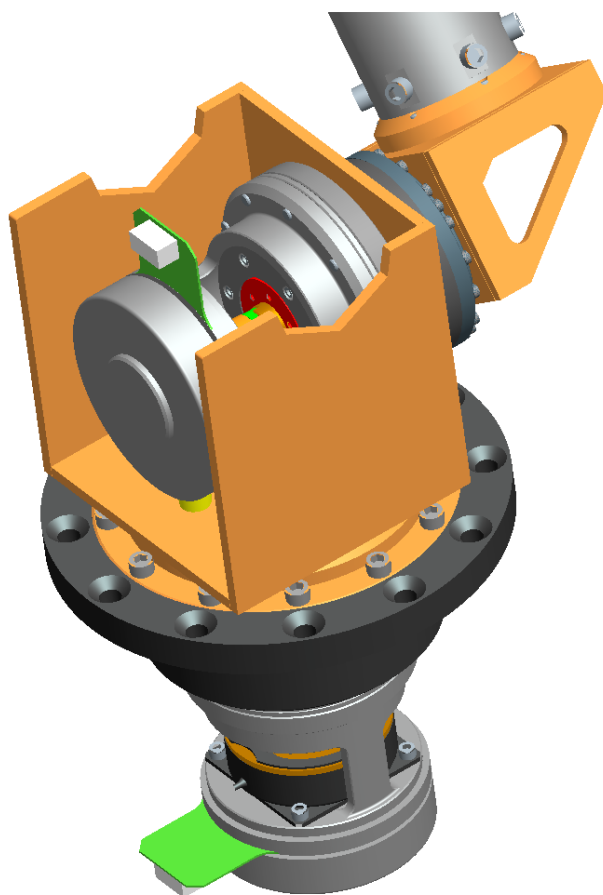
Základním nosným prvkem kloubu K3 je svařenec s bočními výztuhami trojúhelníkového tvaru, který je za pomoci příruby a šroubů upevněn ke druhému ramenu manipulační nástavby. Uvnitř tohoto svařence je vsazena pohonná jednotka kloubu K3. Tato jednotka konstrukčně vychází z pohonné jednotky vyvinuté pro manipulační nástavbu mobilního robota HERCULES (Obrázek 2.2). Jejími hlavními prvky jsou převodová jednotka CSG-20-160-2UH společnosti Harmonic Drive AG [2.13] a diskový elektromotor EC90 Flat 60W společnosti Maxon Motor AG [2.14]. Jmenovitý výstupní krouticí moment o velikosti přibližně 45 Nm je dostačující pro danou aplikaci. Také maximální výstupní otáčky 6,6 ot/min jsou dostačující pro ovládání manipulační nástavby operátorem na dálku. Z diskuze k této části manipulační nástavby vyplynuly následující poznámky:

- **Způsob spojení prvního ramene s kloubem K3**  
Navržené svěrné spojení je výrobně relativně náročné. Vyšší náročnost montáže, resp. demontáže spoje.
- **Možnost změny materiálů u jednotlivých dílů**  
Změnou materiálů dosáhnout nižší hmotnosti navrženého mechanismu a tím dosáhnout nižších nároků na pohonnou jednotku kloubu K2. Snížení výrobních nákladů použitím jiných technologických postupů.
- **Možnosti blokování pohybu kloubu**  
Pohonná jednotka neobsahuje brzdu. Udržení požadované polohy je dosaženo za pomoci elektromotoru, resp. jeho řízením.

Vzhledem k použitému profilu nosné trubky prvního ramene a využití jejího vnitřního prostoru je navržené svěrné spojení nejjednodušším způsobem upevnění ramene ke kloubu K3, resp. k jeho pohonné jednotce.

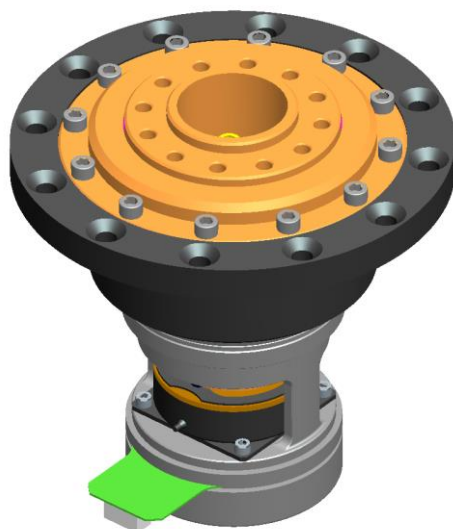
Změna materiálů v případě komponentů podílejících se významněji na celkové hmotnosti této části mechanismu není možná z důvodu nedostatečných pevností náhradních materiálů. Toto tvrzení bylo doloženo výsledky pevnostních analýz provedených v prostředí simulačního softwaru Pro/ENGINEER Wildfire 5.

Původní pohonná jednotka manipulační nástavby robotu HERCULES, z níž tato jednotka vychází, obsahovala brzdu. Tato se však při provozu neosvědčila. Rozměrově a funkčně vhodná náhrada této brzdy nebyla v době konstrukčního návrhu k dispozici. Došlo tedy alespoň ke zmenšení původní pohonné jednotky o prostor vyčleněný původně pro tento díl.



Obrázek 2.22 - Detail kloubů K2 a K1 manipulační nástavby

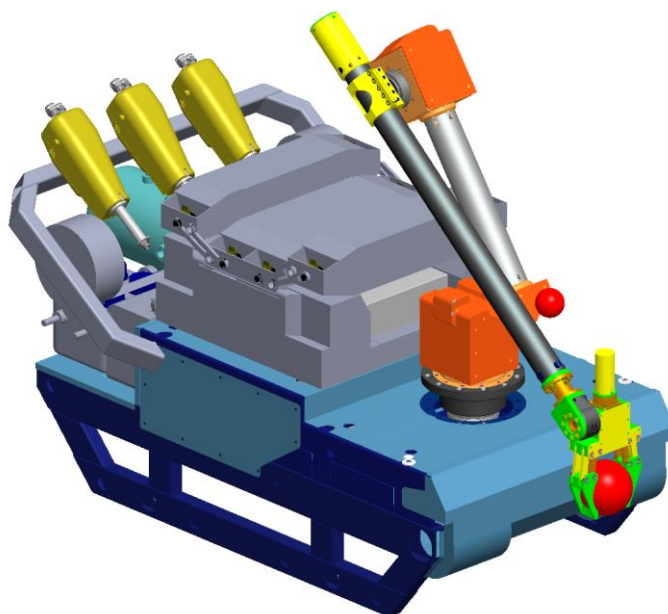
Kloub K2 (Obrázek 2.22) je z konstrukčního hlediska obdobou kloubu K3. Základním nosným prvkem je opět svařenec. Druhý svařenec slouží k připojení horní části manipulační nástavby k tomuto kloubu. Pohonná jednotka se oproti jednotce použité v kloubu K3 liší převodovou jednotkou vyšší řady CSG-25-160-2UH od stejného výrobce [2.13]. Spojení tohoto kloubu s následujícím kloubem K1 (Obrázek 2.23) je následně realizováno za pomoci tvarového spojení a dvanácti šroubů.



Obrázek 2.23 - Detail kloubu K1 manipulační nástavby

Z konstrukčního hlediska je kloub K1 složitější, než tomu bylo v předchozích dvou případech. Jedná se o obdobu kloubu používaného u manipulační nástavby robotu HERCULES. Rozdíl je v pohonné jednotce upravené stejným způsobem, jako tomu je u kloubu K3.

3D model podvozku mobilního servisního robotu ARES, osazený navrhovanou manipulační a subsystémem pro odběr vzorků, je na následujícím obrázku. Z pohledu nosnosti a rozsahu rozevření čelistí efektoru byly splněny parametry uvedené v požadavkovém listu. Maximální dosah nástavby o velikosti 1305 mm je již ale menší, než bylo původně požadováno. To je dáno nedostupností pohonné jednotky pro kloub K2 s dostatečnými silovými parametry při zachování přijatelných rozměrů.



Obrázek 2.24 - Podvozek mobilního robotu ARES osazený manipulační nástavbou a subsystémem pro odběr vzorků

Pro spojení manipulační nástavby s podvozkem robotu bude potřeba vyrobit distanční člen, jehož výška se bude odvíjet od přesnějších rozměrů dalších subsystémů.

## 2.5 Pevnostní analýza manipulační nástavby metodou konečných prvků



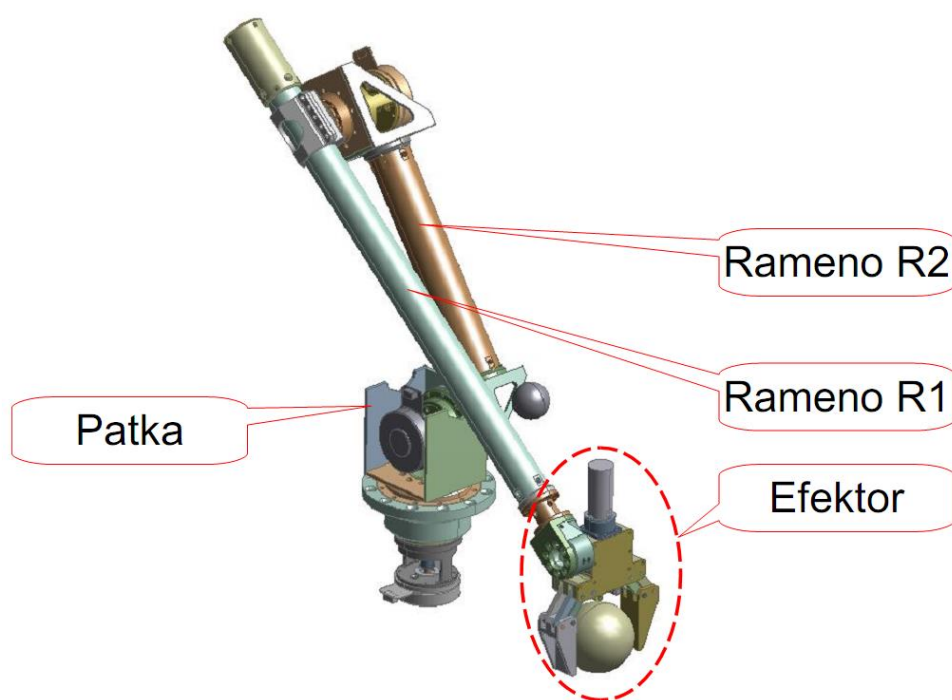
**Cíl:** Analýza navržené manipulační nástavby v prostředí simulačního softwaru Ansys Workbench 13

- + Pevnostní analýza jednotlivých částí navrženého mechanismu
- + Zhodnocení dosažených výsledků
- + Zvážení konstrukčních úprav



### Výklad

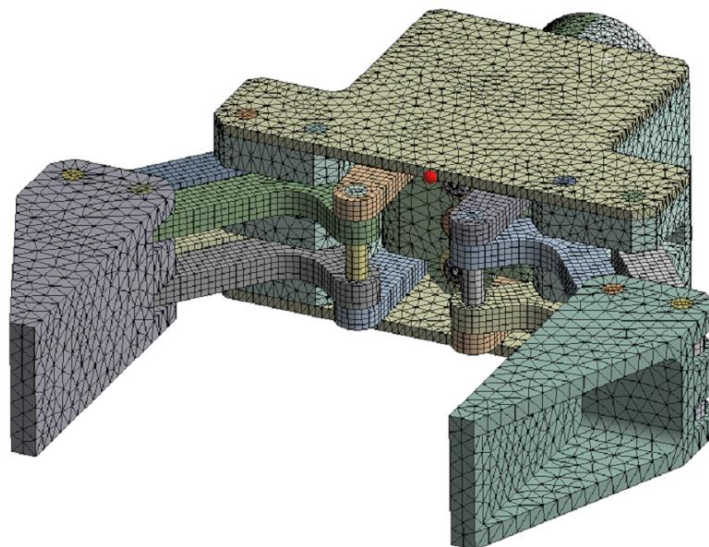
Model manipulační nástavby byl následně předán společně s potřebnými informacemi Ing. Františkovi z Katedry mechaniky, který jej podrobil pevnostním analýzám metodou konečných prvků v prostředí simulačního softwaru Ansys WorkBench 13.0 [2.15], [2.16]. Analýza byla rozdělena do čtyř částí, jak je to naznačeno na následujícím obrázku.



Obrázek 2.25 - Rozdělení manipulační nástavby za účelem pevnostní analýzy na čtyři části

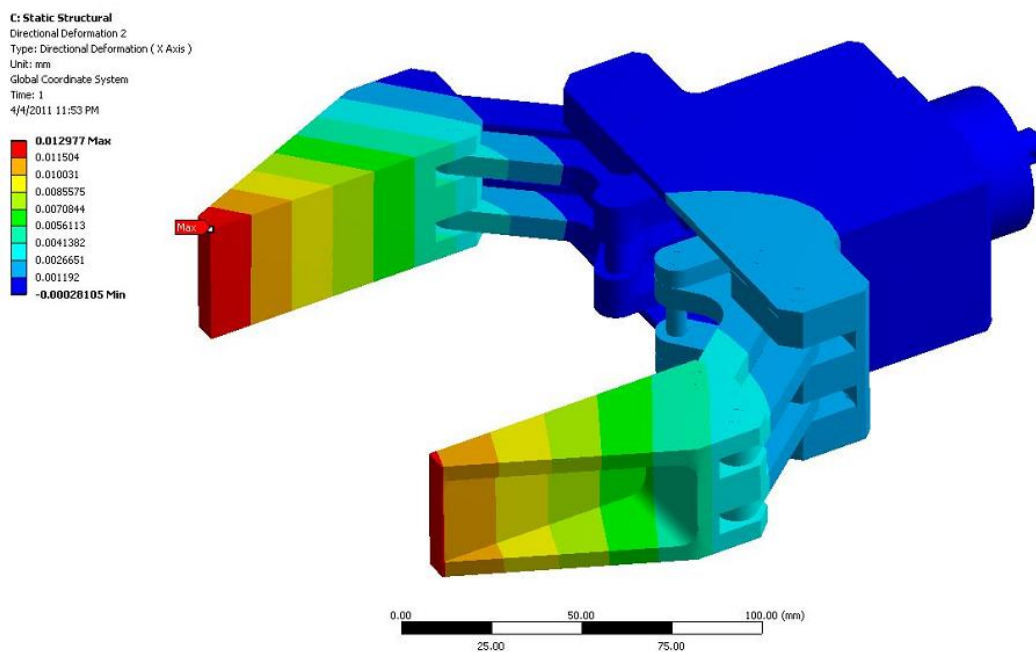
V prvním kroku byla provedena analýza efektoru. Před jejím začátkem bylo potřeba model upravit takovým způsobem, aby mohla vlastní analýza vůbec proběhnout. Byly např. odstraněny plochy reprezentující v prostředí softwaru Pro/ENGINEER Wildfire 5 závitové šroubové spoje, apod. Poté byly definovány vazby mezi jednotlivými díly efektoru a silové účinky působící na čelisti. Diskretizovaný model připravený k vlastní analýze je na Obrázek 2.26.





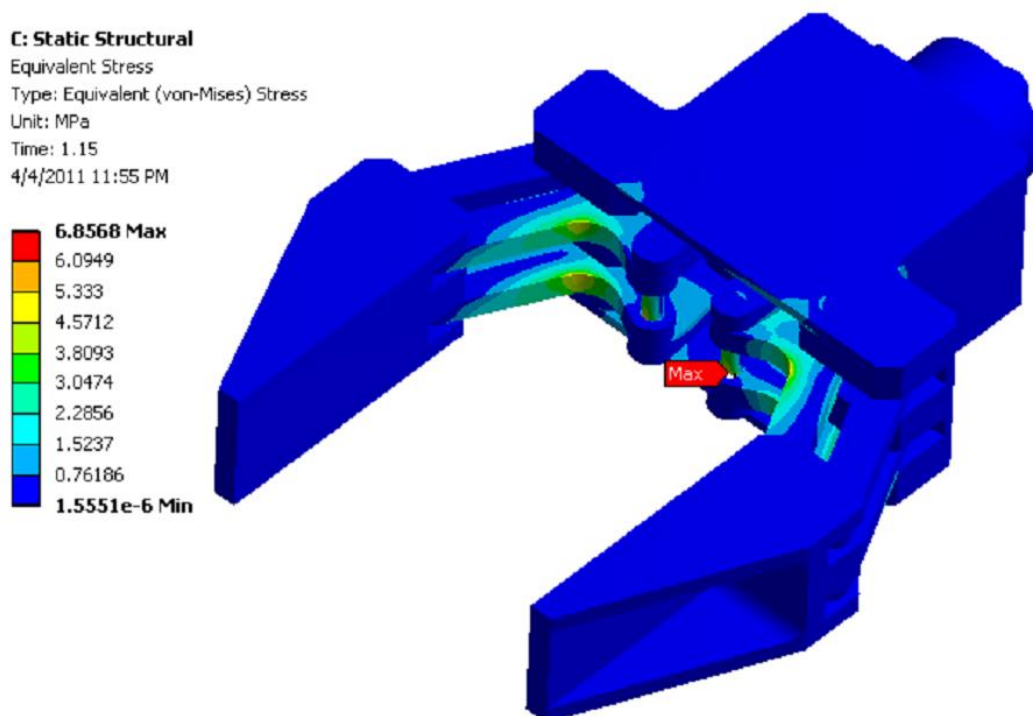
Obrázek 2.26 - Diskretizovaný model efektoru

Při analýze byly sledovány dva parametry. Maximální posunutí efektoru a maximální redukované napětí vznikající v jednotlivých částech mechanismu. V prvním případě byla dosažena maximální hodnota ve svislém směru o velikosti 0,013 mm a to při maximálním rozevření čelistí 120 mm (označeno nálepkou Max, Obrázek 2.27). Maximální redukované napětí 6,9 MPa vznikalo na jednom z čepů (označeno nálepkou Max, Obrázek 2.28), tentokrát při rozevření čelistí o velikosti 102 mm. Při rozevření čelistí 30 mm vznikalo největší redukované napětí o velikosti 5,4 MPa na ramenu opět označeném štítkem Max (Obrázek 2.29).

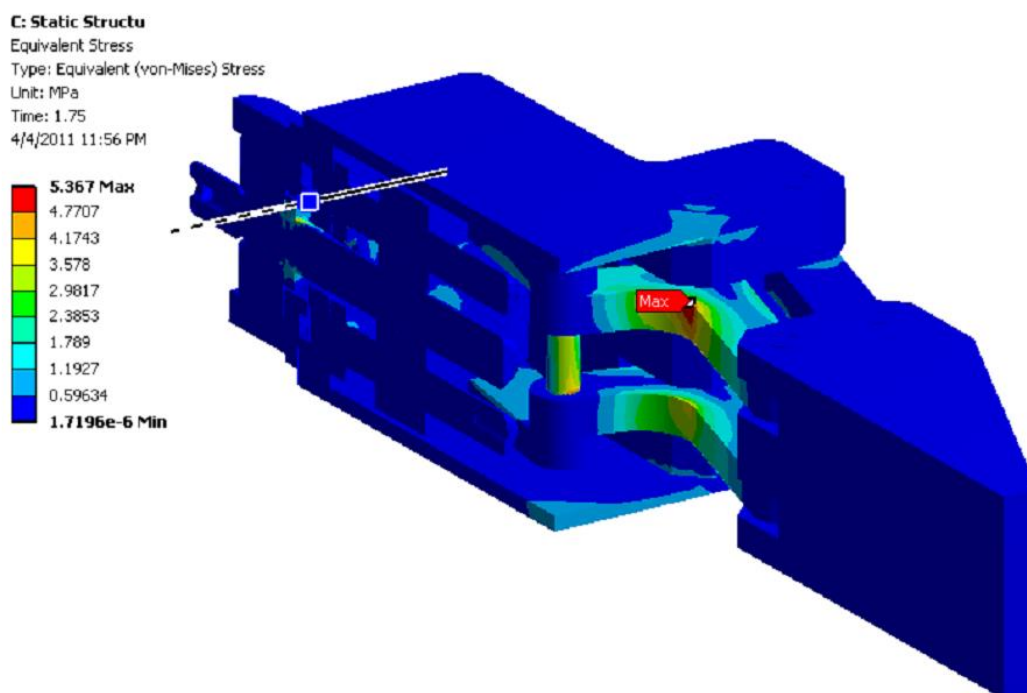


Obrázek 2.27 - Maximální posunutí ve svislém směru při rozevření čelistí 120 mm





Obrázek 2.28 - Rozložení redukovaného napětí při rozevření čelistí 102 mm

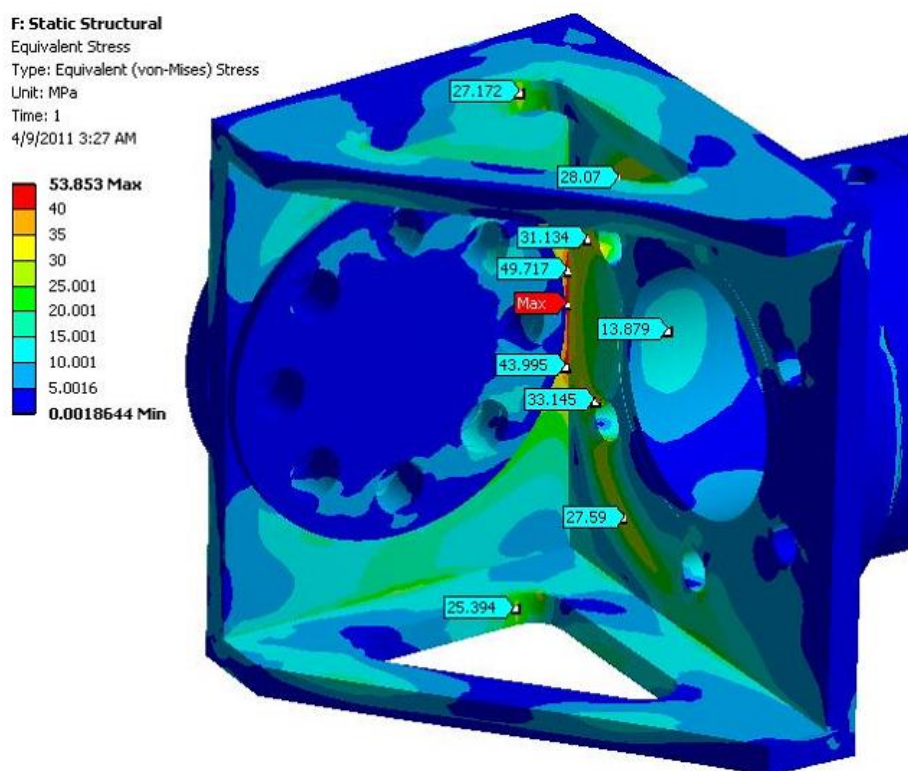


Obrázek 2.29 - Rozložení redukovaného napětí při rozevření čelistí 30 mm

Na základě provedených analýz je možné učinit závěr, že navržený mechanismus je dimenzován více než dostatečně, vzhledem k hodnotám meze kluzu materiálů, z nichž mají být jednotlivé části mechanismu vyrobeny.

Obdobným způsobem byly analyzovány zbývající tři části manipulační nástavby (Obrázek 2.25). Také v tomto případě byly některé komponenty dimenzovány nadměrně. Úpravou těchto částí by bylo možné dosáhnout citelného snížení hmotnosti této nástavby a zároveň zvýšení její nosnosti. Vzhledem k tomu, že provedené analýzy nepočítají se zatíženími vznikajícími při pohybu manipulační nástavby, resp. při pohybu vlastního robota ARES, bylo v rámci odborného týmu rozhodnuto o ponechání konstrukčního návrhu ve stávající podobě.

Při navrhování obdobných zařízení hraje důležitou roli posun vybraného bodu (v tomto případě střed koule reprezentující objekt manipulace) při různém zatížení (Obrázek 2.25). Na základě údajů získaných z provedených analýz a také na základě deformací pružných členů harmonických převodovek použitých v pohonných jednotkách kloubů K2 a K3 bylo možné odhadnout velikost posunutí sledovaného bodu. V případě, že by objektem manipulace byla plastová láhev s vodou o objemu 1,5 litru, sledovaný bod by se měl posunout o přibližně 2 mm. V rámci průmyslové robotiky by se jednalo o hodnotu nepřijatelnou vzhledem k nosnosti a dalším parametrům manipulační nástavby. Vezmeme-li ale v potaz omezení vyplývající z dostupnosti komponent pohonných jednotek a celkovým finančním prostředkům určeným pro tento projekt, jedná se o hodnotu akceptovatelnou.



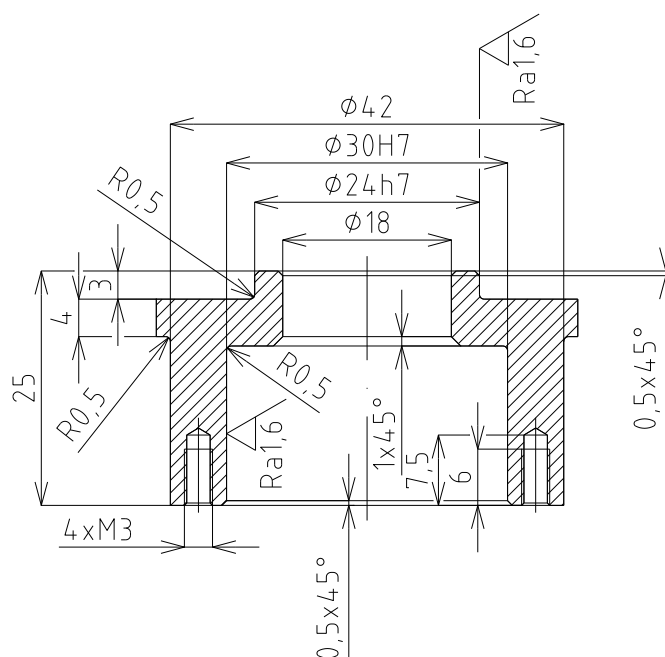
Obrázek 2.30 - Rozložení redukovaného napětí dolní části ramene 2

## 2.6 Ukončení konstrukčních prací



### Výklad

Na základě předložených podkladů bylo v rámci odborného týmu rozhodnuto o ukončení etapy projektu zabývající se konstrukčním návrhem manipulační nástavby. Ing. Mihola poté vypracoval potřebnou výkresovou dokumentaci a předal ji zástupcům Katedry obrábění a montáže (doc. Čep, Ing. Sadílek).



Obrázek 2.31 - Ukázka vypracované výkresové dokumentace

Následně byly zpracovány a předány technické zprávy, obsahující informace potřebné k pokračování prací na zbývajících etapách návrhu manipulační nástavby.



### Zdroje použité literatury a webové odkazy

Při návrhu manipulační nástavby a vypracovávání této části případové studie byly využívány následující zdroje informací:

- [2.1] VŠB-TU Ostrava, Katedra robototechniky [online]. Průzkumný a zásahový čtyřkolový mobilní robot HERCULES. Dostupné z WWW: < <http://robot.vsb.cz/mobilni-roboty/HERCULES>>.
- [2.2] GLOGER, M: *Subsystem MR pro odběr tekutinových vzorků*. (Diplomová práce), VŠB-TU Ostrava, 87 s., 2011.
- [2.3] KÁRNÍK, L. *Modelování a analýza servisních robotů* [online]. Ostrava: VŠB-TU, 2007 Available from: [http://robot2.vsb.cz/elekskripta/servisni\\_roboty/index.htm](http://robot2.vsb.cz/elekskripta/servisni_roboty/index.htm) .

- [2.4] SKAŘUPA J. *Průmyslové roboty a manipulátory* [online]. Ostrava: VŠB-TU, 2007  
Available from: [http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/PRM/Text/Skripta\\_PRaM.pdf](http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/PRM/Text/Skripta_PRaM.pdf) .
- [2.5] *telerob Gesellschaft fur Fernhantierungstechnik mbH* [online]. The telerob Explosive Ordnance Disposal and observation robot. Dostupné z WWW: <http://www.telerob.de/teodor.php>.
- [2.6] *SCHUNK GmbH & Co. KG* [online]. Servoelektrický tříprstý efektor. Dostupné z WWW: [http://www.cz.schunk.com/schunk/schunk\\_websites/products/products\\_level\\_3/product\\_level3.html?product\\_level\\_3=7261&product\\_level\\_2=250&product\\_level\\_1=244&country=CZE&lngCode=CZ&lngCode2=DE](http://www.cz.schunk.com/schunk/schunk_websites/products/products_level_3/product_level3.html?product_level_3=7261&product_level_2=250&product_level_1=244&country=CZE&lngCode=CZ&lngCode2=DE).
- [2.7] *Invenscience LC* [online]. Rotační servopohon TORXIS. Dostupné z WWW: [http://www.invenscience.com/index\\_files/Page923.htm](http://www.invenscience.com/index_files/Page923.htm).
- [2.8] *iRobot Corporation* [online]. iRobot 510 PackBot. Dostupné z WWW: <http://www.irobot.com/us/robots/defense/packbot.aspx>.
- [2.9] *Autonomous Solutions Inc.* [online]. Robot ASI Chaos Small. Dostupné z WWW: [http://www.autonomoussolutions.com/Chaos\\_High\\_Mobility\\_Robot](http://www.autonomoussolutions.com/Chaos_High_Mobility_Robot).
- [2.10] *Linak C&S s.r.o.* [online]. Lineární pohonné jednotky Linak. Dostupné z WWW: <http://www.linak.cz/>.
- [2.11] *ZKL, a.s.* [online]. Ložiska ZKL. Dostupné z WWW: <http://www.zkl.cz/cs>.
- [2.12] *MITCalc* [online]. Software MITCalc. Dostupné z WWW: [http://www.mitcalc.com/index\\_cz.htm](http://www.mitcalc.com/index_cz.htm).
- [2.13] *Harmonic Drive AG* [online]. Převodové jednotky řady CSG-2UH. Dostupné z WWW: <http://www.harmonicdrive.de/>.
- [2.14] *Maxon Motor AG* [online]. Diskové elektromotory řady EC 90 Flat. Dostupné z WWW: <http://www.maxonmotor.com/maxon/view/content/>.
- [2.15] FRANTIŠEK, O.: Pevnostní a tuhostní analýza efektoru mobilního robotu, Případová studie ESF CZ.1.07/2.3.00/09.0147.
- [2.16] FRANTIŠEK, O.: Pevnostní a tuhostní analýza ramen a patky mobilního robotu, Případová studie ESF CZ.1.07/2.3.00/09.0147.

### 3 VÝROBA, MONTÁŽ A TESTOVÁNÍ MANIPULAČNÍ NÁSTAVBY SMR

V této kapitole je popsán proces realizace výroby manipulační nástavby servisního mobilního robotu ARES. Proces výroby je popisován od jeho zahájení až do doby ukončení výroby. Celá etapa realizace výroby zahrnuje také proces montáže celé manipulační nástavby a jejího namontování na servisní mobilní robot. Celý tento průběh zahrnuje řadu na sebe navazujících úkonů od realizace objednávek, komunikace s výrobou až po smontování a uvedení do provozuschopného stavu.

Celý tento proces bylo možné zahájit na základě vyhotovené výkresové dokumentace na celou manipulační nástavbu. Cílem této etapy bylo vyrobit, smontovat a zprovoznit manipulační nástavbu tak aby fungovala na servisním mobilním robotu. Z hlediska časového provedení byla tato snaha směřována k prezentaci servisního mobilního robotu s manipulační nástavbou na dnech NATO, které probíhaly v měsíci září.

#### 3.1 Předvýrobní etapa



**Cíl:** Přehled činností vykonaných před vlastním započítáním prací na výrobě potřebných dílů manipulační nástavby

- + Výběr dodavatelů a objednání nakupovaných dílů
- + Výběr zhotovitele vyráběných dílů
- + Konzultace nad možnými změnami v konstrukci manipulační nástavby z důvodu výroby a montáže



#### Výklad

Předvýrobní etapa zahrnuje řadu úkonů, které je potřeba zabezpečit před zahájením samotné výroby, v tomto případě manipulační nástavby pro servisní mobilní robot. Celé etapě výroby manipulační nástavby předcházela etapa návrhu varianta provedení, které by bylo možné realizovat. Nejprve se jednalo o návrhy kinematických struktur, jak by mohla manipulační nástavba vypadat z hlediska kladených požadavků na její funkčnost (viz požadavkový list). Následoval proces vypracování konstrukčních variant provedení a výběr optimální varianty. V celém tomto procesu šlo o týmovou práci. Všichni členové týmu se podíleli na připomínkách a ladění navrhované varianty řešení manipulační nástavby. Realizovaná varianta byla zpracována v podobě 3D modelu v systému Pro/ENGINEER. Na přípravě a realizaci konstrukčních návrhů se podíleli zejména dva pracovníci týmu ing. Ladislav Kárník, CSc. a ing. Milan Mihola, Ph.D. Finální 3D model byl vytvořen ing. Milanem Miholou, Ph.D. včetně vyhotovení kompletní výrobní výkresové dokumentace manipulační nástavby. Kompletní výrobní výkresová dokumentace manipulační nástavby byla dokončena v průběhu měsíce května 2011. Na základě takto připravené výkresové dokumentace bylo možno zahájit proces předvýrobní etapy a zároveň zahájení procesu výroby jednotlivých konstrukčních dílů.

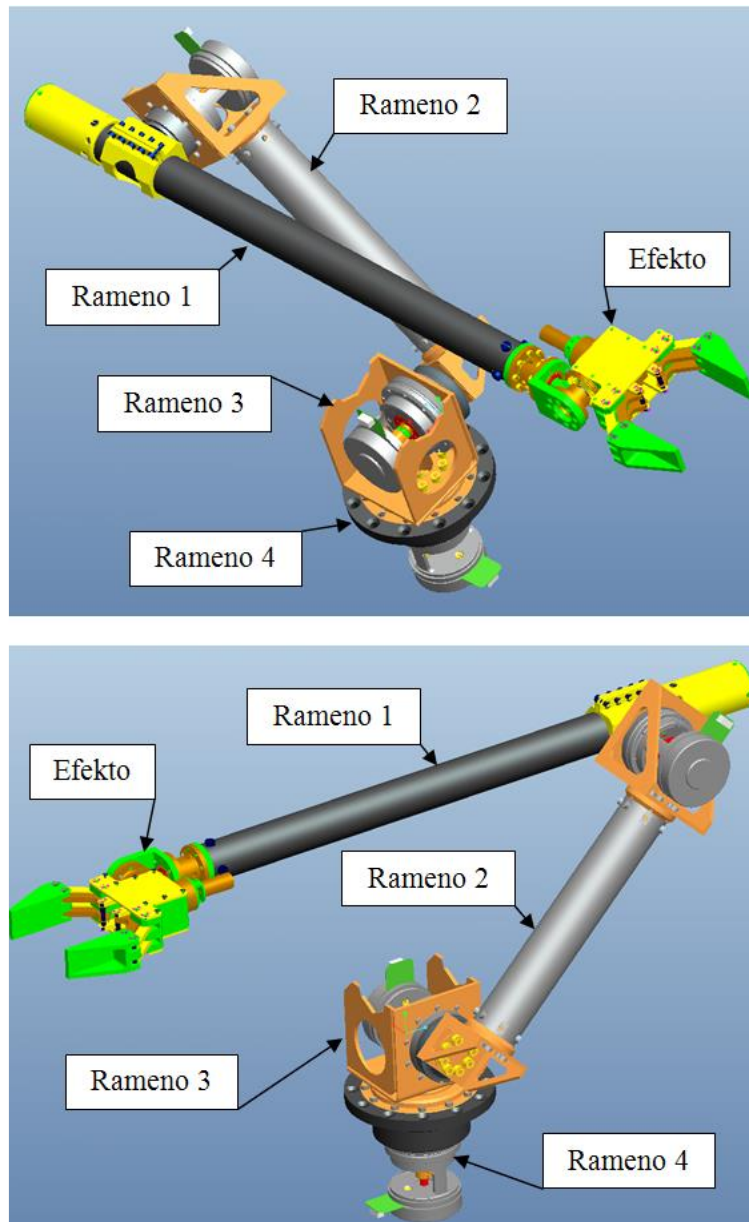
*Kompletní výrobní výkresová dokumentace byla zkompletována, vytisknuta a připravena připravena k předání do výroby v měsíci květnu 2011. Dokumentace se skládala z hlavní sestavy manipulační nástavby, pěti základních podsestav a detailních výrobních výkresů pro výrobu všech konstrukčních dílů (komponentů). Jednotlivé podsestavy s uvedením seznamu detailních výkresů jsou uvedeny v Obrázek 3.2 - Sestavný výkres manipulační nástavby pro servisní mobilní robot*

*Tab. 3.1 až Tab. 3.5. Z hlediska počtu vyráběných kusů tak jak jsou uvedeny v Obrázek 3.2 - Sestavný výkres manipulační nástavby pro servisní mobilní robot*

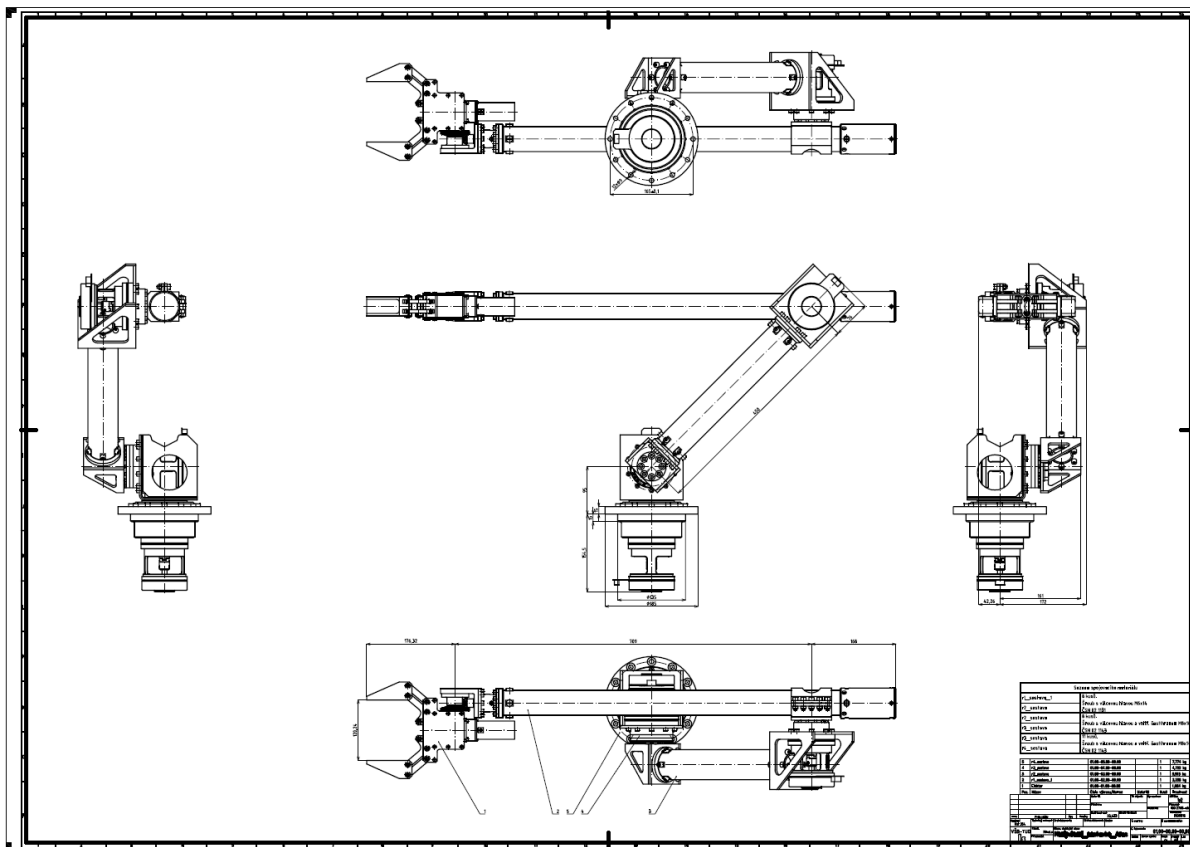


*Tab. 3.1 až Tab. 3.5 to představovalo vyrobit celkem 88 kusů konstrukčních dílů. V řadě případů se jednalo o poměrně tvarově složité díly, kde byla větší náročnost na jejich výrobu, zejména z hlediska dodržení požadovaných tolerancí, přesností, apod. Pro ucelenou představu konstrukčního řešení manipulační nástavby je na Obrázek 3.1 znázorněný 3D model s uvedením hlavních montážních podsestav tak jak jsou nazvány v Obrázek 3.2 - Sestavný výkres manipulační nástavby pro servisní mobilní robot*

Tab. 3.1 až Tab. 3.5. Na Obrázek 3.2 je znázorněný sestavný výkres manipulační nástavby.



Obrázek 3.1 – Kompletní 3D model manipulační nástavby pro servisní mobilní robot



Obrázek 3.2 - Sestavný výkres manipulační nástavby pro servisní mobilní robot

Tab. 3.1 – Seznam výrobních výkresů podsestavy „Efektor“

<b>Efektor – č. v. 01.00-01.00-00.00 v jednom provedení</b>		
<b>Název dílu</b>	<b>Číslo výkresu</b>	<b>Počet</b>
ef_celist_1	01.00-01.00-04.00	2 kusy
ef_cep_1	01.00-01.00-11.00	8 kusů
ef_cep_2	01.00-01.00-13.00	4 kusy
ef_doraz_dil_1	01.00-01.00-15.00	1 kus
ef_loz_domek_1	01.00-01.00-09.00	1 kus
ef_loz_domek_2	01.00-01.00-10.00	1 kus
ef_ram_1	01.00-01.00-01.00	1 kus
ef_ram_2	01.00-01.00-12.00	2 kusy
ef_tahlo_1	01.00-01.00-02.00	4 kusy
ef_tahlo_2	01.00-01.00-03.00	4 kusy
ef_tahlo_3	01.00-01.00-05.00	4 kusy
ef_tahlo_4	01.00-01.00-06.00	1 kus
ef_trapezovy_sroub_1	01.00-01.00-08.00	1 kus
ef_vedeni_1	01.00-01.00-07.00	2 kusy
r1_oz_kolo_kuz_kolo_1	01.00-01.00-16.00	1 kus
r1_priruba_1	01.00-01.00-14.00	1 kus

Tab. 3.2 - Seznam výrobních výkresů podsestavy „Rameno 1“

<b>Rameno 1 – č. v. 01.00-02.00-00.00 v jednom provedení</b>		
<b>Název dílu</b>	<b>Číslo výkresu</b>	<b>Počet</b>
r1_dist_kr_1	01.00-02.00-05.00	1 kus
r1_dist_kr_2	01.00-02.00-07.00	1 kus
r1_dist_kr_3	01.00-02.00-08.00	1 kus
r1_hridel_1	01.00-02.00-06.00	1 kus
r1_kryt_motoru_1	01.00-02.00-14.00	1 kus
r1_loz_domek_1	01.00-02.00-03.00	1 kus
r1_loz_domek_2	01.00-02.00-04.00	1 kus
r1_loz_domek_3	01.00-02.00-02.00	1 kus
r1_nosna_trubka_1	01.00-02.00-10.00	1 kus
r1_oz_kolo_kuz_pastorek	01.00-02.00-16.00	1 kus
r1_pripojeni_r2_dil_1	01.00-02.00-01.00	1 kus
r1_priruba_2	01.00-02.00-09.00	1 kus
r1_priruba_3	01.00-02.00-13.00	1 kus
r1_propojeni_dil_1	01.00-02.00-11.00	2 kusy
r1_propojeni_dil_2	01.00-02.00-12.00	1 kus
r1_stredici_cep_1	01.00-02.00-15.00	1 kus

Tab. 3.3 - Seznam výrobních výkresů podsestavy „Rameno 2“

<b>Rameno 2 – č. v. 01.00-03.00-00.00 v jednom provedení</b>		
<b>Název dílu</b>	<b>Číslo výkresu</b>	<b>Počet</b>
poh_jed_1_hridel_1	01.00-03.00-01.03	2 kusy
poh_jed_1_hridel_2	01.00-03.00-01.04	3 kusy
poh_jed_1_teleso_1	01.00-03.00-01.02	2 kusy
poh_jed_1_teleso_2	01.00-03.00-01.01	2 kusy
r2_k1_svar_stred_dil	01.00-03.00-03.01	1 kus
r2_k1_svar_zeb_leve	01.00-03.00-03.03	1 kus
r2_k1_svar_zeb_prave	01.00-03.00-03.02	1 kus
r2_k1_svarenec	01.00-03.00-03.00	1 kus
r2_k2_svar_stred_dil	01.00-03.00-02.01	1 kus
r2_k2_svar_zeb_leve	01.00-03.00-02.03	1 kus
r2_k2_svar_zeb_prave	01.00-03.00-02.02	1 kus
r2_k2_svarenec	01.00-03.00-02.00	1 kus
r2_priruba_1	01.00-03.00-04.00	2 kusy
r2_stredici_cep	01.00-03.00-06.00	1 kus
r2_trubka_1	01.00-03.00-05.00	1 kus

Tab. 3.4 - Seznam výrobních výkresů podsestavy „Rameno 3“

<b>Rameno 3 – č. v. 01.00-04.00-00.00 v jednom provedení</b>		
<b>Název dílu</b>	<b>Číslo výkresu</b>	<b>Počet</b>
poh_jed_2_hridel_1	01.00-04.00-01.03	1 kus
poh_jed_2_poj_deska	01.00-04.00-01.04	1 kus
poh_jed_2_teleso_1	01.00-04.00-01.02	1 kus
poh_jed_2_teleso_2	01.00-04.00-01.01	1 kus
r3_svar_plech_2	01.00-04.00-02.01	1 kus
r3_svar_plech_3	01.00-04.00-02.02	1 kus
r3_svar_plech_4	01.00-04.00-02.03	1 kus
r3_svarenec_1	01.00-04.00-02.00	1 kus



Tab. 3.5 - Seznam výrobních výkresů podsestavy „Rameno 4“

<b>Rameno 4 – č. v. 01.00-05.00-00.00 v jednom provedení</b>		
<b>Název dílu</b>	<b>Číslo výkresu</b>	<b>Počet</b>
r4_hridel_rotace_1	01.00-05.00-03.00	1 kus
r4_krouzek_rotace_1	01.00-05.00-05.00	1 kus
r4_priruba_loze	01.00-05.00-02.00	1 kus
r4_viko_rotace_1	01.00-05.00-04.00	1 kus

S takto připravenou výrobní výkresovou dokumentací bylo v předvýrobní etapě nejprve potřeba provést oslovení případných firem, které by byly schopny realizovat celkovou výrobu manipulační nástavby pro servisní mobilní robot. Bylo potřeba zvážit také hledisko následné montáže jednotlivých konstrukčních uzlů a následné celkové sestavy manipulační nástavby.



### **Důležité informace**

Realizovat montáž takového robotického zařízení představuje potřebu vybavenosti vhodným typem a rozsahem náradí a strojního vybavení, jak se také následně ukázalo. Proto bylo vhodné vybrat mimo jiné také firmu, ve které se bude realizovat i samotná montáž za pomoci pracovníka realizačního týmu VŠB-TU Ostrava. Jako další hlediska pro výběr vhodné firmy pro výrobu manipulační nástavby byla zvažována tato hlediska:

- Prioritní hledisko cena výroby.
- Termín dodání do 8 týdnů od vystavení objednávky.
- Dostupnost firmy.
- Ochota spolupráce při řešení technologie výroby a tím případného snižování nákladů v samotném procesu výroby jednotlivých konstrukčních dílů.
- Ochota realizovat případné drobné změny v konstrukci vyplývající ze zjištěných nedostatků apod.

Na základě těchto a dalších požadavků byly osloveny s požadavkem na předložení nabídky výroby výše uvedené manipulační nástavby tyto firmy (firmy měli k dispozici výrobní dokumentaci):

- TVD - Technická výroba, a.s.
- FOP - přesné strojírenství

Po obdržení nabídek od těchto firem byla vybrána firma FOP - přesné strojírenství, Zákřejsova 5, Ostrava-Přívoz 702 00. V Tab. 3.6 jsou uvedeny nabídky od obou firem z hlediska nabízené ceny, za kterou by realizovali výrobu kompletní manipulační nástavby (prioritní hledisko) a zároveň se splněním ostatních požadavků.

Tab. 3.6 - Cenové nabídky firem na výrobu manipulační nástavby

Posuzované cenové nabídky		
Název firmy	Termín dodání	Cena za výrobu včetně DPH
TVD - Technická výroba, a.s.	8 týdnů	98.000,- Kč
FOP - přesné strojírenství	8 týdnů	110.000,-Kč

Po vybrání firmy, která bude realizovat výrobu manipulační nástavby, byla vystavena objednávka na výrobu (objednávka č. 3520026/11). Toto byl jeden z prvních základních kroků pro uskutečnění výroby a montáže manipulační nástavby.

Dalším souběžným krokem neméně důležitým bylo vytvoření seznamu nakupovaných komponentů. Zde bylo potřeba odlišit nakupované komponenty jako je např. spojovací materiál apod., od komponentů které bylo potřeba urychleně objednat z hlediska delších dodacích lhůt. Pro vytvoření seznamu nakupovaných komponentů byla použita výkresová dokumentace, konkrétně kusovníky hlavní sestavy a jednotlivých podsestav. Jako příklad exponovaných nakupovaných dílů (z hlediska ceny a termínu dodávky) lze uvést tyto:

- Pohony v kloubech představující diskové motory MAXON s řídicími jednotkami
  - Diskový motor EC 90 F, BL, Sensor, Enc, 60W, KL, 1WE 3ks
  - Řídicí jednotka rychlosti i polohy EPOS2 50/5 3ks
  - EPOS konektory k EPOS2 50/5 3ks
- Harmonické převodovky Harmonic Drive k pohonům v kloubech
  - Harmonická převodovka typ CSG-20-160-2UH 2ks
  - Harmonická převodovka typ CSG-25-160-2UH 1ks
- Ložiska se zkříženými válečky od firmy HENNLICH
  - Ložisko THK RU 42 UU CO 3ks
  - Ložisko RB 8016 CO 1ks
- Motory s převodovkou pro efektor a Rameno1
  - Motor Pololu1109 s 154:1 Metal Gearmotor 20Dx47L 1ks
  - Motor Pololu1107 s 122:1 Metal Gearmotor 37Dx54L 1ks



### Zajímavost k tématu

Výše uvedené položky byly poptávány u několika firem, které poslali nabídky. Kromě ceny byl rozhodující také termín dodání tak aby bylo možno realizovat požadovaný termín výroby, montáže a namontování manipulační nástavby na servisní mobilní robot. Následně byli vybráni jednotliví dodavatelé těchto komponentů a na všechny výše uvedené položky byly vystaveny objednávky.

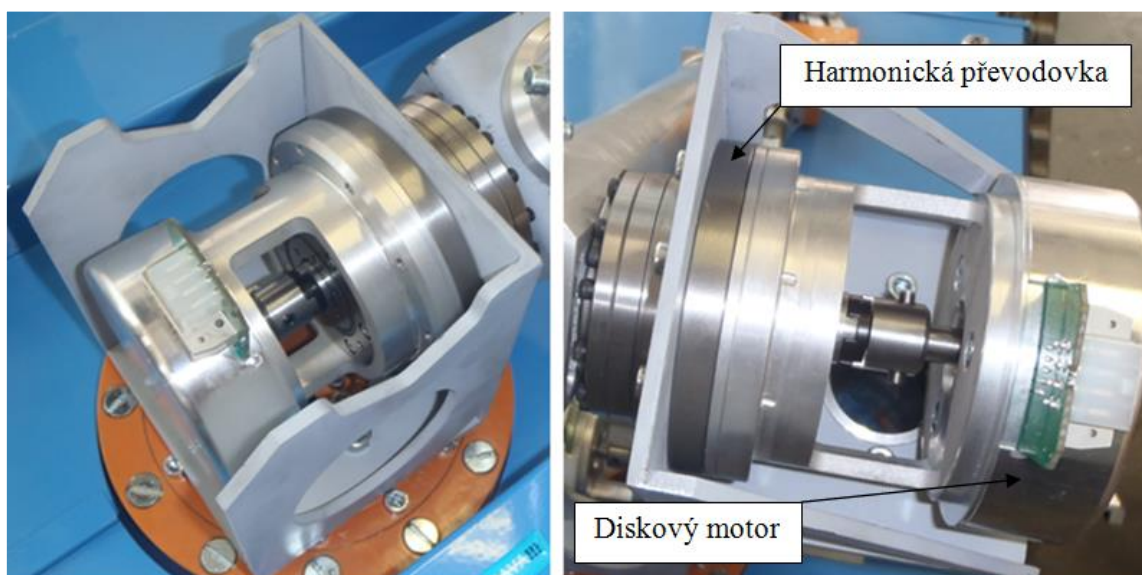


## Důležité informace

Pohony v kloubech, uvedené v první odrážce měli dodací lhůtu čtyři týdny od vystavení objednávky. Tyto komponenty nebylo nutné dodat hned výrobě, aby mohla být realizována výroba konstrukčních dílů pro uchycení těchto motorů. Příklad uložení motoru v Ramenu3 je znázorněno na Obrázek 3.3.

Harmonické převodovky, uvedené ve druhé odrážce měli podobnou dodací lhůtu jako diskové motory MAXON. Vzhledem k tolerancím rozměrů těchto převodovek a způsobu jejich uložení v kloubech nebylo nutné dodat hned tyto komponenty výrobě, aby mohla být realizována výroba konstrukčních dílů jejich uchycení. Příklad uložení harmonické převodovky v Ramenu3 je znázorněno na Obrázek 3.3. Samotná převodovka je znázorněna na Obrázek 3.4.

Vzhledem k termínům dodání bylo v obou případech rozhodující, aby objednané komponenty byly k dispozici ve chvíli, kdy se zahajovala montáž jednotlivých podsestav.



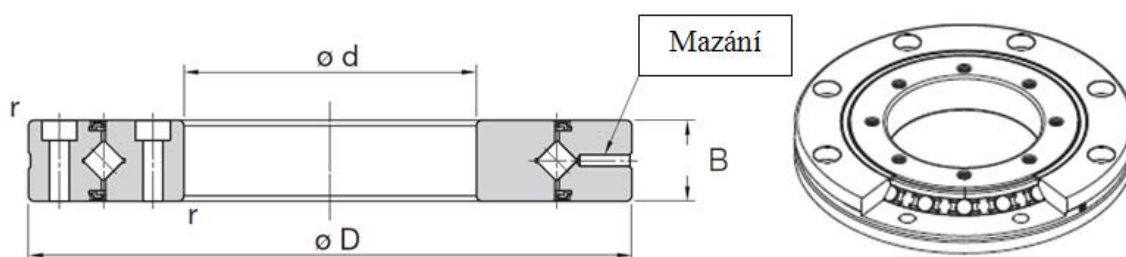
Obrázek 3.3 - Uložení diskového motoru a harmonické převodovky v Ramenu3



Obrázek 3.4 - Ukázka harmonické převodovky typ CSG

Ložiska se zkříženými válečky umístěná v jednotlivých kloubech, uvedené ve třetí odrážce měli dodací lhůtu tři týdny od vystavení objednávky. Výjimku tvořilo ložisko RB 8016 CO, kde byla dodací lhůta minimálně šest týdnů od vystavení objednávky. Důvodem této dlouhé dodací lhůty je, že tato ložiska se vyrábí na zakázku a nejsou tedy skladem. Toto ložisko je umístěno v rotační základně – Rameno4.

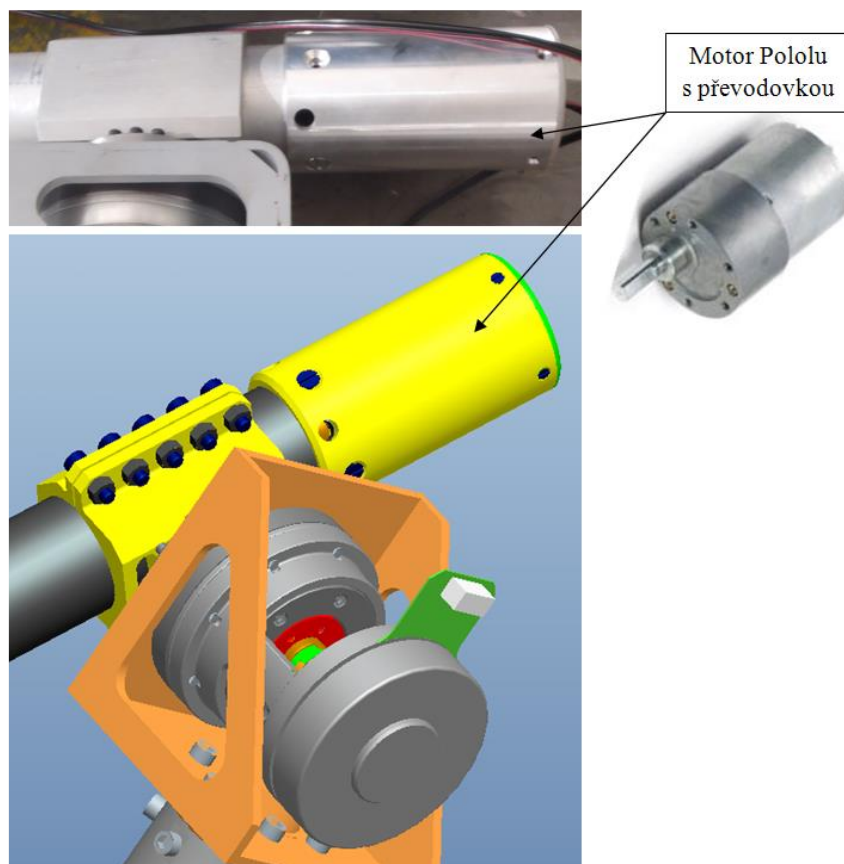
Zde bylo nutné posečkat s dokončením výroby konstrukčních dílů, ve kterých je ložisko uloženo, až do doby kdy bylo dodáno. V daném případě se jednalo o dobu, ve které už probíhala montáž jednotlivých podsestav. Ostatní tři ložiska byla dodána výrobě včas a nebránilo nic výrobě příslušných konstrukčních dílů. Jiná ložiska než ložiska se zkříženými válečky nebylo možno použít vzhledem k tomu, že potřeba zachytit velké síly v radiálním i axiálním směru v kombinaci s momentovými účinky (zejména v rotační základně manipulačního ramena). Příklad použitého ložiska se zkříženými válečky je znázorněno na Obrázek 3.5.



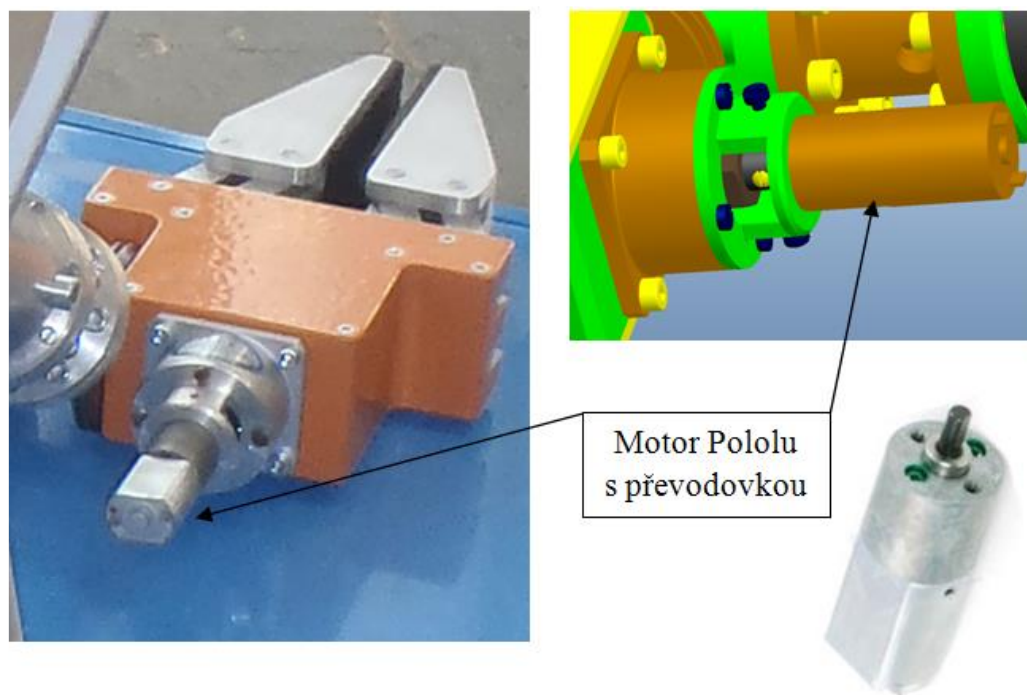
Obrázek 3.5 - Ukázka ložiska se zkříženými válečky typ RU

Motory s převodovkou pro efektor a Rameno1, uvedené v poslední odrážce měli dodací lhůtu necelé dva týdny od vystavení objednávky. Tyto komponenty tak bylo možno dodat v poměrně krátkém čase výrobě, aby mohla být realizována výroba konstrukčních dílů pro uchycení těchto motorů. Příklad uložení motoru na konci Ramena1 (motor je uchycen pod krytem ve tvaru válce) je znázorněno na Obrázek 3.6. Tento motor s převodovkou je určený

pro rotaci efektoru okolo podélné osy Ramena1. Na Obrázek 3.7 je znázorněný motor s převodovkou, který je určený pro rozevírání a sevření čelistí efektoru.



Obrázek 3.6 - Příklad uložení motoru Pololu s převodovkou na konci Ramena1



Obrázek 3.7 - Příklad uložení motoru Pololu s převodovkou na efektoru



Dalším souběžným krokem bylo vytvoření seznamu nakupovaných drobných komponentů jako např. ložiska apod. Samostatný soupis pak tvořil seznam spojovacího materiálu. Pro vytvoření tohoto seznamu nakupovaných komponentů byla použita výkresová dokumentace, konkrétně kusovníky hlavní sestavy a jednotlivých podsestav.

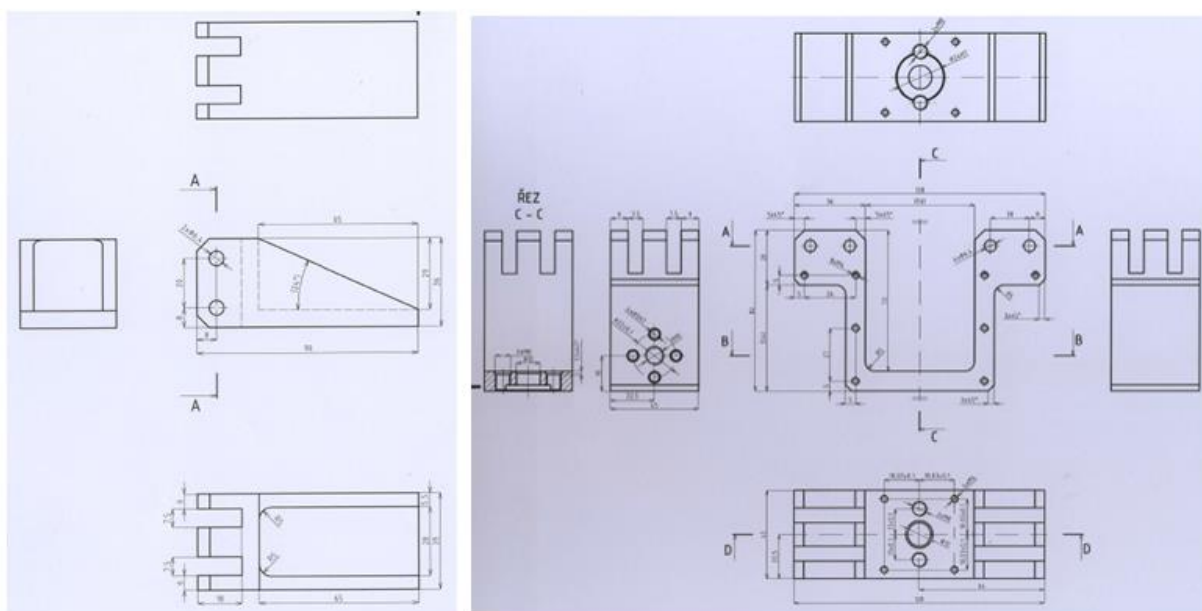


### Důležité informace

Důležitou součástí předvýrobní etapy bylo posouzení výrobní výkresové dokumentace manipulační nástavby z hlediska:

- Tvarové složitosti vybraných konstrukčních dílů (hledisko vyrobitelnosti a posouzení nákladů na výrobu).
- Použitého typu materiálu.
- Použitého způsobu spojení vybraných konstrukčních dílů.
- Možného zjednodušení vybraných tvarových dílů.
- Drsnosti povrchu u vybraných konstrukčních dílů (hledisko posouzení nákladů na výrobu při zajištění funkčnosti).
- Úplností všech kót na výrobních výkresech konstrukčních dílů.
- Požadovaných tolerancí rozměrů uváděných na výrobních výkresech.
- Další hlediska vyplývající ze situace při realizaci výroby jednotlivých konstrukčních dílů manipulační nástavby.

U výroby manipulační nástavby pro servisní mobilní robot se jednalo o výrobu pouze jednoho kusu. Tato skutečnost proto ovlivňovala operativně řešit případné úpravy na konstrukčních dílech tak, aby byla zohledněna ekonomičnost výroby při zajištění funkčnosti a dodržení požadovaných parametrů manipulační nástavby. Pro měla výše uvedená konzultovaná hlediska s výrobou značnou důležitost. Jako příklad lze uvést díly uvedené na Obrázek 3.8



Obrázek 3.8 - Příklad konzultovaných konstrukčních dílů na manipulační nástavbě

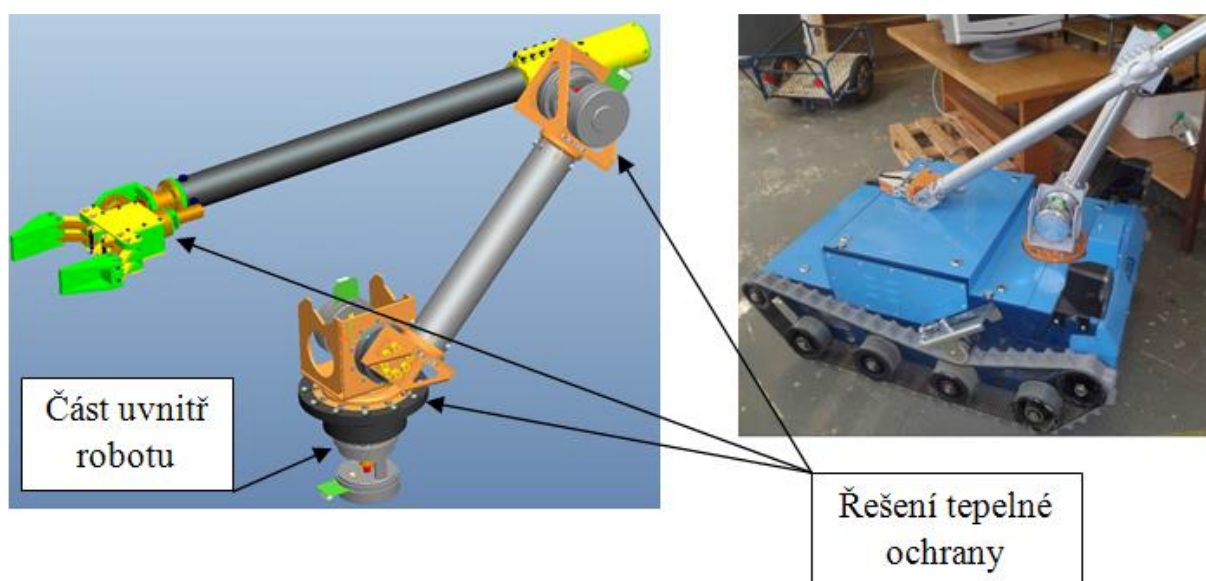


Kromě jiného byla na poradách řešitelského týmu konzultována možnost realizace tepelné ochrany manipulační nástavby. Realizace tepelné ochrany manipulační nástavby byla zvažována s ohledem na servisní úlohy plněné mobilním robotem. Navržený robot ve spojení s vyráběnou manipulační nástavbou lze využít pro zásahy v prostředí, kde došlo k výskytu nebezpečných látek. Kromě toho lze provádět řadu dalších servisních úloh. Může se jednat o následující situace:

- Havárie v chemickém průmyslu nebo v energetice.
- Havárie po živelných pohromách.
- Havárie na produktovodech.
- Havárie při přepravě nebezpečných látek po silnici, železnici apod.
- Bezpečnostní zásahy (terorismus, apod.).
- Údržba zeleně v městských parcích.
- Vytváření barevného značení na venkovních objektech apod.

Na základě výše uvedených servisních úloh byla zvažována možnost pokrytí celé manipulační nástavby ochranným návlekm nebo ochrannou fólií, která by zabránila krátkodobému proniknutí tepla dovnitř robotu a manipulační nástavby. V tomto případě se jedná o čas do 5 minut, ve kterém by se případně robot s manipulační nástavbou mohl vzdálit od zdroje tepelného sálání. Jedná se řádově o odolnost vůči teplotě do 200 °C.

Proto bylo potřeba ještě před samotným zahájením výroby zvážit případné úpravy na některých konstrukčních dílech tak, aby bylo možno tepelnou ochranu uchytit na manipulační nástavbu. Zvláště důležitá byla ochrana rotačních kloubů ramen, ve kterých se nachází pohonné jednotky, ložiska, senzory apod. Na Obrázek 3.9 jsou ukázána exponovaná místa na manipulační nástavbě, u kterých je zejména potřeba realizovat tepelnou ochranu při plnění servisní úlohy mobilním robotem. Jednotlivé klouby manipulační nástavby jsou zobrazeny bez krytů, které ještě zlepší celkovou odolnost vůči vlivům sálavého tepla. Materiál, ze kterého se kryty vyrobí, bude ještě dále konzultován.



Obrázek 3.9 - Exponovaná místa na manipulační nástavbě pro řešení tepelné ochrany



## Zajímavost k tématu

Nakonec byla pro realizaci tepelné ochrany navržena ochranná fólie. Touto fólií se měla ramena včetně rotačních kloubů obalit. Tento způsob teplené ochrany nevyžadoval nakonec zásah do konstrukce předpokládaných dílů. Nebylo proto nutné realizovat žádné úpravy, které by se promítly do změn výrobní výkresové dokumentace. Jak se později ukázalo, dodaná fólie vzhledem ke své poddajnosti byla nepoužitelná a k její aplikaci na manipulační nástavbu nedošlo.

## 3.2 Etapa výroby konstrukčních dílů



### Cíl: Popis realizace výroby jednotlivých částí manipulační nástavby

- ✚ Podrobnější popis jednotlivých podsestav
- ✚ Problémy spojené s výrobou jednotlivých částí a popis jejich řešení



### Výklad

Etapa výroby konstrukčních dílů v sobě zahrnuje řadu úkonů, které je potřeba zabezpečit při samotné výrobě, v tomto případě manipulační nástavby pro servisní mobilní robot. Celá manipulační nástavba v sobě zahrnuje celkem pět hlavních podsestav, jak je uvedeno v podkapitole 3.1. V tomto případě se jedná o kusovou výrobu, takže 94% konstrukčních dílů je pouze v jednom kuse. Zbytek konstrukčních dílů je převážně vyráběno po dvou kusech.



### Důležité informace

Tato skutečnost znamenala, že kontakt s výrobou byl poměrně častý. V řadě případů se jednalo o telefonickou komunikaci, kde byla řešena následující problematika:

- Konzultace kót na konstrukčních dílech týkající se např. drsnosti povrchu, tolerancí, apod.
- Konzultace chybějících kót se sdělením příslušné hodnoty.
- Konzultace použitého typu polotovaru.
- Konzultace alternativy použitého spojovacího materiálu jako např. místo šroubu použití kolíku, apod.
- Konzultace alternativy navržených zaoblení a sražení hran na výrobních výkresech, apod.
- Konzultace alternativy navržených jakostí ocelí s možností použití jiné jakosti oceli, apod.
- Konzultace použití jiného alternativního materiálu než je uveden na výrobním výkrese.
- Konzultace řešení ozubeného převodu s kuželovými koly.
- Konzultace rozměrů na konstrukčních dílech, které jsou ve spojení s nakupovanými komponenty (viz. kapitola 3.1).

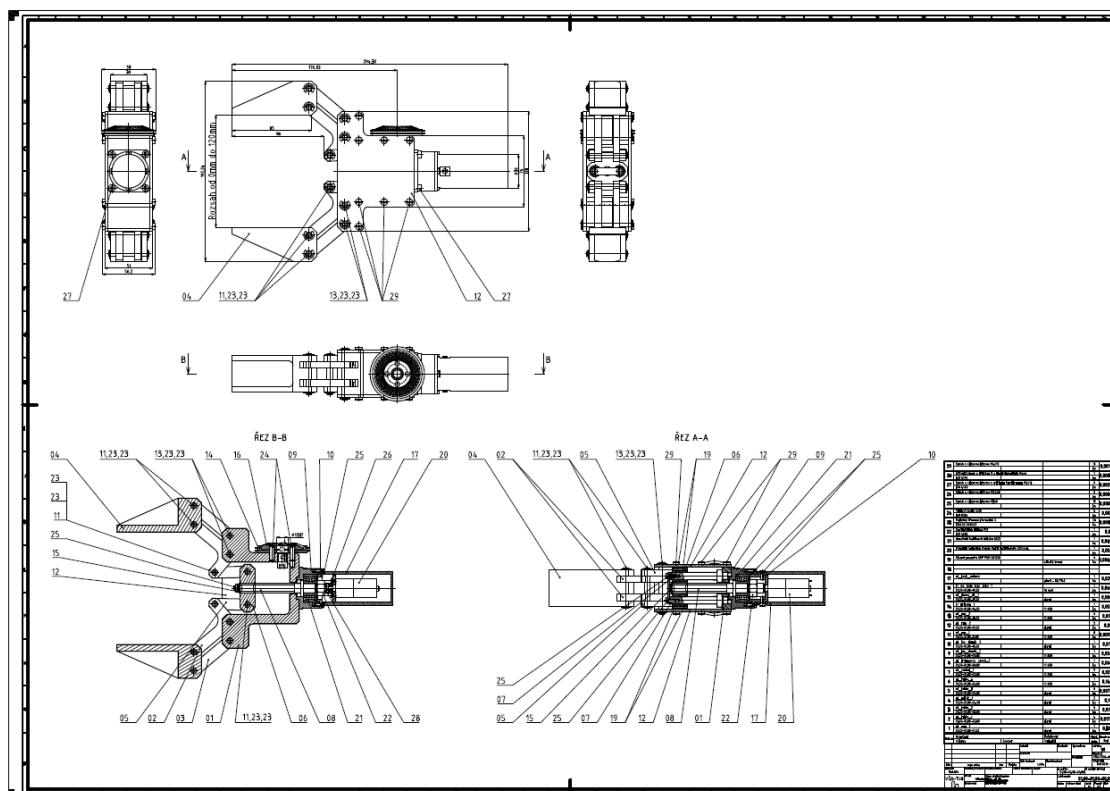
- Konzultace návaznosti konstrukčních dílů na sebe a z toho vyplývající způsob obrábění.
- Konzultace povrchových úprav.
- Konzultace možného použitého krytování.
- Další operativní záležitosti vyplývající z požadavků výroby.

Seznam jednotlivých výkresů výrobní dokumentace manipulační nástavby je uveden v Tab. 3.1 až Tab. 3.5. Výroba jednotlivých konstrukčních dílů byla převážně realizována postupně podle hlavních podsestav. To nezmazalo, že se současně nevyráběly konstrukční díly z různých podsestav. Výroba manipulační nástavby tedy byla realizována podle těchto hlavních podsestav, tak jak jsou znázorněny na Obrázek 3.1:

- Efektor.
- Rameno 1.
- Rameno 2.
- Rameno 3.
- Rameno 4.

### 3.2.1 Výroba konstrukčních dílů efektoru

Započalo se výrobou hlavní podsestavy – Efektor, který v sobě zahrnoval celkem 16 různých konstrukčních dílů. Na Obrázek 3.10 je znázorněný sestavný výkres efektoru včetně 3D modelu jako první hlavní podsestavy manipulační nástavby (celku).



Obrázek 3.10 - Sestavný výkres efektoru včetně 3D modelu

U výroby jednotlivých komponentů celého efektoru bylo potřeba dodržet zejména výrobní tolerance, tak aby byla zajištěna správná funkčnost efektoru. Z hlediska správné funkčnosti se jedná o to, aby čelisti efektoru byly po smontování vůči sobě rovnoběžné v každém okamžiku rozevření a to v celém rozsahu rozevření. Další podmínkou je, aby se dalo s paralelogramy volně pohybovat bez zadržávání.



### Zajímavost k tématu

Příkladem konzultace výkresové dokumentace při samotné realizaci výroby lze uvést následující:

- Konzultace použitého polotovaru čelistí.
- Konzultace opatření dosedacích ploch čelistí pryžovou vložkou.
- Konzultace připojení čelistí k paralelogramu pomocí čepů namísto pojistných kroužků na koncích.

- Konzultace uchycení krytu motoru s planetovou převodovkou.
- Konzultace kuželového ozubeného soukolí.
- Další operativní záležitosti vyplývající z požadavků výroby.

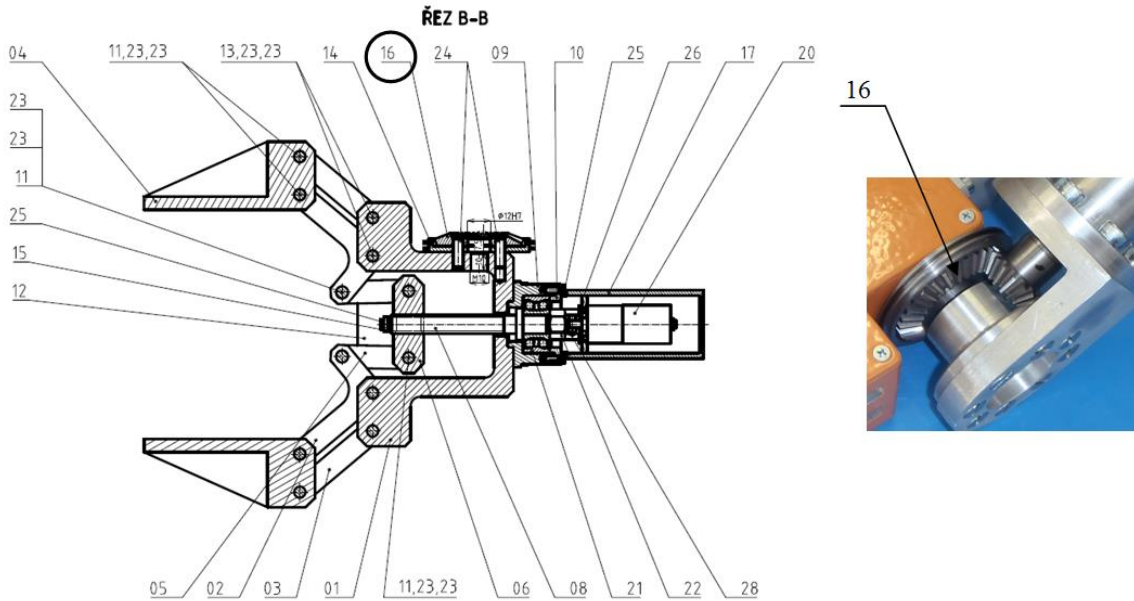
Ve všech případech konzultování výrobní výkresové dokumentace hlavní podsestavy „Efektor“ se jednalo o poměrně snadno řešitelné záležitosti, které nikterak nenarušovaly chod výroby a neovlivňovaly termín dokončení výroby všech konstrukčních dílů manipulační nástavby.

Nahrazení připojení čelistí k paralelogramu pomocí čepů bylo účelné a zjednodušilo to tento konstrukční uzel. Také byla provedena mírná úprava vnitřních táhel paralelogramu a jejich připojení k rámu. Pro zlepšení uchopování objektů pomocí čelistí efektoru byly nalepeny pryžové vložky na dosedací plochy těchto čelistí. Tato skutečnost nikterak neovlivnila funkčnost efektoru. Tyto drobné úpravy jsou patrné z Obrázek 3.11, kde je znázorněn již vyrobený efektor. Při výrobě krytu motoru s převodovkou (určeného pro pohyb čelistí) se nerealizovaly otvory pro kabeláž. Tyto otvory se realizovaly až při ožívování celé manipulační nástavby.

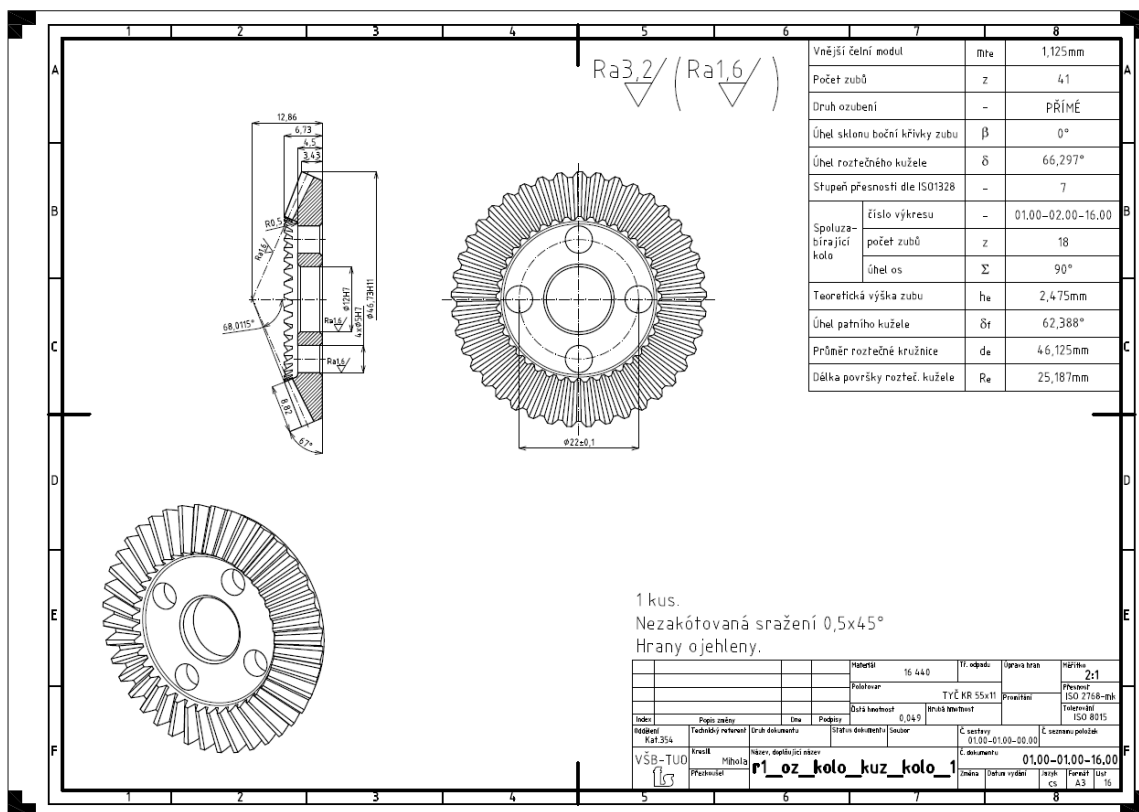


Obrázek 3.11 - Ukázka některých realizovaných úprav na vyrobeném efektoru

Stěžejní problematikou při výrobě konstrukčních dílů efektoru byla výroba kuželového ozubeného soukolí. Pomocí tohoto ozubeného převodu dochází k rotaci efektoru okolo příčné osy, která je kolmá na podélnou osu „Ramena 1“. Hnané kuželové ozubené kolo je vykázáno a vyznačeno v kroužku pod pozicí 16 na sestavném výkrese „Efektoru“ jak je znázorněno na Obrázek 3.12. Na tomto obrázku je znázorněno také vyrobené náhradní kuželové soukolí. Výrobní výkres samotného kuželového ozubeného kola znázorňuje Obrázek 3.13.



Obrázek 3.12 - Vyznačení kuželového ozubeného kola na sestavě efektoru



Obrázek 3.13 - Výrobní výkres kuželového ozubeného kola

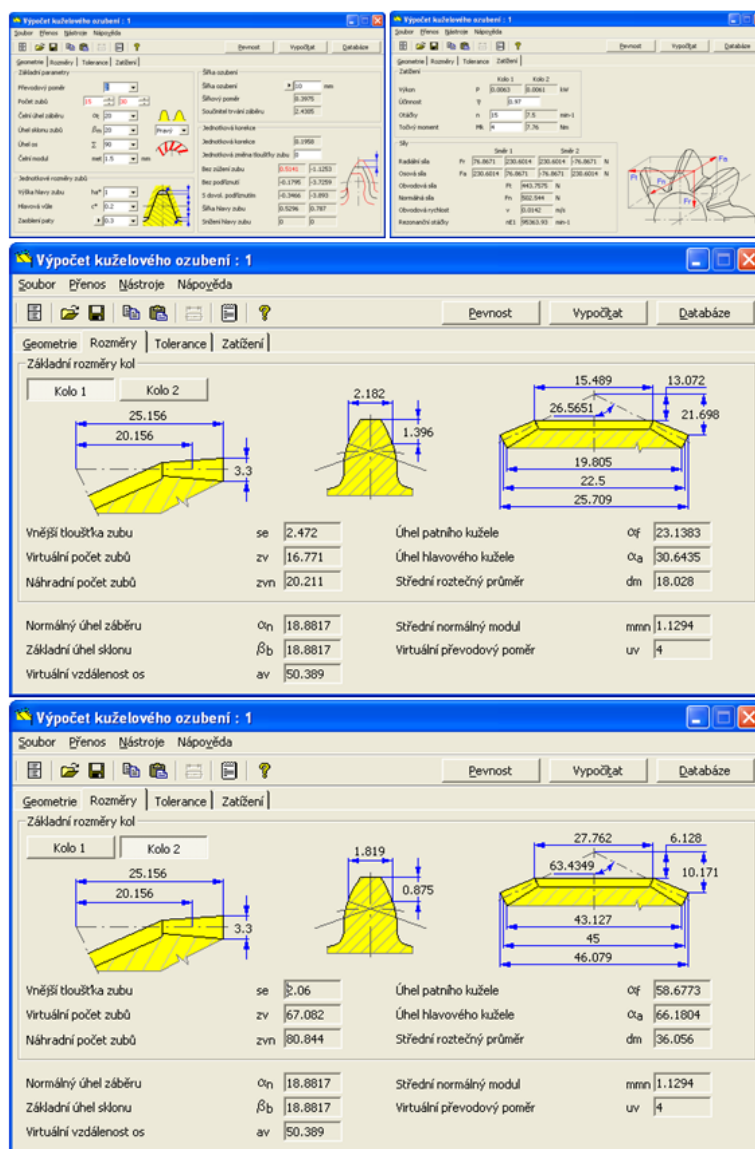


### Důležité informace

Problém s výrobou tohoto kuželového soukolí spočíval v tom, že nebyl k dispozici nástroj na výrobu tohoto ozubení. Navržené ozubení mělo modul  $m = 1,125$  mm. Přestože je tento modul normalizovaný, nástroj na jeho výrobu nebyl k dispozici ani u výrobce



manipulační nástavby ani u jiných subdodavatelů. Bylo tedy nutné najít alternativní řešení, které spočívalo v návrhu nového kuželového soukolí s jiným modulem a dodržení totožných vnějších rozměrů ozubených kol. Nutnost dodržení těchto rozměrů vyplývala z pozice 14 na sestavném výkrese efektoru (kuželové kolo se muselo do tohoto konstrukčního dílu vejít). Dále pak s ohledem na ustavení efektoru vůči Ramenu 1 bylo nutno dodržet i vzdálenost osy hnacího kuželového kola od zadní dosedací plochy hnaného kuželového kola.



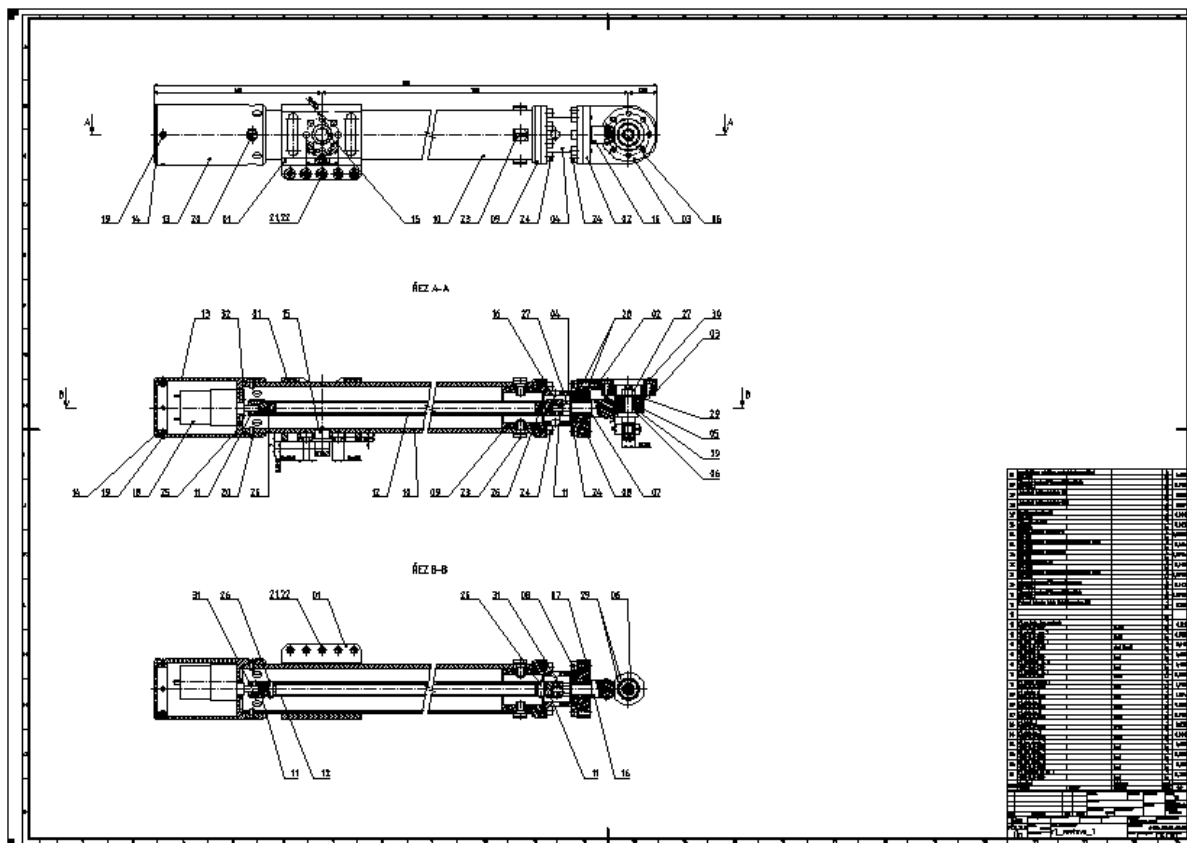
Obrázek 3.14 - Návrh nového kuželového soukolí

Nejprve se uvažovalo s možností nakoupení hotového kuželového soukolí. Bylo potřeba dodržet podmínku, aby kuželové soukolí přeneslo kroutící moment s velikostí 4 Nm. Zde se narazilo na problém, že u nakupovaného soukolí jednak nevyhovovaly vnější rozměry a jednat nevyhovoval ani materiál. Proto bylo navrženo nové soukolí s modulem  $m = 1,5$  mm, podobným převodovým poměrem a vyhovujícími vnějšími rozměry. Příklad výpočtu je znázorněn na Obrázek 3.14. Nově navržené a vyrobené kuželové soukolí bylo úspěšně použito v manipulační nástavbě.



### 3.2.2 Výroba konstrukčních dílů ramena 1

Dále se pokračovalo výrobou hlavní pod sestavy – Rameno 1, která v sobě zahrnovala celkem 17 různých konstrukčních dílů. Na Obrázek 3.15 je znázorněný sestavný výkres Ramena 1 včetně 3D modelu jako druhé hlavní pod sestavy manipulační nástavby (celku).



Obrázek 3.15 - Sestavný výkres Ramena 1 včetně 3D modelu

U výroby jednotlivých komponentů celého Ramena 1 bylo potřeba dodržet zejména výrobní tolerance, tak aby byla zajištěna správná funkčnost tohoto ramena. Z hlediska správné funkčnosti se jedná o to, aby byl správně upevněn a ustaven motor s harmonickou převodovkou umístěný v části napojení na Rameno 2. Dále bylo potřeba správně nastavit vůli v kuželovém ozubení a zmenšit tak vůle na minimum, které by se projevovaly při natáčení efektoru. Další podmínkou je, aby byla správně upevněna vnější trubka ramena 1 v objímce (svěrný spoj, který drží polohu tohoto ramena a je zároveň přípojným místem k Ramenu 2).



## Zajímavost k tématu

Příkladem konzultace výkresové dokumentace při samotné realizaci výroby lze uvést následující:

- Konzultace tvaru objímky (poz. 1 na sestavném výkrese).
- Konzultace uchycení krytu motoru s harmonickou převodovkou.
- Konzultace kuželového ozubeného soukolí.
- Další operativní záležitosti vyplývající z požadavků výroby.

Ve všech případech konzultování výrobní výkresové dokumentace hlavní pod sestavy „Rameno 1“ se jednalo o poměrně snadno řešitelné záležitosti, které nikterak nenarušovaly chod výroby a neovlivňovaly termín dokončení výroby všech konstrukčních dílů manipulační nástavby.

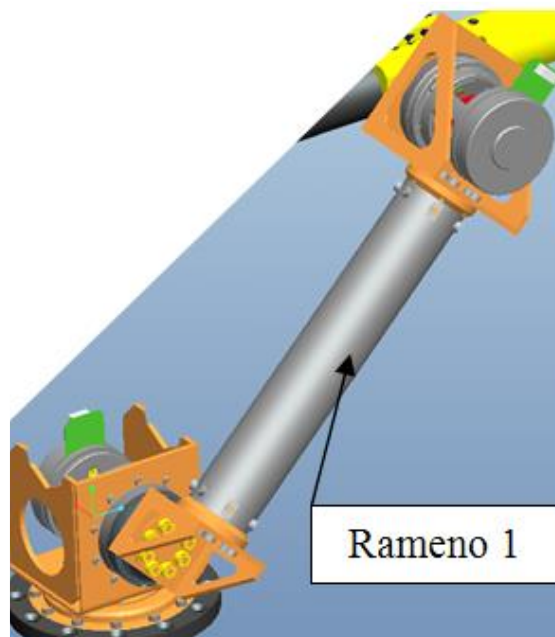
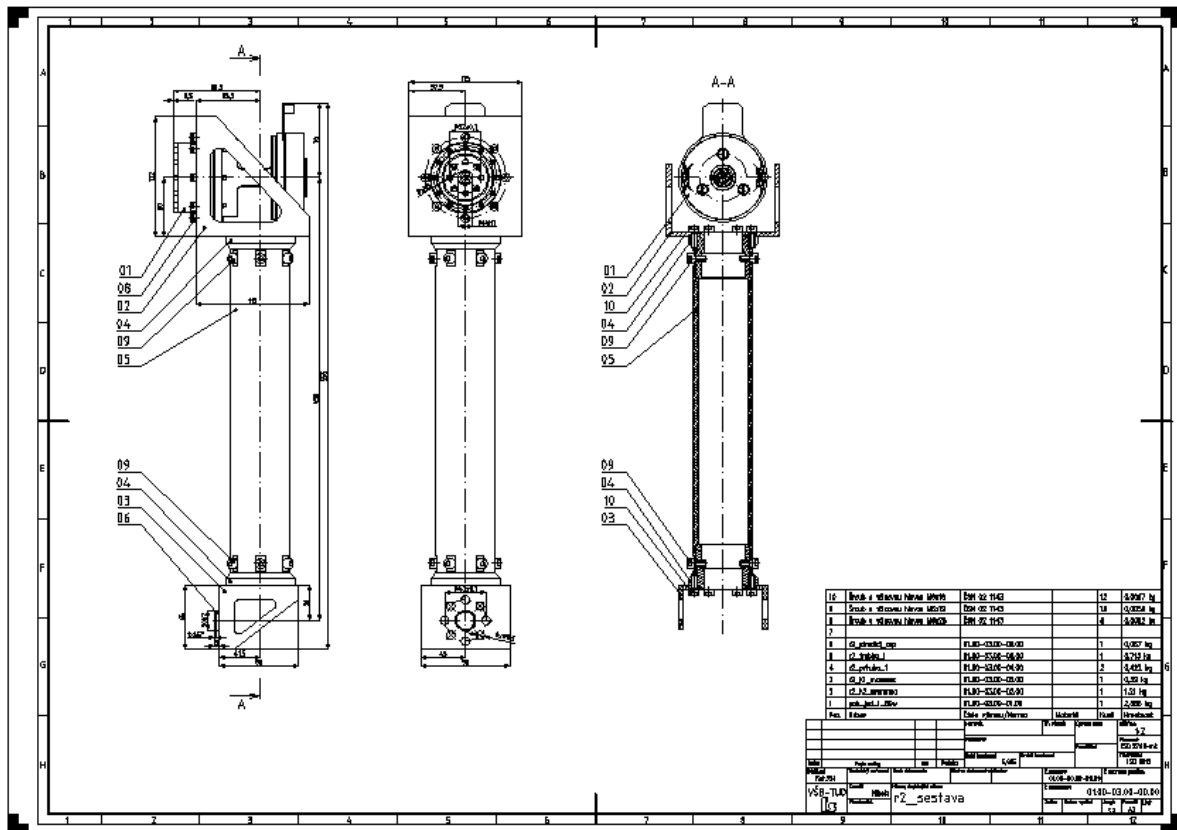
Konzultace tvaru objímky, která představuje svěrný spoj ve kterém je fixována vnější trubka Ramena 1, spočívala v úpravě umožňující smontovatelnost. Celkový pohled na hotovou objímku poz. 1 na sestavném výkrese Ramena 1, včetně krytu je znázorněno na Obrázek 3.16. Uchycení krytu motoru s planetovou převodovkou bylo konzultováno s ohledem na vyvedení kabeláže. Nakonec se ponechalo v nezměněném provedení s tím, že se kabeláž vyřeší až při ožívování celé manipulační nástavby. Kuželové ozubené soukolí představovalo výrobu nového upraveného pastorku s modulem  $m = 1,5$  mm.



Obrázek 3.16 - Ukázka některých realizovaných úprav na objímce

### 3.2.3 Výroba konstrukčních dílů ramena 2

Třetí fází pokračování výroby byla hlavní pod sestava – Rameno 2, která v sobě zahrnovala celkem 15 různých konstrukčních dílů. Celkem se však jednalo o 21 konstrukčních dílů. Na Obrázek 3.17 je znázorněný sestavný výkres Ramena 2 včetně 3D modelu jako třetí hlavní pod sestavy manipulační nástavby (celku).



Obrázek 3.17 - Sestavný výkres Ramena 2 včetně 3D modelu

U výroby jednotlivých dílů celého Ramena 2 bylo potřeba dodržet zejména výrobní tolerance, tak aby byla zajištěna správná funkčnost harmonických převodovek s pohony. Z hlediska správné funkčnosti se jedná o to, aby byla dodržena kolmost podélné osy Ramena 2 na osy obou pohonných jednotek. Další podmínkou bylo, aby byla dodržena souosost děr v obou tvarových kostkách na koncích ramena a děr se závity v harmonických převodovkách.



U výroby jednotlivých komponentů celého Ramena 2 bylo potřeba dodržet zejména výrobní tolerance, tak aby byla zajištěna správná funkčnost harmonické převodovky s pohonem. Z hlediska správné funkčnosti se jedná o to, aby byla dodržena sousost Ramena 3 s Ramenem 2. Další podmínkou bylo, aby byla dodržena sousost děr ve tvarové kostce a děr se závity v harmonické převodovce.



### Zajímavost k tématu

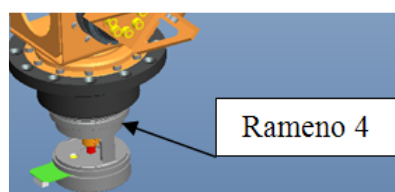
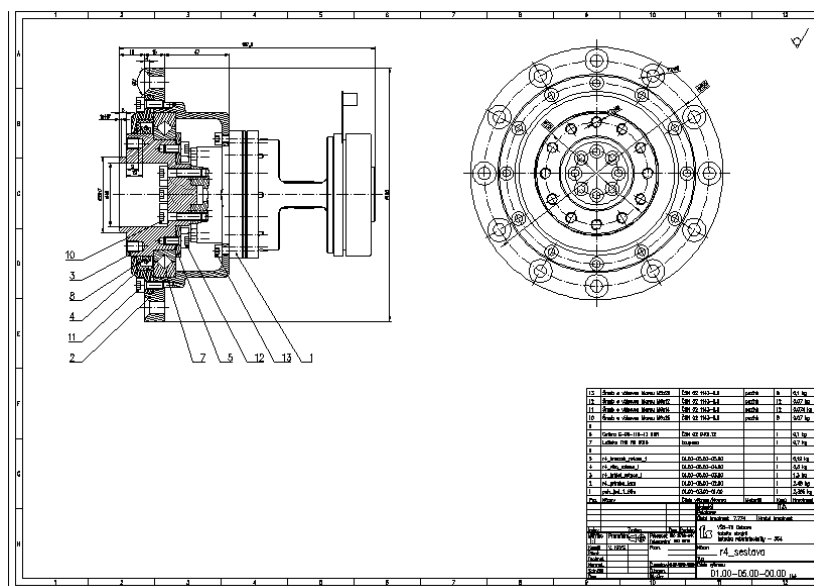
Příkladem konzultace výkresové dokumentace při samotné realizaci výroby lze uvést následující:

- Konzultace připojení objednaných dílů – harmonické převodovky a motoru do tvarové kostky.
- Další operativní záležitosti vyplývající z požadavků výroby.

I v těchto případech konzultování výrobní výkresové dokumentace hlavní podsestavy „Rameny 3“ se jednalo o snadno řešitelné záležitosti, které nikterak nenarušovaly chod výroby a neovlivňovaly termín dokončení výroby všech konstrukčních dílů manipulační nástavby.

### 3.2.5 Výroba konstrukčních dílů ramena 4

Nakonec se jednalo o výrobu hlavní podsestavy – Rameno 4, která v sobě zahrnovala celkem 4 různé konstrukční díly. Na Obrázek 3.19 je znázorněný sestavný výkres ramena 4 včetně 3D modelu jako poslední hlavní podsestavy manipulační nástavby (celku).



Obrázek 3.19 - Sestavný výkres Ramena 4 včetně 3D modelu

U výroby jednotlivých komponentů celého Ramena 4 bylo potřeba dodržet zejména výrobní tolerance, tak aby byla zajištěna správná funkčnost efektoru. Z hlediska správné funkčnosti se jedná o to, aby byly dodrženy sousostí všech děr šroubových spojení, sousostí díry vnitřního průměru pro uložení ložiska se zkříženými válečky a průměrů pro uchycení a uložení harmonické převodovky a motoru.

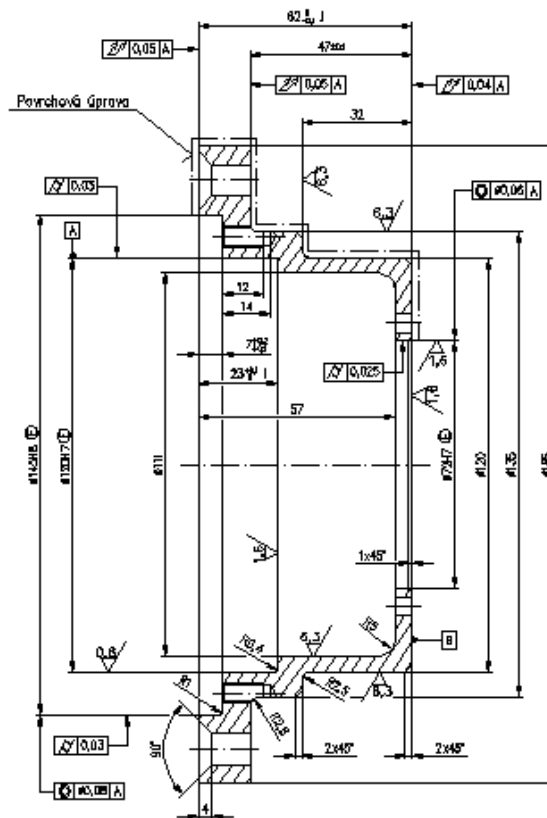


### Zajímavost k tématu

Příkladem konzultace výkresové dokumentace při samotné realizaci výroby lze uvést následující:

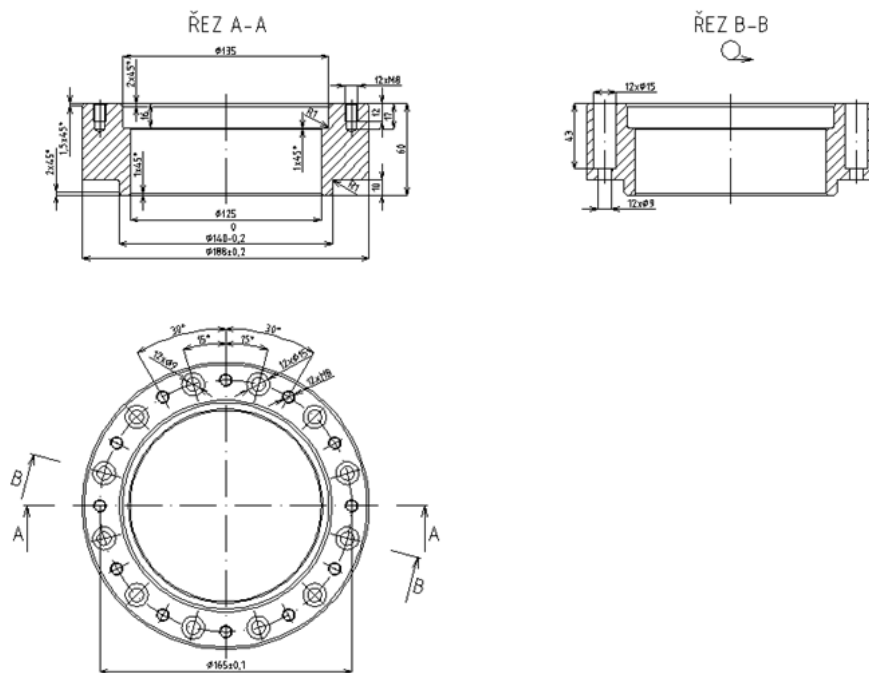
- Konzultace připojení objednaných dílů – harmonické převodovky a motoru do konstrukčních dílů.
- Konzultace uložení ložiska se zkříženými válečky do příslušného konstrukčního dílu.
- Konzultace připojení spojovacího dílů.
- Další operativní záležitosti vyplývající z požadavků výroby.

Ve všech případech konzultování výrobní výkresové dokumentace hlavní pod sestavy „Rameno 4“ se jednalo o poměrně snadno řešitelné záležitosti, které nikterak nenarušovaly chod výroby a neovlivňovaly termín dokončení výroby všech konstrukčních dílů manipulační nástavby. Výjimku tvořil konstrukční díl, ve kterém je uloženo ložisko se zkříženými válečky, kde se muselo čekat na dodání objednaného ložiska. Řez tímto díle je znázorněn na Obrázek 3.20.



Obrázek 3.20 - Řez konstrukčním dílem ve kterém je uloženo ložisko se zkříženými válečky

Konzultace připojení spojovacího dílu představovala dodělání modelu a výrobního výkresu dalšího konstrukčního dílu jako doplněk manipulační nástavby. Vzhledem k tomu, že na servisním mobilním robotu bude umístěn také nástavbový modul pro odběr kapalných a plyných vzorků bylo potřeba dodat k manipulační nástavbě spojovací díl. Ten představuje posunutí manipulační nástavby v ose rotační základny směrem nahoru o 55 mm. To bylo nutno realizovat proto, aby manipulační nástavba při pohybu nešla do kolize s nástavbovým modulem pro odběr kapalných a plyných vzorků (tento nástavbový modul je umístěn uprostřed horní plošiny servisního mobilního robotu). Tento konstrukční díl je znázorněn na Obrázek 3.21.



Obrázek 3.21 - Spojovací díl

### 3.3 Etapa montáže manipulační nástavby



**Cíl:** Popsání postupu montáže jednotlivých částí manipulační nástavby

- ✚ Postup montáže jednotlivých částí manipulační nástavby (efektor, ramena 1 až 4)
- ✚ Podrobnější popis problémů vyskytujících se při montáži, jejich závažnost a způsob jejich odstranění



**Výklad**

Etapa montáže v sobě zahrnuje řadu úkonů, které je potřeba zabezpečit při samotné montáži, v tomto případě manipulační nástavby pro servisní mobilní robot. Kompletní manipulační nástavba v sobě zahrnuje celkem pět hlavních dílčích celků (podsestav), jak je uvedeno podle názvů v podkapitole 3.1. Jak již bylo uvedeno, jedná se v tomto případě o



kusovou výrobu, takže získané poznatky a případné realizované úpravy se nepromítnou do opakované výroby.

Řada úprav na konstrukčních dílech byla provedena již při výrobě, což se projevilo v usnadnění celého montážního procesu. Celá montáž probíhala u výrobce konstrukčních dílů manipulační nástavby. Jak se ukázalo, bylo účelné realizovat montáž u výrobce s ohledem na skutečnost, že zde byl k dispozici strojní park a široká škála nářadí a potřebných pomůcek.



### Důležité informace

Proto lze potvrdit názor, že nelze přebrat vyrobené konstrukční díly a bez příslušného dílenského vybavení tyto smontovat do funkčních podskupin a celku. Tento postup není možný z toho důvodu, že v procesu montáže se projeví drobné konstrukční nedostatky či chyby vzniklé při výrobě konstrukčních dílů, apod.

Důležitou částí je vytvoření montážního postupu u jednotlivých podsestav a z nich složeného funkčního celku, ještě před započítím s montáží. Tato skutečnost velmi usnadní proces montáže, zejména pak z časového hlediska. Před započítím montážního procesu byly pro celkové usnadnění realizovány následující činnosti:

- Vyhrazení dostatečně velkého prostoru pro provádění montáže.
- Kompletace všech vyrobených konstrukčních dílů na montážní plochu podle jednotlivých podsestav na:
  - seskupení dílů efektoru;
  - seskupení dílů ramena 1;
  - seskupení dílů ramena 2;
  - seskupení dílů ramena 3;
  - seskupení dílů ramena 4.
- Kompletace všech nakupovaných dílů na montážní plochu podle jednotlivých podsestav jak je uvedeno v předchozí odrážce.
- Kompletace spojovacího materiálu na montážní plochu podle jednotlivých podsestav jak je uvedeno v předchozí odrážce.
- Příprava potřebného montážního nářadí.
- Příprava výrobní dokumentace v podobě jednotlivých sestavných výkresů podle podsestav.
- Příprava mazacích tuků, měřidel, apod.
- Ostatní.

#### 3.3.1 Montáž efektoru

Na základě provedených zjednodušení a drobných úprav v etapě výroby jednotlivých konstrukčních dílů efektoru probíhala jeho montáž bez problémů. Po smontování jednotlivých konstrukčních dílů do celku byly oba paralelogramy funkční.



### Zajímavost k tématu

Funkčnost (snadné pohybování paralelogramy) byla odzkoušena ručně ještě před namontováním motoru s planetovou převodovkou. Všechny díly šli smontovat snadno bez

nutnosti použití větších sil při spojování jednotlivých konstrukčních dílů do sebe. Při montáži bylo potřeba zohlednit, že některé konstrukční díly měly povrchovou úpravu, která neměla být při montáži poškozena.



### Důležité informace

#### Řešení problémů při montáži efektoru

Po smontování celého efektoru se ukázalo jako nedostatek, že obě čelisti zcela nepřiléhaly k sobě při jejich sevření. Jednalo se řádově o desetiny milimetru, ale při uchopení např. papíru by se tento nedostatek mohl projevit jako velmi nežádoucí. K odstranění tohoto nedostatku byla přijata úprava v podobě nalepení pryžových vložek na dosedací plochy čelistí efektoru. Ukázku smontovaného efektoru bez připojené kabeláže k motoru určeného k rozevření a sevření čelistí znázorňuje Obrázek 3.22.



Obrázek 3.22 - Smontovaný efektor

### 3.3.2 Montáž ramena 1

Na základě provedených konzultací uvedených v podkapitole 3.2.2 v etapě výroby jednotlivých konstrukčních dílů ramena 1 probíhala jeho montáž bez větších problémů. Po smontování jednotlivých konstrukčních dílů do celku bylo rameno 1 funkční.



### Zajímavost k tématu

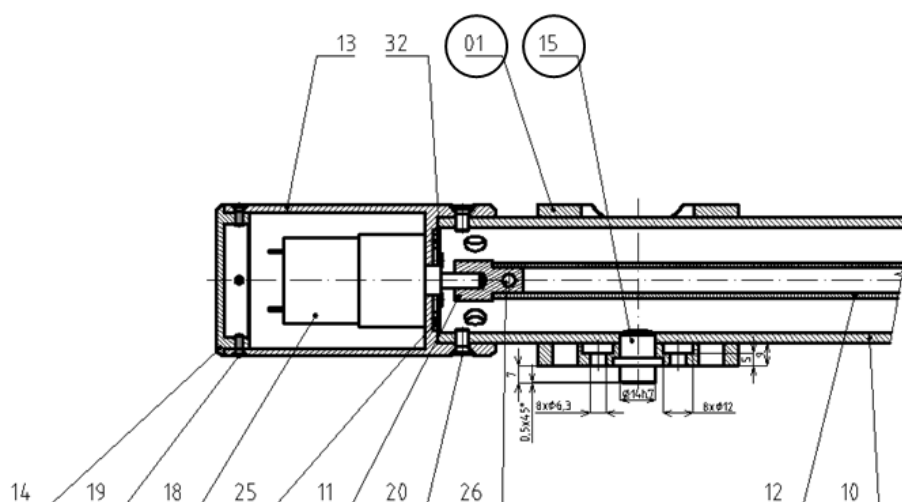
Funkčnost (snadné pohybování kuželovým pastorkem) byla odzkoušena ručně ještě před namontováním motoru s planetovou převodovkou. Všechny díly šli smontovat snadno bez nutnosti použití větších sil při spojování jednotlivých konstrukčních dílů do sebe. Při montáži bylo potřeba zohlednit, že u některých konstrukčních dílů nesměla být při montáži poškozena povrchová plocha.



## Důležité informace

### Řešení problémů při montáži ramena 1

Pro smontování celého ramena 1 se ukázalo jako jedno z problematických míst objímka pozice 1 na sestavném výkrese ramena 1 a čep pozice 15. Tento konstrukční uzel nebylo možno smontovat. Proto musel být upraven čep pozice 15. Schéma tohoto konstrukčního uzlu je vidět na Obrázek 3.23 na znázorněném řezu. Na Obrázek 3.24 je vidět smontovaný konstrukční uzel.

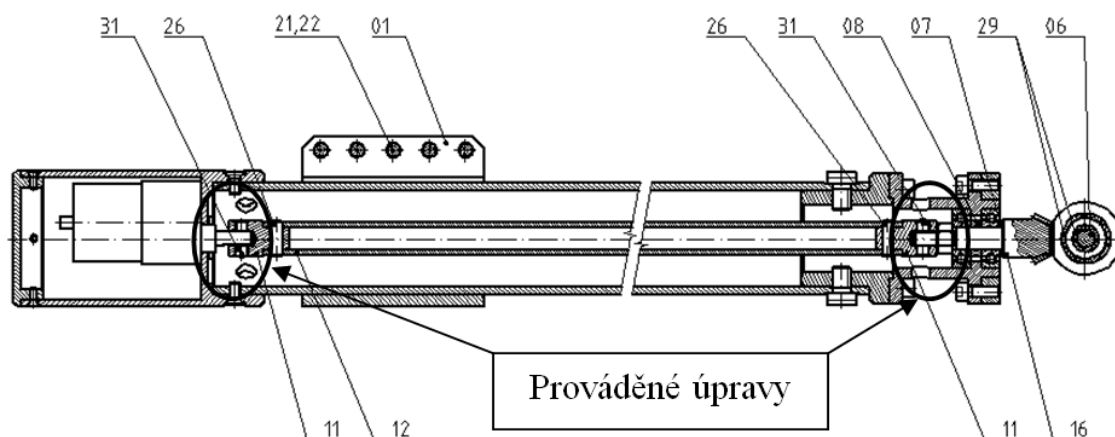


Obrázek 3.23 - Montáž objímky poz. 1 a čepu poz. 15



Obrázek 3.24 - Smontovaný konstrukční uzel

Další úskalí se projevilo při skládání pozice 12 s pozicemi 16 a 18 vyznačené na sestavném výkrese ramena 1. Na pozici 12 bylo nutno provést sražení hrany na vnitřních krajních otvorech, tak aby se jednotlivé uvedené pozice daly do sebe vložit. Tuto montáž nelze provádět jinak než při smontovaných pozicích 9, 10, apod. (smontované rameno). Vyznačení těchto problematických míst znázorňuje Obrázek 3.25.



Obrázek 3.25 - Montáž poz. 12, 16 a 18

Další problematickou záležitostí bylo přitažení stavěcích šroubů ve vyznačených místech na Obrázek 3.25. Zde je nutno použít Loctite z důvodů, aby nedocházelo k povolování stavěcích šroubů. Mírným povolením těchto stavěcích šroubů (dosedají na malou plošku hřídelek převodovky a ozubeného kuželového kola) vznikají vůle, které mají nepříznivý vliv na otáčení efektoru (trhavý pohyb).

Dále to byly už jen drobnosti, které bylo potřeba při montáži vyřešit. Při řešení uvedených skutečností bylo nutno jednotlivé konstrukční díly několikrát rozebrat a opětovně složit. Schéma smontovaného ramena 1 znázorňuje Obrázek 3.26.



Obrázek 3.26 - Smontované rameno 1

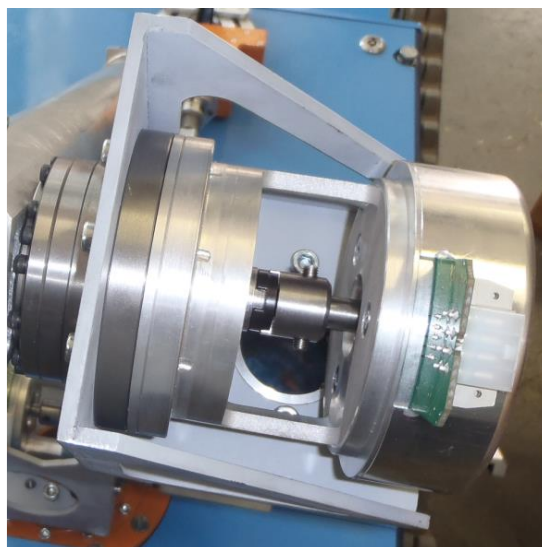
### 3.3.3 Montáž ramena 2

Na základě provedených konzultací uvedených v podkapitole 3.2.3 v etapě výroby jednotlivých konstrukčních dílů ramena 2 probíhala jeho montáž bez řešení větších problémů. Po smontování jednotlivých konstrukčních dílů do celku bylo rameno 2 funkční.



#### Zajímavost k tématu

Funkčnost spočívala v pouhém poskládání jednotlivých konstrukčních dílů. Všechny díly šli smontovat snadno bez nutnosti použití větších sil při spojování jednotlivých konstrukčních dílů do sebe. Při montáži bylo potřeba zohlednit, že u některých konstrukčních dílů nesměla být při montáži poškozena povrchová plocha. Dále bylo při montáži potřeba dodržet správný postup při skládání harmonické převodovky, která je umístěna v kloubu, ke kterému je připojeno rameno 1. V tomto konstrukčním uzlu bylo potřeba dbát na dodržení souososti motoru a harmonické převodovky. Ukázka tohoto konstrukčního uzlu je znázorněna na Obrázek 3.27.



Obrázek 3.27 - Konstrukční uzel kloubu ramena 2



### Důležité informace

#### Řešení problémů při montáži ramena 2

Pro smontování celého ramena 2 se ukázalo jako jedno z problematických míst použití gufera v konstrukčním uzlu znázorněném na obr. 1.26. S umístěným guferem docházelo k nadměrnému tření a tím ke zhoršenému chodu při rotaci v tomto kloubu.

Dále to byly už jen drobnosti, které bylo potřeba při montáži vyřešit. Při řešení uvedených skutečností bylo nutno jednotlivé konstrukční díly několikrát rozebrat a opětovně složit. Schéma smontovaného ramena 2 znázorňuje Obrázek 3.28.



Obrázek 3.28 - Smontované rameno 2

### 3.3.4 Montáž ramena 3

Na základě provedených konzultací uvedených v podkapitole 3.2.4 v etapě výroby jednotlivých konstrukčních dílů ramena 3 probíhala jeho montáž bez větších problémů. Po smontování jednotlivých konstrukčních dílů do celku bylo rameno 3 funkční.





### Zajímavost k tématu

Funkčnost spočívala v pouhém poskládání jednotlivých konstrukčních dílů. Všechny díly šli smontovat snadno bez nutnosti použití větších sil při spojování jednotlivých konstrukčních dílů do sebe. Při montáži bylo potřeba zohlednit, že u některých konstrukčních dílů nesměla být při montáži poškozena povrchová plocha.

Dále bylo při montáži potřeba dodržet správný postup při skládání harmonické převodovky (podobně jako tomu bylo u ramena 2). Rameno 3 představuje rotační kloub, okolo jeho osy se otáčí rameno 2. V tomto konstrukčním uzlu bylo potřeba dbát na dodržení sousostí motoru a harmonické převodovky.



### Důležité informace

#### Řešení problémů při montáži ramena 3

Pro smontování celého ramena 3 se ukázalo jako jedno z problematických míst opět použití gufera v tomto konstrukčním uzlu. S umístěným guferem docházelo k nadměrnému tření a tím ke zhoršenému chodu při rotaci v tomto kloubu.

Dále to byly už jen drobnosti, které bylo potřeba při montáži vyřešit. Při řešení uvedených skutečností bylo nutno jednotlivé konstrukční díly několikrát rozebrat a opětovně složit. Schéma smontovaného ramena 3 znázorňuje Obrázek 3.29.



Obrázek 3.29 - Smontované rameno 3

### 3.3.5 Montáž ramena 4

Na základě provedených konzultací uvedených v podkapitole 3.2.5 v etapě výroby jednotlivých konstrukčních dílů ramena 4 probíhala jeho montáž bez větších problémů. Po smontování jednotlivých konstrukčních dílů do celku bylo rameno 4 funkční.



### Zajímavost k tématu

Funkčnost spočívala v pouhém poskládání jednotlivých konstrukčních dílů. Všechny díly šli smontovat snadno bez nutnosti použití větších sil při spojování jednotlivých konstrukčních dílů do sebe. Výjimku tvořilo gufera a ložisko se zkříženými válečky. Zde bylo nutno při montáži použít lis. Při montáži bylo potřeba zohlednit, že u některých konstrukčních dílů nesměla být při montáži poškozena povrchová plocha.

Dále bylo při montáži potřeba dodržet správný postup při skládání harmonické převodovky (podobně jako tomu bylo u ramena 2 a 3). Rameno 4 představuje rotační kloub (rotační základnu), kde se okolo jeho svislé osy otáčí celá manipulační nástavba. V tomto konstrukčním uzlu bylo potřeba dbát na dodržení sousostí motoru a harmonické převodovky a dalších konstrukčních prvků.

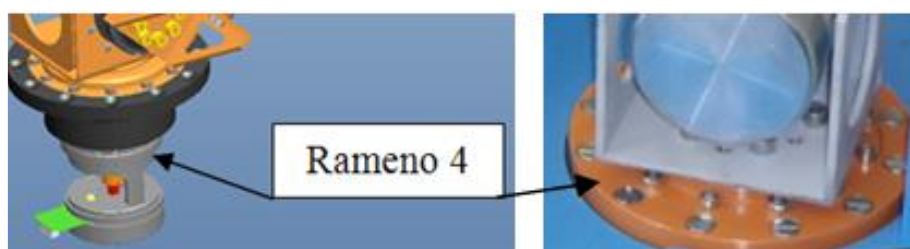


### Důležité informace

#### 🔧 Řešení problémů při montáži ramena 4

Pro smontování celého ramena 4 se ukázalo jako jedno z problematických míst připojení muzikusu k přírubě (poz. 2 na sestavném výkrese ramena 4). Zde se museli upravovat některé vnitřní a vnější průměry na uvedených dílech a také sousost otvorů pro vzájemné spojení a zároveň připojení na servisní mobilní robot.

Dále to byly už jen drobnosti, které bylo potřeba při montáži vyřešit. Při řešení uvedených skutečností bylo nutno jednotlivé konstrukční díly několikrát rozebrat a opětovně složit. Schéma smontovaného ramena 4 znázorňuje Obrázek 3.30.



Obrázek 3.30 - Smontované rameno 4

### 3.3.6 Montáž manipulační nástavby do celku

Všechny výše uvedené smontované podsestavy bylo potřeba smontovat do jednoho funkčního celku. Tato montáž probíhala poměrně snadno bez větších komplikací. Po smontování jednotlivých podstav do celku byla manipulační nástavba funkční.



### Zajímavost k tématu

Funkčnost spočívala v bezproblémovém pohybu jednotlivých kloubů. Všechny podsestavy šli smontovat snadno bez nutnosti použití větších sil při spojování jednotlivých



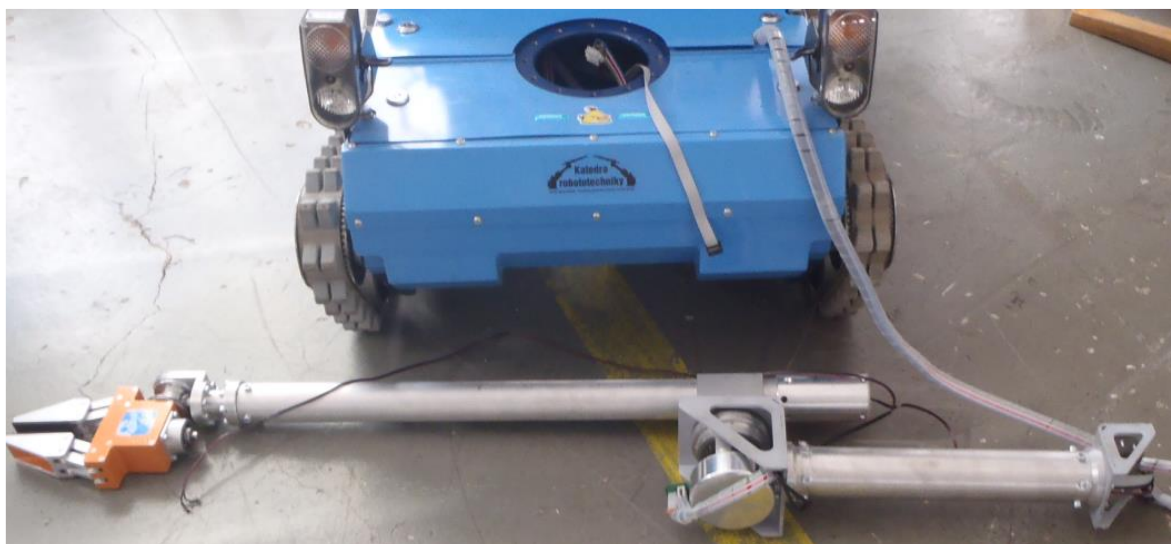
funkčních celků do sebe. Při montáži bylo potřeba zohlednit, že u některých konstrukčních dílů nesměla být při montáži poškozena povrchová plocha.



### Důležité informace

#### 🔧 Řešení problémů při montáži manipulační nástavby do celku

Pro smontování celé manipulační nástavby se ukázalo jako jedno z problematických míst připojení mezikusů k přírubě (poz. 2 na sestavném výkrese ramena 4). Zde se museli provádět úpravy popsané v předchozí podkapitole. Vzhledem k tomu, že mezikus se dodával až po smontování celé manipulační nástavby a jejím upevnění na servisním mobilním robotu, bylo potřeba tuto opětovně demontovat z robotu a provést nasazení mezikusů. Na problémy s připojením mezikusů se přišlo až při jeho aplikaci. Dále to byly už jen drobnosti, které bylo potřeba při montáži vyřešit. Schéma demontované manipulační nástavby z robotu z důvodu nasazení a úpravy mezikusů znázorňuje Obrázek 3.31.



Obrázek 3.31 - Demontovaná manipulační nástavba z robotu

Následně po montáži celé manipulační nástavby a jejím namontování na servisní mobilní robot bylo realizováno její oživení. Realizovala se kabeláž a vytvoření řídicího programu pro ovládání manipulační nástavby z kufru operátora (stanoviště operátora).

### 3.3.7 Zhodnocení výroby a montáže manipulační nástavby pro SMR

Po úspěšném vyrobení, smontování a aplikaci manipulační nástavby na servisní mobilní robot proběhla schůzka řešitelského týmu. Této schůzce se účastnil také zástupce výroby. Na schůzce vystoupil nejprve zástupce výroby a následně další členové řešitelského týmu. Byla zhodnocena všechna úskalí, nedostatky a hlavně poznatky z výroby.

Tyto poznatky byly velmi podnětné jednak pro konstrukci tak, aby při realizaci dalších podobných projektů se dalo těmto nedostatkům předejít. Stejně tak byly tyto poznatky podnětné pro další realizace procesů výroby a montáže.

### 3.4 Etapa testování a následného provozu manipulační nástavby



**Cíl:** Seznámení s postupem prací po montáži a problémy, jež se vyskytly za provozu

- ✚ Oživení manipulační nástavby
- ✚ Prezentace mobilního robotu na různých akcích
- ✚ Popis problémů, jež se vyskytly během provozu a způsob jejich řešení



#### Výklad

Etapa testování v sobě zahrnuje řadu úkonů, které je potřeba zabezpečit při samotném provozu, v tomto případě manipulační nástavby pro servisní mobilní robot. Kompletní manipulační nástavba v sobě zahrnuje celkem pět stupňů volnosti.



#### Důležité informace

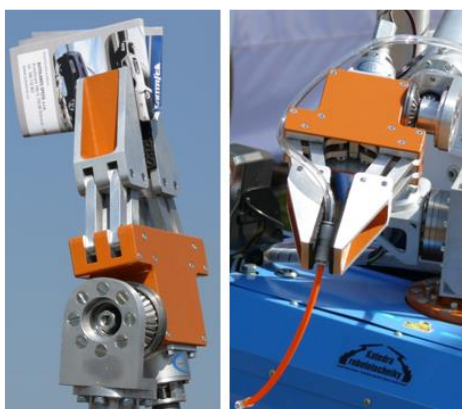
Z hlediska nepřesnosti výroby jednotlivých konstrukčních dílů a následné realizace montáže mohly vzniknout nežádoucí vůle. Tyto vůle mohou ovlivnit činnost efektoru při uchopování objektů manipulace a jeho následném polohování. Tuto skutečnost, zda k tomuto jevu nedochází, bylo potřeba ověřit. Manipulační nástavba má také určitou nosnost a rychlost pohybu jednotlivých ramen. Proto bylo potřeba také ověřit tuhost obou ramen manipulační nástavby. Dále bylo potřeba ověřit pohyblivost, snadnou ovladatelnost a způsob řízení manipulační nástavby. Tyto a řada dalších činností v sobě zahrnují proces testování manipulační nástavby.

Po montáži manipulační nástavby na servisní mobilní robot bylo zkontrolováno dotažení všech šroubů a konstrukční uzly, které se mohly podílet na vzniku nežádoucích vůlí. Tuhost manipulační nástavby byla ověřována nalepením tenzometrů na vnější plochu ramen a následně probíhalo zatěžování. Zde se ukázalo, že odchylka koncového bodu na efektoru vykazuje řádově milimetrové odchylky při zatěžování na dovolenou nosnost. Z hlediska navrženého řídicího programu se ukázala manipulační nástavba jako plně funkční a vyhovující.

První zkouškou pro ověření funkčnosti manipulační nástavby v provozu byly dny NATO, které se uskutečnily v září roku 2011. K této akci měla být také manipulační nástavba zprovozněna a představena veřejnosti. Ukázka představeného robotu s namontovanou manipulační nástavbou a operátorským stanovištěm (kufr operátora, ze kterého probíhá ovládání pohybů manipulační nástavby) znázorňuje Obrázek 3.32. Představení uchopování různých předmětů efektozem znázorňuje Obrázek 3.33. Manipulační nástavba na servisním mobilním robotu byla představena ještě na řadě dalších akcí. Stejně tak probíhala řada dalších testování manipulační nástavby.



Obrázek 3.32 - Manipulační nástavba na SMR



Obrázek 3.33 - Uchopování předmětů efektozem manipulační nástavby

### 3.4.1 Řešení problémů při testování manipulační nástavby

Podstatným stěžejním problémem se ukázaly planetové převodovky aplikované na motorech Polou. Tyto pohonné jednotky ovládají natáčení efektoru a pohyb jeho čelistí. Už při prezentaci na dnech NATO došlo k poruše na planetové převodovce pohonné jednotky pro ovládání pohybů čelisti. Převodovka byla reklamována a následně vyměněna. Při dalším testování manipulační nástavby došlo k poruše i na druhé planetové převodovce pohonné

jednotky pro rotaci efektoru. Z těchto důvodů byla v roce 2012 provedena konstrukční úprava v podobě záměny obou uvedených pohonných jednotek za jiné. Byly aplikovány motory MAXON s planetovými převodovkami. U těchto nově aplikovaných pohonných jednotek se doposud uvedený problém neprojevil.

Dále došlo k nahrazení řídicího počítače z původního notebooku na ním PC, které se umístilo do boxu uvnitř robotu v jeho zadní části. Současné provedení manipulační nástavby a umístění řídicího PC znázorňuje Obrázek 3.34.



Obrázek 3.34 - Současné provedení manipulační nástavby



## 4 REALIZACE MĚŘENÍ DEFORMACÍ MANIPULAČNÍHO SUBSYSTÉMU

Realizací měření deformací manipulačního mobilního robotu bylo nutné měřit z důvodu zjištění, jak velký je celkový pokles ramene při zatížení a následné ověření teoretickým výpočtem.

### 4.1 Návrh měření a popis mobilního robotu ARES



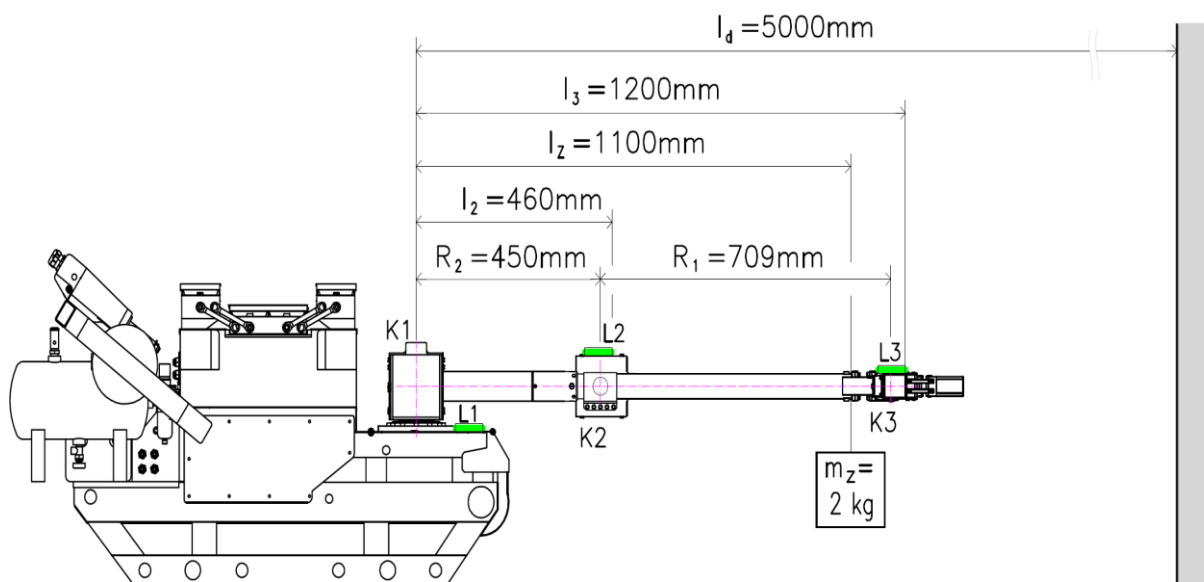
**Cíl:** Seznámení s měřícím subsystémem

- ✚ Popis vybavení použitého při měření průhybu manipulační nástavby
- ✚ Nastínění způsobu měření

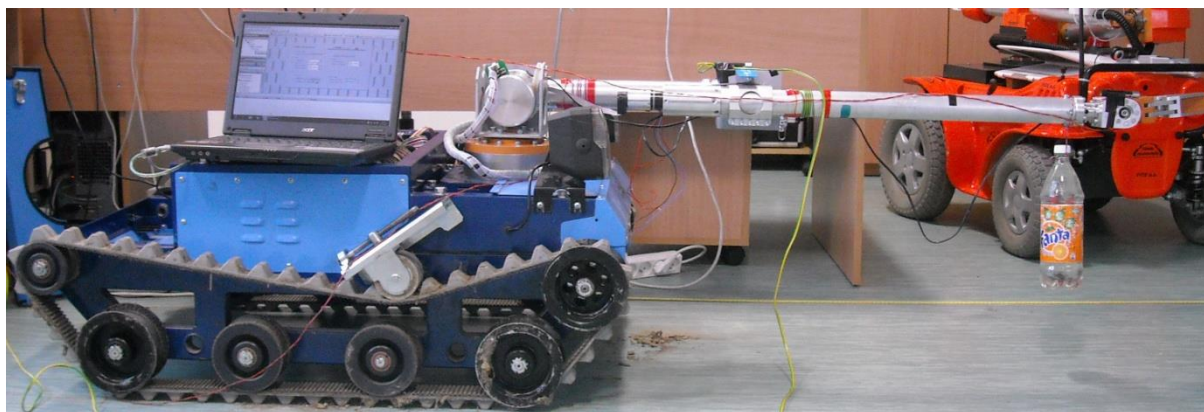


**Výklad**

Pro měření deformací manipulační nástavby, skládající se ze dvou částí, byla navržena a realizována metoda využívající laserových diod (ukazovátek). Jejich umístění je znázorněno na Obrázek 4.1 a Obrázek 4.2. Princip měření je založen na přenosu deformace ramene (respektive jeho dvou částí) optickou cestou (paprskem laserových diod) na stěnu. Při dostatečné vzdálenosti této stěny od ramene je patrná změna polohy (výchylka) stop paprsků (bodů) vytvořených laserovými diodami L2 a L3. Vzdálenost  $l_d$  mezi stěnou a kloubem K1 byla 5 m. Dále popsáný výpočet vychází z podobnosti trojúhelníků [4.2].

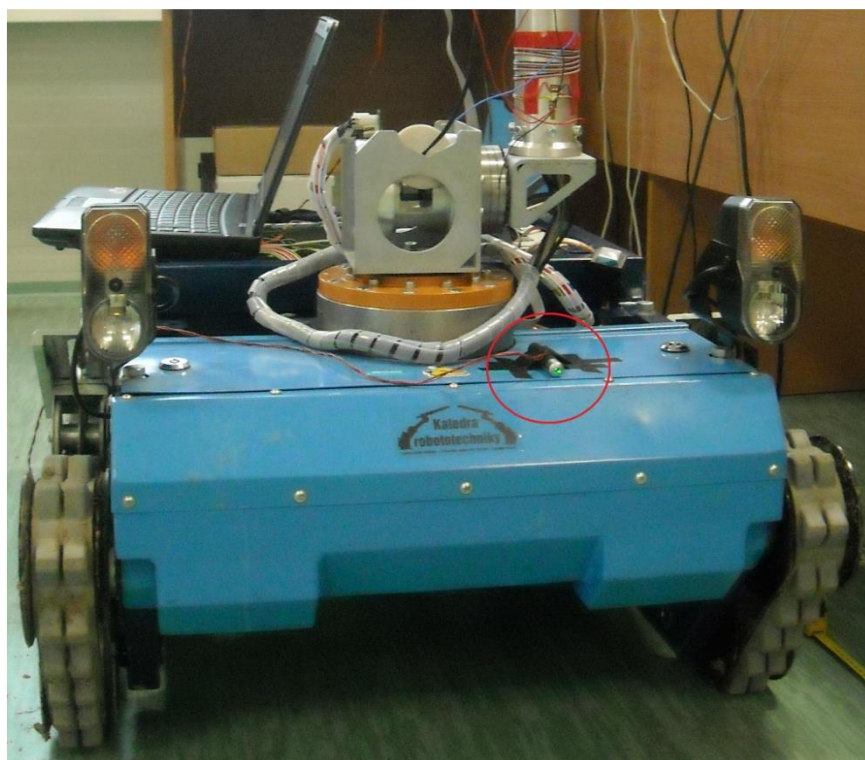


Obrázek 4.1 - Schéma umístění měřících laserových diod (L1 až L3 - laserové diody, K1 až K3 - klouby)



Obrázek 4.2 - Manipulační nástavba osazená laserovými diodami

Vzhledem k tomu, že celá manipulační nadstavba je umístěna na odpruženém testovacím podvozku, dochází během měření k jejímu naklonění. K eliminaci tohoto náklonu z měření je měřicí systém doplněn třetí laserovou diodou – L1. Tato dioda je umístěna na základní karoserii robotu (Obrázek 4.3) a měří náklon podvozku. Vůči této základně je výsledné měření deformace vztahováno [4.2].



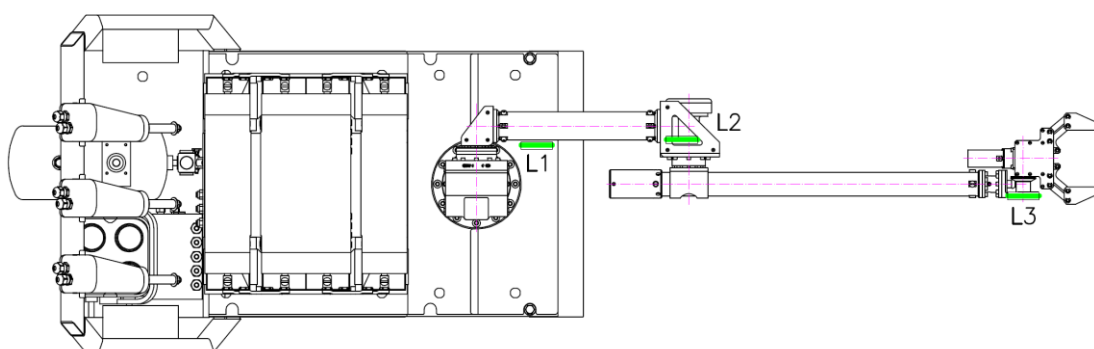
Obrázek 4.3 - Umístění laserové diody L1

Cílem toho měření bylo získat hodnoty deformací na konci prvního ramene – tedy v místě uchycení L2 a na konci celého manipulačního subsystému, tedy v místě uchycení (Obrázek 4.4 a Obrázek 4.5). Výsledky tohoto měření jsou v závěru porovnány s teoretickými vypočtenými hodnotami [4.2].





Obrázek 4.4 - Umístění laserové diody L2 a L3



Obrázek 4.5 - Pohled shora na robot ARES s vysunutým ramenem a naznačením umístění laserových měřících diod L1, L2 a L3

## 4.2 Popis převodové jednotky CSG-2UH



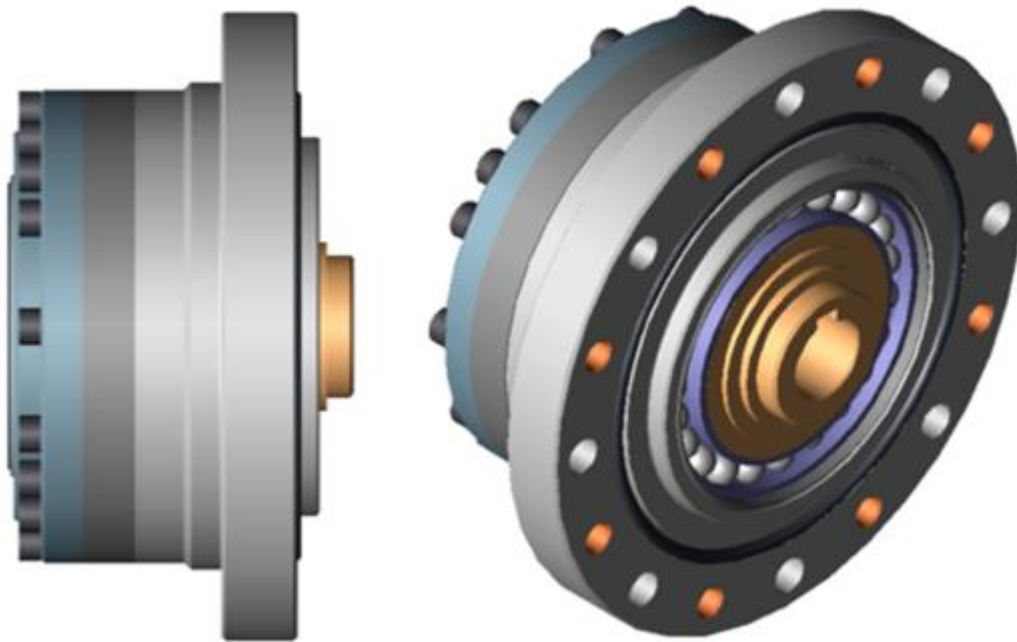
**Cíl:** Seznámení s převodovými jednotkami CSG-2UH

- ✚ Základní vlastnosti a konstrukční uspořádání použitých převodových jednotek
- ✚ Konkrétní katalogové hodnoty k použitým typům převodových jednotek řady CSG-2UH



**Výklad**

V případě manipulační nástavby mobilního robotu ARES jsou použity převodové jednotky s harmonickou převodovkou CSG-2UH-160-20 (v kloubu K2 a v základně rotace), a výkonnější CSG-2UH-160-25 (v kloubu K1). Převodovky jsou výrobkem společnosti Harmonic Drive AG.



Obrázek 4.6 - Model převodové jednotky CSG-2UH-160-20

Převodové jednotky řady CSG-2UH jsou charakterizovány spojením harmonické převodovky s ložiskem se zkříženými válečky na výstupu převodovky. Toto řešení umožňuje připojení ramene manipulační nástavby bez použití dalších podpůrných prvků. K výhodám těchto jednotek patří [4.3]:

- Vysoké přenášené kroucí momenty
- Vysoká únosnost výstupního ložiska
- Přesnost polohování
- Kompaktní rozměry
- Vysoké převodové poměry
- Vysoká torzní tuhost
- Nulové vůle
- Vysoká účinnost
- Snadná instalace a montáž
- Dlouhá životnost

Tab. 4.1 - Technické parametry převodové jednotky CSG-2UH-160-20 [4.3]

Technické parametry převodové jednotky CSG-2UH-160-20	
Parametr	Hodnota
Převodový poměr	160
Jmenovitý výstupní krouticí moment	52 Nm
Maximální opakovatelný výstupní krouticí moment	120 Nm
Maximální krátkodobé přetížení jednotky	191 Nm
Přípustný dynamický klopný moment na výstupní přírubě	91 Nm
Přípustné dynamické axiální zatížení	3511 N
Přípustné dynamické radiální zatížení	2354 N



### Důležité informace

Samotná převodovka má vliv na výslednou torzní tuhost ramen jak se zátěží, tak bez zátěže. Proto jsou z příslušných katalogových listů použity vzorce a hodnoty pro výpočty.

## 4.3 Určení průhybu manipulační nástavby na základě výpočtů a pevnostní analýz



**Cíl:** Určení posunutí vybraného bodu manipulační nástavby v závislosti na zatížení

- ✚ Určení průhybů ramen manipulační nástavby na základě pevnostních analýz
- ✚ Určení pohybu sledovaných bodů v závislosti na deformaci pružných členů harmonických převodovek
- ✚ Určení výsledného posunutí vybraného bodu v závislosti na zatížení



### Výklad

Moment  $T$  se rovná součinu působící síly na určitém rameni, síle dané hmotností objektu manipulace (OM) a efektoru nebo síle vyvozenou vlastní hmotností ramene, přímo úměrnou vzdálenosti působíště od středu příruby. Hmotnost objektu manipulace vychází ze zadání z požadavkového listu manipulační nástavby. Hmotnosti jednotlivých částí manipulační nástavby byly určeny na základě modelu vytvořeného v programu ProEngineer. Následně byly ověřeny na reálné manipulační nadstavbě. Pevnostní analýzy následně provedl Ing. František. Soustava byla analyzována metodou konečných prvků. Těžiště efektoru a ramen bylo také určeno na základě 3D modelu.

Potřebné hodnoty jsou zahrnuty v působících tíhách A, B, C a jejich vzdálenostech  $l_A$ ,  $l_B$ ,  $l_C$  na základě získaných podkladů [4.4]. Na základě těchto hodnot je možné určit posun  $d$  sledovaného bodu v závislosti na zatížení.

### 4.3.1 Analýza ramene 1

Tab. 4.2 - Vstupní hodnoty pro pevnostní analýzu ramene 1

Technické parametry převodové jednotky CSG-2UH-160-20	
Parametr	Hodnota
Síla reprezentující hmotnost objektu manipulace a efektoru A	36,74 N
Síla vyvozená vlastní hmotností ramene 1 B	33,38 N
Vzdálenost působíště síly A od středu příruby	756 mm
Vzdálenost působíště síly B od středu příruby	311 mm
Tíhové zrychlení g	9,81 m·s <sup>-2</sup>

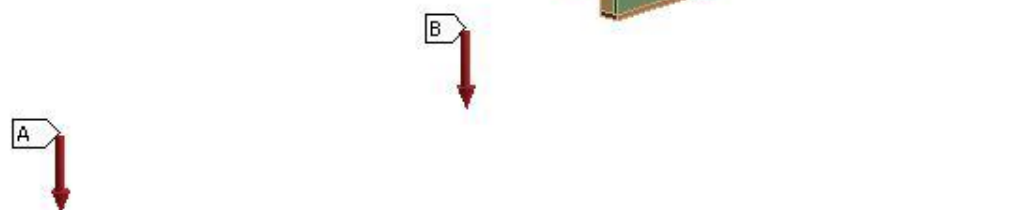
#### E: Static Structural

Remote Force 2

Time: 1. s

4/9/2011 2:32 AM

- A** Remote Force: 36.74 N
- B** Remote Force 2: 33.38 N



Obrázek 4.7 - Zatížení ramene 1

Z katalogových listů převodových jednotek řady CSG-2UH [4.3] byly určeny potřebné koeficienty pro výpočet úhlu zkrutu pružného členu harmonické převodovky (Obrázek 4.8).

CSG-2UH Baugröße / Size		14	17	20	25	32	40	45	50	58	65
T <sub>1</sub> [Nm]		2	3,9	7	14	29	54	76	108	168	235
T <sub>2</sub> [Nm]		6,9	12	25	48	108	196	275	382	598	843
i = 50	K <sub>3</sub> [Nm/rad]	0,57x10 <sup>4</sup>	1,30x10 <sup>4</sup>	2,3x10 <sup>4</sup>	4,4x10 <sup>4</sup>	9,8x10 <sup>4</sup>	1,8x10 <sup>5</sup>	2,6x10 <sup>5</sup>	3,4x10 <sup>5</sup>	5,4x10 <sup>5</sup>	7,8x10 <sup>5</sup>
	K <sub>2</sub> [Nm/rad]	0,47x10 <sup>4</sup>	1,10x10 <sup>4</sup>	1,8x10 <sup>4</sup>	3,4x10 <sup>4</sup>	7,8x10 <sup>4</sup>	1,4x10 <sup>5</sup>	2,0x10 <sup>5</sup>	2,8x10 <sup>5</sup>	4,4x10 <sup>5</sup>	6,1x10 <sup>5</sup>
	K <sub>1</sub> [Nm/rad]	0,34x10 <sup>4</sup>	0,81x10 <sup>4</sup>	1,3x10 <sup>4</sup>	2,5x10 <sup>4</sup>	5,4x10 <sup>4</sup>	1,0x10 <sup>5</sup>	1,5x10 <sup>5</sup>	2,0x10 <sup>5</sup>	3,1x10 <sup>5</sup>	4,4x10 <sup>5</sup>
i > 50	K <sub>3</sub> [Nm/rad]	0,71x10 <sup>4</sup>	1,6x10 <sup>4</sup>	2,9x10 <sup>4</sup>	5,7x10 <sup>4</sup>	1,2x10 <sup>5</sup>	2,3x10 <sup>5</sup>	3,3x10 <sup>5</sup>	4,4x10 <sup>5</sup>	7,1x10 <sup>5</sup>	9,8x10 <sup>5</sup>
	K <sub>2</sub> [Nm/rad]	0,61x10 <sup>4</sup>	1,4x10 <sup>4</sup>	2,5x10 <sup>4</sup>	5,0x10 <sup>4</sup>	1,1x10 <sup>5</sup>	2,0x10 <sup>5</sup>	2,9x10 <sup>5</sup>	4,0x10 <sup>5</sup>	6,1x10 <sup>5</sup>	8,8x10 <sup>5</sup>
	K <sub>1</sub> [Nm/rad]	0,47x10 <sup>4</sup>	1,0x10 <sup>4</sup>	1,6x10 <sup>4</sup>	3,1x10 <sup>4</sup>	6,7x10 <sup>4</sup>	1,3x10 <sup>5</sup>	1,8x10 <sup>5</sup>	2,5x10 <sup>5</sup>	4,0x10 <sup>5</sup>	5,4x10 <sup>5</sup>

Obrázek 4.8 - Hodnoty torzních tuhostí pro převodové jednotky řady CSG-2UH

V prvním kroku výpočtu byly určeny velikosti krouticích momentů T s uvažováním a bez uvažování hmotnosti objektu manipulace (OM):

$$T_{\text{SOM}} = A \cdot l_A + B \cdot l_B = 36,74 \cdot 0,756 + 33,38 \cdot 0,311 = 38,156 \text{ Nm} \quad (1)$$

$$T_{\text{bezOM}} = (A - m_z \cdot g) \cdot l_A + B \cdot l_B = (36,74 - 2 \cdot 9,81) \cdot 0,756 + 33,38 \cdot 0,311 \quad (2)$$

$$T_{\text{bezOM}} = 23,324 \text{ Nm}$$

Na základě vztahů uvedených v katalogových listech pro převodové jednotky CSG-2UH [4.3] vypočteme torzní úhly  $\varphi$ , které jsou rozděleny do nízké, střední a vysoké momentové oblasti. V tomto případě se pohybujeme ve střední oblasti při uvažování krouticího momentu  $T_{\text{bezOM}}$  a ve vysoké oblasti při uvažování krouticího momentu  $T_{\text{SOM}}$ .

$$T \leq T_1 - \text{nízká oblast} \quad T_1 < T \leq T_2 - \text{střední oblast} \quad T > T_2 - \text{vysoká oblast}$$

$$\varphi = \frac{T}{K_1} \quad \varphi = \frac{T_1}{K_1} + \frac{T-T_1}{K_2} \quad \varphi = \frac{T_1}{K_1} + \frac{T_2-T_1}{K_2} + \frac{T-T_2}{K_3}$$

pro  $T_1 < T \leq T_2$  bez uvažování hmotnosti OM je hodnota  $T_1 = 7 \text{ Nm}$  (Obrázek 4.8) a hodnota  $T = 23,324 \text{ Nm}$

$$\varphi_{1R1} = \frac{T_1}{K_1} + \frac{T - T_1}{K_2} = \frac{7}{16000} + \frac{23,324 - 7}{25000} = 0,0004375 + 0,000653 \quad (3)$$

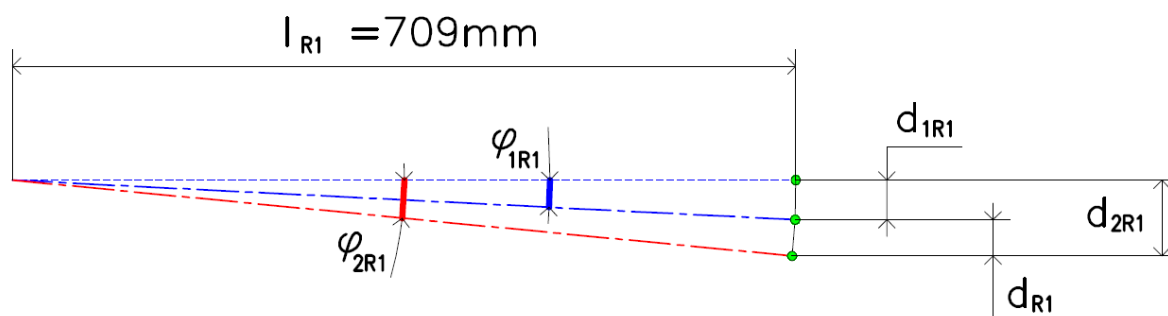
$$\varphi_{1R1} = 0,0010905 \text{ rad} = 0,0625^\circ$$

pro  $T > T_2$  při uvažování hmotnosti OM jsou hodnoty  $T_1 = 23,324 \text{ Nm}$ ,  $T = 38,156 \text{ Nm}$  a  $T_2 = 25 \text{ Nm}$  (Obrázek 4.8).

$$\varphi_{2R1} = \frac{T_1}{K_1} + \frac{T_2 - T_1}{K_2} + \frac{T - T_2}{K_3} = \frac{23,324}{16000} + \frac{25 - 23,324}{25000} + \frac{38,156 - 25}{29000} \quad (4)$$

$$\varphi_{2R1} = 0,00198 \text{ rad} = 0,113^\circ$$

Na základě podobnosti trojúhelníků byla určena velikost posunutí sledovaného bodu ramene 1, vycházející z deformace pružného členu harmonické převodovky.



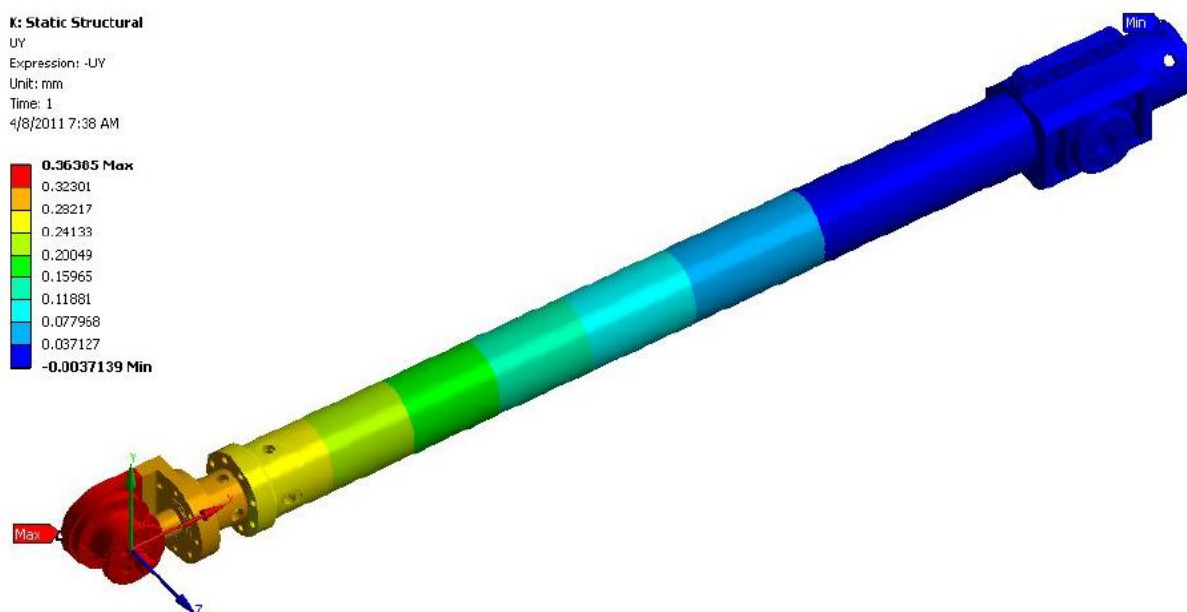
Obrázek 4.9 - Posunutí sledovaného bodu ramene 1

V případě posunutí  $d_{1R1}$  je počítáno se zatížením pouze vlastní hmotností ramene 1, hodnota  $d_{2R1}$  již zohledňuje zatížení také objektem manipulace.

$$d_{1R1} = \sin \varphi_{1R1} \cdot l_{R1} = \sin 0,0010905 \cdot 709 = 0,773 \text{ mm} \quad (5)$$

$$d_{2R1} = \sin \varphi_{2R1} \cdot l_{R1} = \sin 0,00198 \cdot 709 = 1,404 \text{ mm} \quad (6)$$

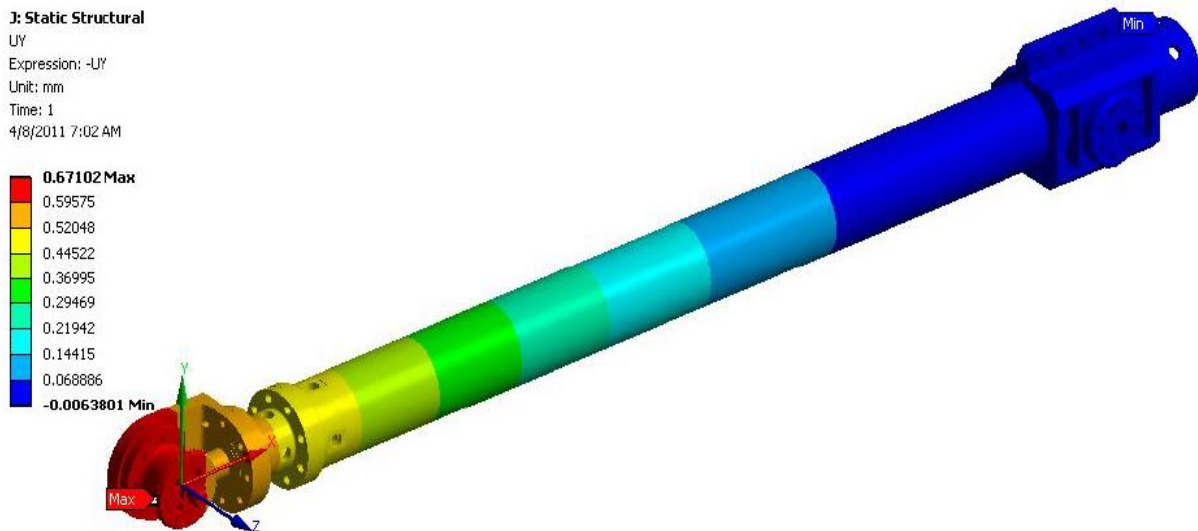
K těmto hodnotám je potřeba přičíst hodnoty vlastní deformace ramene 1. Ty byly určeny z pevnostních analýz provedených Ing. Františkem.



Obrázek 4.10 - Pole posunutí ramene 1 ve svislém směru bez zatížení hmotností OM

Posunutí sledovaného bodu ramene 1 je v tomto případě 0,36 mm. Jeho celkové posunutí je dáno součtem této hodnoty a hodnoty vycházející z deformace pružného členu harmonické převodovky a dosahuje velikosti 1,133 mm.





Obrázek 4.11 - Pole posunutí ramene 1 ve svislém směru při zatížení OM

V tomto případě dosahuje posunutí sledovaného bodu hodnoty 0,67 mm. Celkové posunutí je tedy 2,074 mm.

Z rozdílů hodnot posunutí sledovaného bodu ramene 1 bez zatížení a se zatížením OM je možné určit hodnotu, kterou by bylo možné následně porovnat s výsledky měření provedenými na reálné manipulační nástavbě. Na základě provedených pevnostních analýz a výpočtů je hledaná teoretická hodnota posunutí 0,941 mm.

#### 4.3.2 Analýza ramene 2

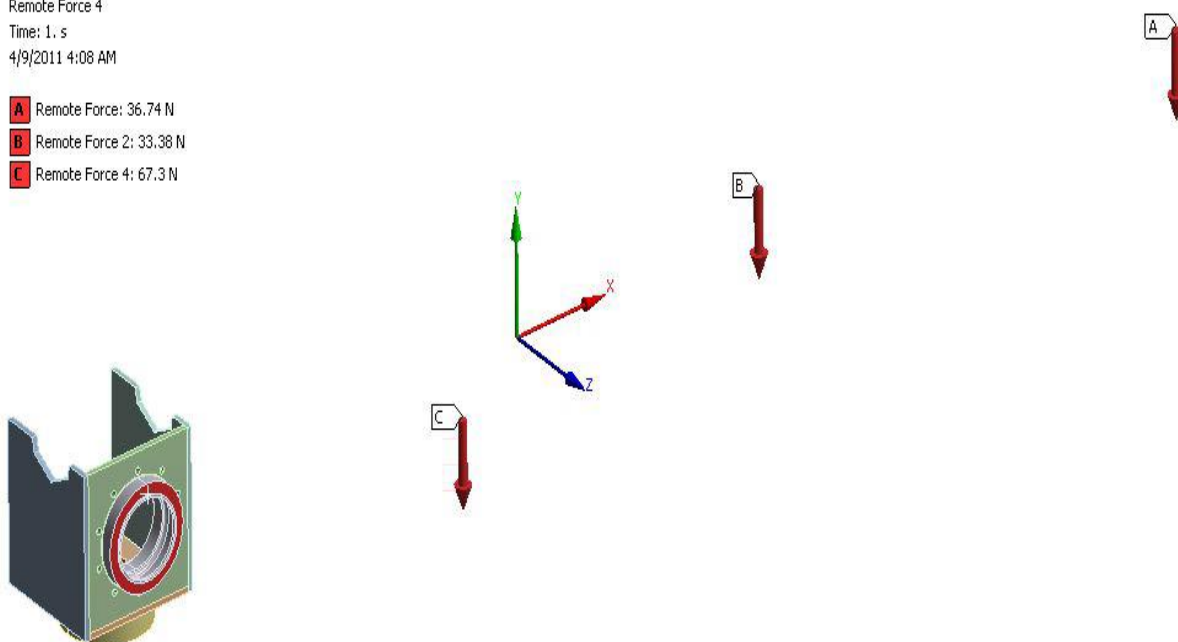
Obdobným způsobem jako v případě ramene 1 bude probíhat také analýza ramene 2. V prvním kroku se určí odchylky způsobené deformací pružného členu harmonické převodovky, v tomto případě převodové jednotky CSG-2UH-160-25. Následně budou započítány vlastní deformace ramene 1.

Tab. 4.3 - Vstupní hodnoty pro pevnostní analýzu ramene 1

Technické parametry převodové jednotky CSG-2UH-160-20	
Parametr	Hodnota
Síla reprezentující hmotnost objektu manipulace a efektoru A	36,74 N
Síla vyvozená vlastní hmotností ramene 1 B	33,38 N
Síla reprezentující vlastní hmotnost ramene 2 a pohonné jednotky mezi rameny 1 a 2	67,3 N
Vzdálenost působíště síly A od středu příruby	1206 mm
Vzdálenost působíště síly B od středu příruby	761 mm
Vzdálenost působíště síly C od středu příruby	335,2 mm

Remote Force 4  
Time: 1. s  
4/9/2011 4:08 AM

A Remote Force: 36.74 N  
B Remote Force 2: 33.38 N  
C Remote Force 4: 67.3 N



Obrázek 4.12 - Zatížení ramene 2 [4.4]

První krok výpočtu je opět věnován určování velikosti krouticích momentů  $T$  s uvažováním a bez uvažování hmotnosti objektu manipulace (OM):

$$T_{\text{SOM}} = A \cdot l_A + B \cdot l_B + C \cdot l_C = 36,74 \cdot 1,206 + 33,38 \cdot 0,761 + 67,3 \cdot 0,3352 \quad (7)$$

$$T_{\text{SOM}} = 92,27 \text{ Nm}$$

$$T_{\text{bezOM}} = (A - m_z \cdot g) \cdot l_A + B \cdot l_B + C \cdot l_C \quad (8)$$

$$T_{\text{bezOM}} = (36,74 - 2 \cdot 9,81) \cdot 1,206 + 33,38 \cdot 0,761 + 67,3 \cdot 0,3352$$

$$T_{\text{bezOM}} = 68,61 \text{ Nm}$$

Na základě vztahů uvedených v katalogových listech pro převodové jednotky CSG-2UH [4.3] vypočteme opět torzní úhly  $\varphi$ . Také v tomto případě se pohybujeme ve střední oblasti při uvažování krouticího momentu  $T_{\text{bezOM}}$  a ve vysoké oblasti při uvažování krouticího momentu  $T_{\text{sOM}}$ .

pro  $T_1 < T \leq T_2$  bez uvažování hmotnosti OM je hodnota  $T_1 = 7 \text{ Nm}$  (Obrázek 4.8) a hodnota  $T = 68,61 \text{ Nm}$

$$\varphi_{1R2} = \frac{T_1}{K_1} + \frac{T - T_1}{K_2} = \frac{7}{31000} + \frac{68,61 - 7}{50000} = 0,000226 + 0,00123 \quad (8)$$

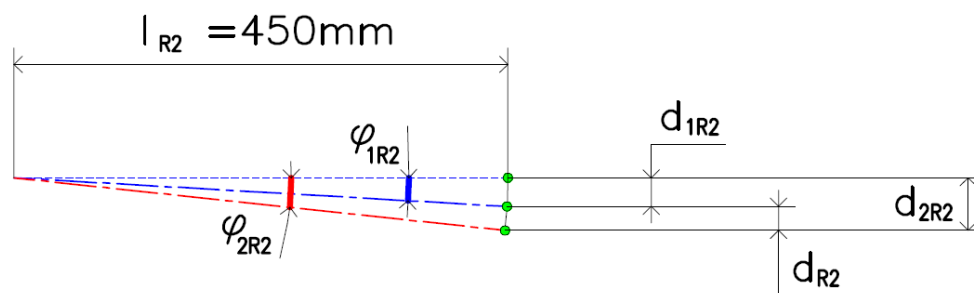
$$\varphi_{1R2} = 0,0015 \text{ rad} = 0,086^\circ$$

pro  $T > T_2$  při uvažování hmotnosti OM jsou hodnoty  $T_1 = 68,61 \text{ Nm}$ ,  $T = 92,27 \text{ Nm}$  a  $T_2 = 25 \text{ Nm}$  (Obrázek 4.8).

$$\varphi_{2R2} = \frac{T_1}{K_1} + \frac{T_2 - T_1}{K_2} + \frac{T - T_2}{K_3} = \frac{68,61}{31000} + \frac{25 - 68,61}{50000} + \frac{92,27 - 25}{57000} \quad (9)$$

$$\varphi_{2R2} = 0,0025 \text{ rad} = 0,14^\circ$$

Na základě podobnosti trojúhelníků byla určena velikost posunutí sledovaného bodu ramene 2, vycházející z deformace pružného členu harmonické převodovky.



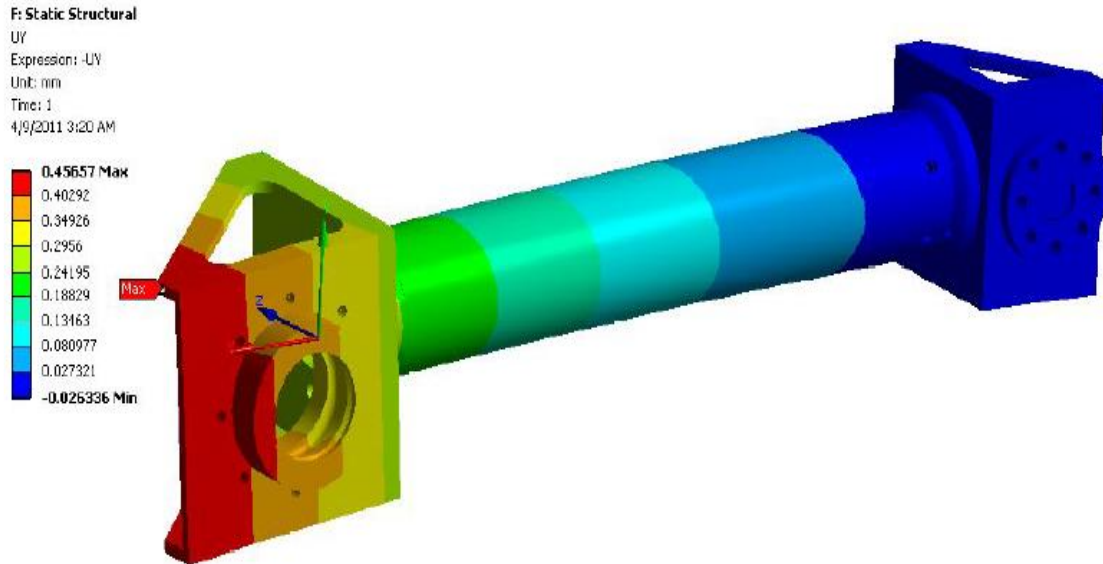
Obrázek 4.13 - Posunutí sledovaného bodu ramene 2

V případě posunutí  $d_{1R2}$  je počítáno se zatížením pouze od vlastní hmotnosti předchozích částí manipulační nástavby a ramene 2, hodnota  $d_{2R2}$  již zohledňuje také hmotnost objektu manipulace.

$$d_{1R2} = \sin \varphi_{1R2} \cdot l_{R2} = \sin 0,0015 \cdot 450 = 0,675 \text{ mm} \quad (10)$$

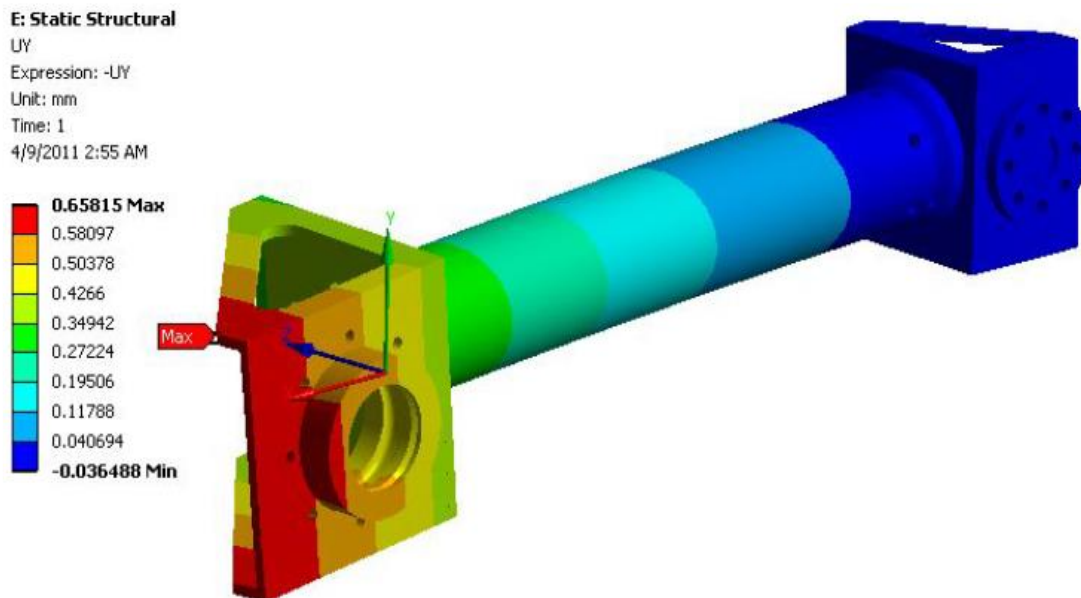
$$d_{2R2} = \sin \varphi_{2R2} \cdot l_{R2} = \sin 0,0025 \cdot 450 = 1,125 \text{ mm} \quad (11)$$

K těmto hodnotám je potřeba přičíst hodnoty vlastní deformace ramene 2. Ty byly určeny z pevnostních analýz provedených Ing. Františkem.



Obrázek 4.14 - Posunutí ramene 2 ve svislém směru bez zatížení hmotností OM

Posunutí sledovaného bodu ramene 2 je v tomto případě 0,452 mm. Jeho celkové posunutí je dáno součtem této hodnoty a hodnoty vycházející z deformace pružného členu harmonické převodovky a dosahuje velikosti 1,132 mm.



Obrázek 4.15 - Pole posunutí ramene 2 ve svislém směru při zatížení OM

V tomto případě dosahuje posunutí sledovaného bodu hodnoty 0,66 mm. Celkové posunutí je tedy 1,785 mm.

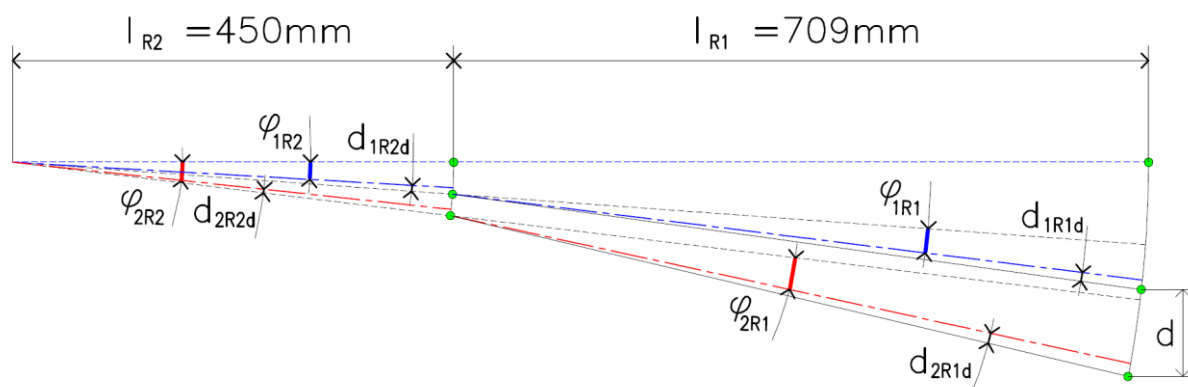
Z rozdílů hodnot posunutí sledovaného bodu ramene 2 bez zatížení a se zatížením OM je možné určit hodnotu, kterou by bylo možné následně porovnat s výsledky měření provedenými na reálné manipulační nástavbě. Na základě provedených pevnostních analýz a výpočtů je hledaná teoretická hodnota posunutí 0,653 mm.

### 4.3.3 Analýza ramene 2

Chceme-li zjistit celkový pokles ramene 1 a 2 dohromady, musíme sečíst hodnoty bez zatížení OM s vlastní deformací, a také hodnoty s OM a vlastní deformací. Pak spočítat nové úhly  $\varphi$  už se započítanou deformací u ramene 2 jak s OM, tak bez OM. Díky novým úhlům vypočítáme vzdálenosti  $v_1$ ,  $v_2$  a přičteme k výsledným poklesům ramen 1 a 2.

$$\mathbf{d}_1 = d_{1R2d} + d_{1R1d} = 1,132 + 1,133 = \mathbf{2,27 \text{ mm}} \quad (12)$$

$$\mathbf{d}_2 = d_{2R2d} + d_{2R1d} = 1,785 + 2,074 = \mathbf{3,86 \text{ mm}} \quad (13)$$



Obrázek 4.16 - Posunutí sledovaných bodů ramen 1 a 2

Na základě následujících vztahů je možné určit velikost posunutí sledovaného bodu ramene 1 při započítání průhybu ramene 2 a neuvažování zatížením OM:

$$\sin \varphi_1 = \frac{d_{1R2d}}{l_{R2}} = \frac{1,132}{450} = 0,00252 \text{ rad} \quad (14)$$

$$\sin \varphi_1 = \frac{v_1}{l_{R1}} \Rightarrow v_1 = \sin \varphi_1 \cdot l_{R1} = 0,00252 \cdot 709 = 1,787 \text{ mm} \quad (15)$$

$$d_{1v} = d_1 + v_1 = 2,27 + 1,787 = 4,06 \text{ mm} \quad (16)$$

Stejným způsobem určíme posunutí sledovaného bodu v okamžiku zatížení manipulační nástavby OM:

$$\sin \varphi_2 = \frac{d_{2R2d}}{l_{R2}} = \frac{1,785}{450} = 0,0040 \text{ rad} \quad (17)$$

$$\sin \varphi_2 = \frac{v_2}{l_{R1}} \Rightarrow v_2 = \sin \varphi_2 \cdot l_{R1} = 0,0040 \cdot 709 = 2,81 \text{ mm} \quad (18)$$

$$d_{2v} = d_2 + v_2 = 6,67 + 2,81 = 6,67 \text{ mm} \quad (19)$$

Z rozdílů hodnot posunutí sledovaného bodu ramene 1 manipulační nastavby při zatížení OM a bez zatížení je možné získat výslednou hodnotu posunutí tohoto bodu:

$$d = d_{2v} - d_{1v} = 6,67 - 4,06 = 2,61 \text{ mm} \quad (20)$$

#### 4.4 Praktické testy navrženého subsystému



**Cíl:** Určení posunutí sledovaných bodů na skutečné manipulační nastavbě

- + Popis postupu měření
- + Zpracování získaných výsledků



#### Výklad

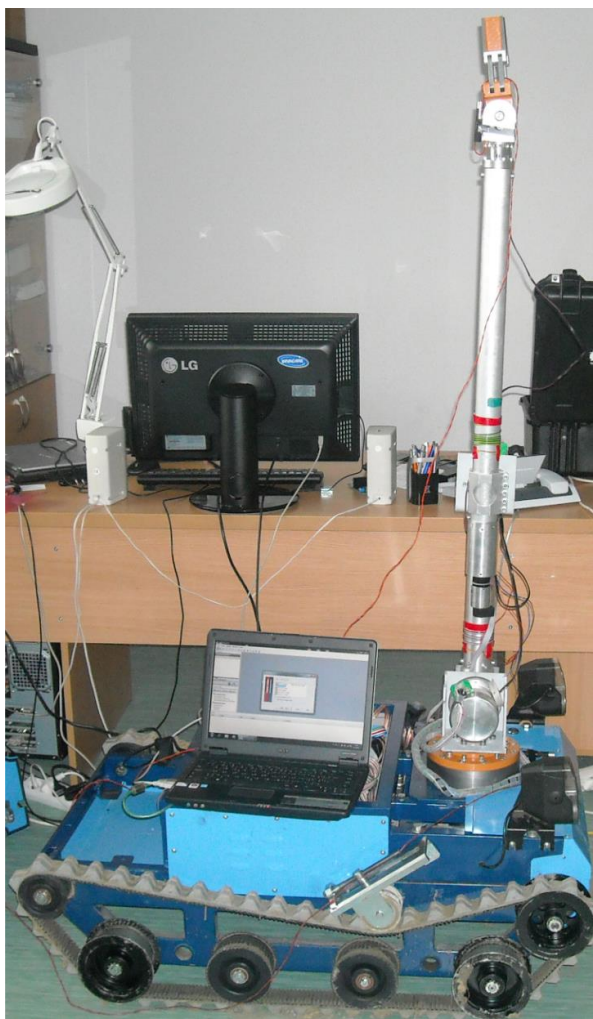
Praktické testy byly provedeny za pomoci trojice laserových diod, umístěných na mobilním robotu ARES dle Obrázek 4.1. Vlastní měření bylo rozděleno do tří částí:

- a) Měření s manipulační nastavbou ve svislé poloze (Obrázek 4.17 a Obrázek 4.18). Cílem měření bylo zjistit polohu nenakloněného podvozku, resp. polohu paprsku na měřicí ploše (označeno zeleným bodem) [4.2]:



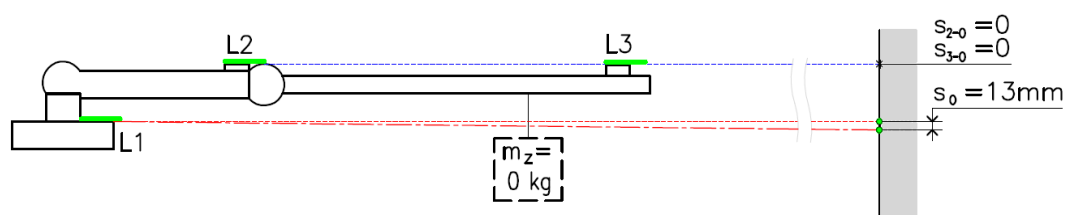
Obrázek 4.17 - Schéma označení polohy "roviny" nenakloněného podvozku



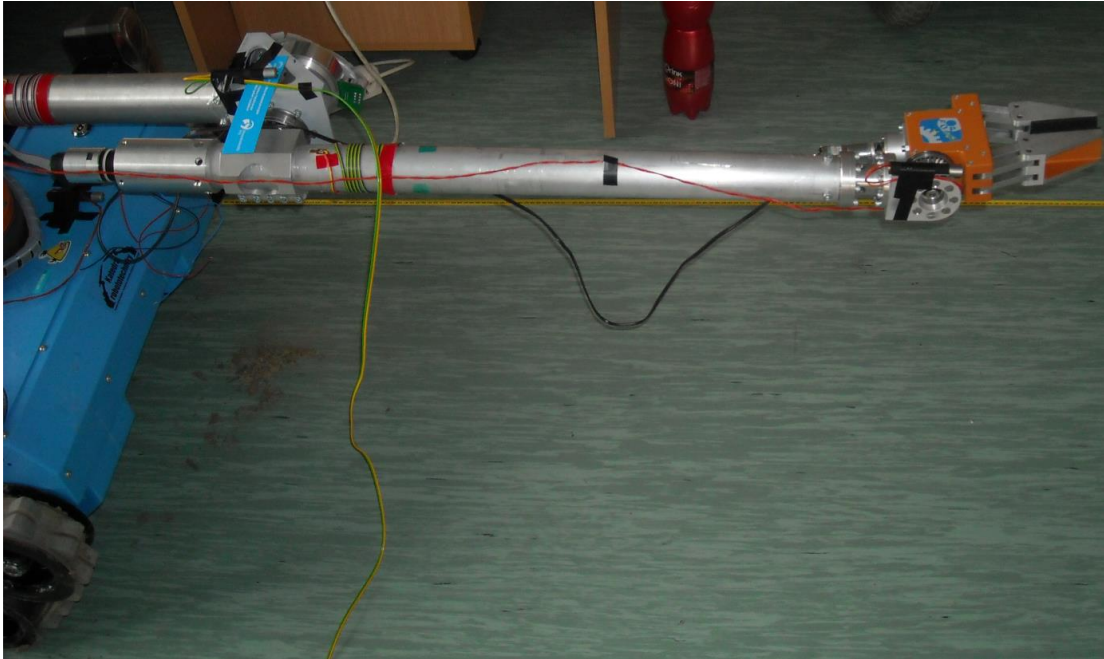


Obrázek 4.18 - Měření s manipulační nástavbou ve svislé poloze

- b) Měření s manipulační nástavbou ve vodorovné poloze a bez zatížení objektem manipulace ( $m_z = 0$  kg):



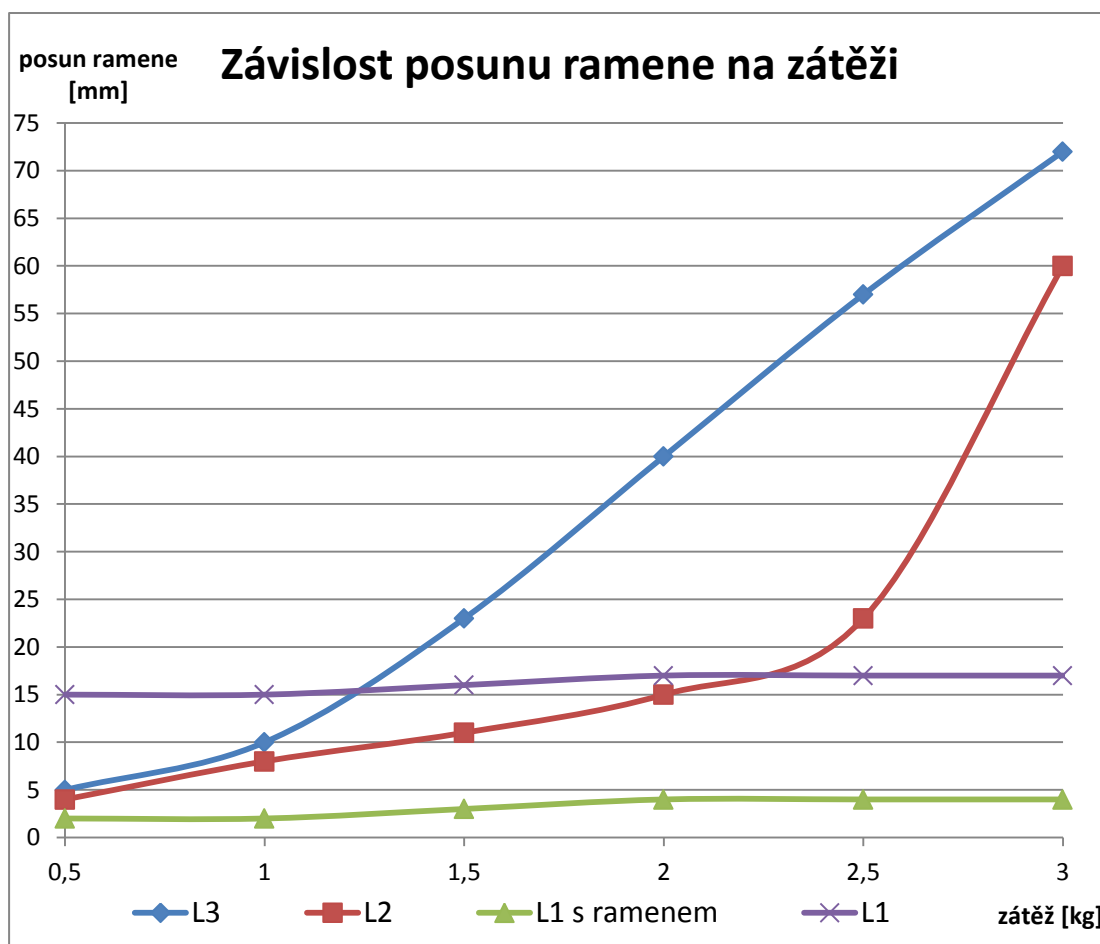
Obrázek 4.19 - Schéma měření při vodorovné poloze manipulační nástavby



Obrázek 4.20 - Manipulační nástavba ve vodorovné poloze osazená laserovými diodami

Toto měření zjišťuje pomocný parametr  $s_0$  – náklon podvozku se sklopeným ramenem bez zátěže. Zároveň jsou v této poloze ramene ručně nasměrovány laserové diody L2 a L3. Z důvodu konstrukce ramene a kloubů nebylo možné nasměrovat laserové diody do stejné horizontální roviny (uvažujme ale, že jsou v rovině pro zjednodušení měření). Poloha těchto paprsků je na měřicí stěně označena černým bodem. Orientačně vypočtený náklon podvozku  $\alpha$  z parametrů  $s_0$  a měřicí vzdálenosti konce laserové diody L1 činí  $0,15^\circ$  [4.2].

$$\sin \alpha = \frac{s_0}{l_d} = \frac{13}{5000} \Rightarrow \alpha = 0,15^\circ \quad (21)$$



Obrázek 4.21 - Závislost posunu ramene na hmotnosti objektu manipulace

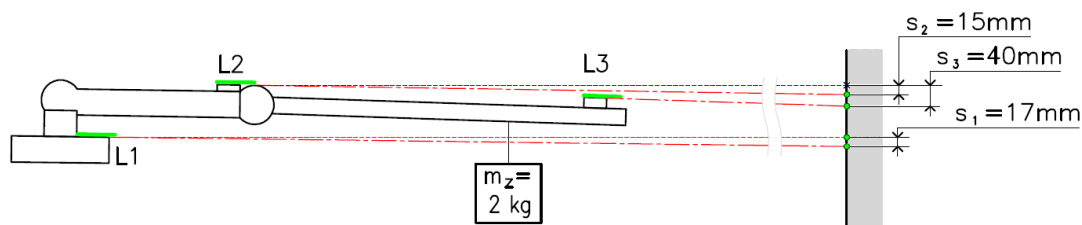
Nelineární průběh křivky laserové diody L2 může být zapříčiněn chybou měření nebo změnou polohy manipulační nastavby z důvodu krátkodobého přetížení pohonné jednotky kloubu K1.

- c) Měření s manipulační nastavbou ve vodorovné poloze a hmotností objektu manipulace  $m_z$  v rozsahu od 0 do 3 kg:

Tab. 4.4 - Změna polohy bodů laserových diod na měřicí ploše v závislosti na hmotnosti objektu manipulace

Změna polohy bodů laserových diod na měřicí ploše v závislosti na hmotnosti objektu manipulace				
Hmotnost objektu manipulace	Poloha bodů laserových diod na měřicí ploše [mm]			
	L1	L1 s ramenem	L2	L3
0	-	13	-	-
0,5	15	2	4	5
1	15	2	8	10
1,5	16	3	11	23
<b>2</b>	<b>17</b>	<b>4</b>	<b>15</b>	<b>40</b>
2,5	17	4	23	57
3	17	4	57	72

Manipulační nástavba byla zatěžována hmotnostmi od 0 do 3 kg. Avšak nad 2,5 kg se údaje znehodnotily, protože pohonná jednotka kloubu K1 nevládala velikost zátěže a začala povolovat. Nad 3 kg již nebylo možné zatížení udržet v požadované pozici. Aby bylo možné provést srovnání naměřených hodnot s teoretickým výpočtem, byly dalšímu zkoumání podrobeny výsledky získané při zatěžování objektem manipulace o hmotnosti 2 kg.



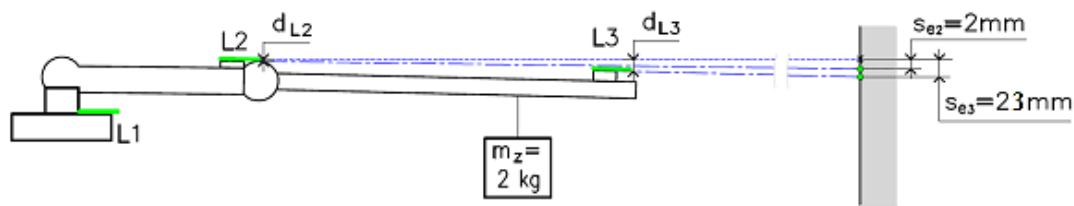
Obrázek 4.22 - Výsledky měření při hmotnosti objektu manipulace 2 kg

Kromě dalšího nárůstu výchylky paprsku měřicího náklon podvozku robotu, resp. základny manipulační nadstavby, byly změřeny výchylky paprsků diod L2 ( $s_2 = 15$  mm) a L3 ( $s_3 = 40$  mm). Tyto údaje však již obsahují i náklon podvozku a tedy i celé nadstavby. Pro eliminaci tohoto náklonu jsou hodnoty  $s_2$  a  $s_3$  přepočteny na  $s_{e2}$  a  $s_{e3}$  [4.2].

Výsledky tohoto přepočtu jsou znázorněny na Obrázek 4.23. Je zde také vidět, že základna nadstavby je opět v rovině. Na obrázku jsou dvě důležité hodnoty. Výchylka paprsku diody L2 ( $s_{e2} = 2$  mm) a diody L3 ( $s_{e3} = 27$  mm) [4.2].

$$s_{e2} = s_2 - s_0 = 15 - 17 = |-2| \text{ mm} \quad (22)$$

$$s_{e3} = s_3 - s_0 = 40 - 17 = 23 \text{ mm} \quad (23)$$



Obrázek 4.23 - Naznačení přepočtu eliminujícího změnu náklonu podvozku robotu

Z hodnot vzdáleností k měřicí stěně a rozměrů ramen jsou vypočteny požadované velikosti změny polohy sledovaných bodů na ramenech 1 (hodnota v L3\*) a 2 (hodnota v L2\*).

$$d_{L2}^* = l_2 \cdot \tan \alpha_{R2} = l_2 \cdot \frac{s_{e2}}{l_d} = 460 \cdot \frac{|-2|}{5000} = 0,184 \text{ mm} \quad (24)$$

$$d_{L3}^* = d_{L2}^* + \tan \alpha_{R3} = d_{L2}^* + (l_3 - l_2) \cdot \frac{s_{e3} - d_{L2}^*}{l_d - l_2} = 0,184 + 740 \cdot \frac{23 - 0,184}{4540} \quad (25)$$

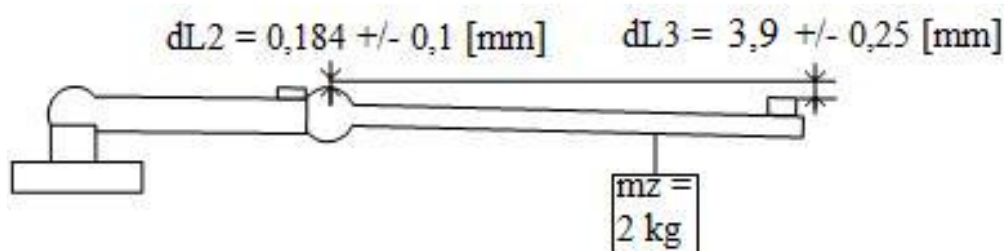
$$d_{L3}^* = 3,9 \text{ mm}$$

Hodnoty označené hvězdičkou je nutné doplnit údajem o přesnosti. Ze všech použitých hodnot ve výše uvedených výrazech je nejvíce zatížena chybou měřením poloha/výchylka laserového paprsku na měřicí stěně. Vzhledem k tomu, že ozářený bod měl průměr v rozmezí 3 až 5 mm, nebylo možno výchylku jeho středu měřit zcela přesně. Odhadnutá chyba měření výchylky bodu paprsků je cca 0,5 mm. Tato chyba se zpětně promítne do výsledků [4.2].

$$d_{L2} = l_2 \cdot \frac{s_{e2}\{\pm 1\text{mm}\}}{l_d} = 460 \cdot \frac{2\{\pm 1\}}{5000} = \left\{ \begin{matrix} 0,276 \\ 0,092 \end{matrix} \right\} \cong 0,184 \pm 0,1 \text{ [mm]} \quad (26)$$

$$d_{L3} = \left\{ \begin{matrix} 0,276 \\ 0,092 \end{matrix} \right\} + 740 \cdot \frac{s_{e3}\{\pm 1\text{mm}\} - \left\{ \begin{matrix} 0,276 \\ 0,092 \end{matrix} \right\}}{l_d - l_2} \quad (27)$$

$$d_{L3} = \left\{ \begin{matrix} 0,276 \\ 0,092 \end{matrix} \right\} + 740 \cdot \frac{23\{\pm 1\text{mm}\} - \left\{ \begin{matrix} 0,276 \\ 0,092 \end{matrix} \right\}}{4540} = \left\{ \begin{matrix} 4,14 \\ 3,66 \end{matrix} \right\} \cong 3,9 \pm 0,25 \text{ [mm]}$$



Obrázek 4.24 - Grafické znázornění výsledků měření

#### 4.5 Porovnání výsledků měření s výsledky teoretickými a závěrečné zhodnocení

Pro dané zařízení byla provedena analýza posunutí. Posunutí bylo analyzováno pro dva zatěžovací stavy, a to konkrétně pouze pro zatížení vlastní tíhou ramene včetně vybavení a při zatížení od vlastní tíhy ramene, a současně od tíhy objektu manipulace. Analýza byla provedena pro nejméně příznivé uspořádání zařízení, což je případ, kdy všechna ramena jsou ve vodorovné poloze.

Teoretickým výpočtem byla určena hodnota výchylky 2,61 mm. Při testování reálného zařízení však byla naměřena hodnota  $3,9 \pm 0,25$  mm. Rozdíl těchto dvou hodnot je pravděpodobně dán nedostatečně přesnými údaji pro výpočet zkrutu pružného členu harmonické převodovky používané v pohonných jednotkách kloubů K1 a K2.



#### Zdroje použité literatury a webové odkazy

Při vypracovávání této části případové studie byly využívány následující zdroje informací:

- [4.1] SKAŘUPA, J. *Průmyslové roboty a manipulátory*. 1. vyd. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2007. 260 s. ISBN 978-80-248-1522-0.
- [4.2] KRYS, V., MIHOLA, M., NOVÁK, P.: Manipulation subsystem of HERCULES mobile robot. Transactions of the VŠB-TU of Ostrava. 2010, vol. LVI, Mechanical series, no. 1, pp. 221-229. ISSN 1210-0471.
- [4.3] [www.harmonicdrive.de](http://www.harmonicdrive.de)
- [4.4] FRANTIŠEK, O.: Pevnostní a tuhostní analýza ramen a patky mobilního robotu, Případová studie ESF CZ.1.07/2.3.00/09.0147.
- [4.5] MOLIN, A.: Laboratorní optický systém pro měření tuhosti robotických ramen. (Bakalářská práce), VŠB-TU Ostrava, 32 s., 2012.



## 5 NÁVRH SUBSYSTÉMU PRO ODBĚR KAPALNÝCH A PLYNNÝCH VZORKŮ

Tato část studie zkoumá případ týmového přístupu k návrhu, detailnímu rozpracování a výrobě komplexního akčního subsystému, který pomůže snížit riziko spojené s prací a přítomností lidí v prostředích s potencionálním výskytem nebezpečných plynů a kapalin. Jedná se o subsystém automatizovaného odběru tekutin uložený na platformě mobilního robotu.

Jedná se o výzkumnou studii případu, která si dává za cíl napomoci týmové spolupráci jak mezi zaměstnanci jednoho celku tak mezi tímto celkem a druhou stranou jako může být například dodavatel, výrobce, externí výpočtář apod. Tato interakce tak může být:

- a) Institucionální neboli interní, tedy v jednom různorodějším komplexu jako je například univerzita.
- b) Mezi nezávislými celky tedy externí, jako například vztah dodavatel / zákazník či odborná firma / univerzita.

V prvním zmíněném případě lze konkrétně uvést mezikatedrální spolupráci univerzit, která není v řadě institucí univerzitního typu zcela ideální, či dokonce neexistuje vůbec. Tento fakt výrazně a zásadně brání zefektivnění výzkumu a maximálnímu využití čerpaných podpor, prostředků a nástrojů, kterými jedna strana disponuje a využívá je ke svému hlavnímu výzkumu a činnosti ovšem ne nepřetržitě a druhá strana tyto prostředky potřebuje jen okrajově, tudíž si je ve snaze upřednostnit důležitější potřeby z nákladu nepořídí. Při oficiální ale i neoficiální spolupráci by tak mohlo dojít k výraznému zkvalitnění práce jak v oblasti výzkumu a inovace ale i v oblastech čistě výrobních. Jeden úsek této části studie je zaměřen právě na tento případ spolupráce.

V druhém se může jednat o klasický případ poptávání a objednávání u výrobce či dodavatele. Je ovšem možné navázat spolupráci i v této sféře? Samozřejmě je a nemusí se jednat pouze o vyjednávání o cenách při nákupu většího množství nebo v případě dlouhodobého odběru. Výzkum se soustřeďuje na propojení s praxí a proto je řada univerzitních projektů řešena ve spolupráci s externími firmami. Tento přístup lze uchopit ze dvou různých stran. Jedna je spolupráce na projektu s firmou či institucí v případě definování požadavků vyplývajících z praxe, tedy spolupráce od prvopočátku v průběhu celého projektu, nebo se může jednat o spolupráci vyplývající z řešení projektů, kdy je třeba navázat užší kooperaci se subjektem disponujícím technologiemi a know-how které je nezbytné k zdárnému řešení. Zde by se ale také mělo jednat o určitou formu oboustranného prospěchu. Dále se setkáme také s tímto druhem součinnosti s externími subjekty, z konkrétního zkoumaného případu zjistíme, že naše podnikatelské prostředí skýtá řadu nedostatků a problémů, které již jinde ve světě díky snaze o maximální konkurenceschopnost nemají místo.

Tato část práce tak pokrývá studium sociálních skupin v návaznosti na studium organizací a institucí a také zkoumání událostí, rolí a vztahů. Dohromady tak splňuje pojetí kvalitativního výzkumu, přičemž předkládá jak kritický pohled na nedostatky v týmové

spolupráci dnešní společnosti, tak nabízí otázky a odpovědi ke zlepšení stavu, to vše na konkrétním případě, rozčleněném do několika problematik.

**Studium sociálních skupin** bude zaměřeno na zkoumání komunikace mezi jednotlivci v týmu, na případné konflikty a také pomůže navrhnout lepší směr ke zdárnému výsledku.

**Studium organizací a institucí** bude zkoumat univerzitu a firmy. Budeme si klást otázky a hledat nejlepší vzorce chování, zavedení určitého typu řízení a evaluace.

**Zkoumání událostí, rolí a vztahů** se zaměřují na určité události, částečně se může překrývat se studiem sociálních skupin a organizací. Shrnuje analýzu interakce členů skupiny, konfliktu rolí, stereotypy.

Celá studie naplňuje pak koncepci **multiply case studies** a její jednotlivé části lze definovat jako **single case studies**, protože se sice jedná o konstrukční řešení celku, tedy servisního robotu, ovšem každý ze zmíněných subsystémů je unikátní a zcela odlišný konstrukčně a také případem, jelikož se vždy jedná o jiný realizační tým a jiné požadavky.



### Průvodce případovou studií

1. Představení problematiky případu
2. Úvod do problematiky smplování a popis samotného subsystému
3. Představení členů týmu, jejich pozice v týmu a jejich podíl na realizaci
4. Postup řešení projektu
5. Specifikace zadání
6. Teoretický návrh
7. Výpočty specifikační
8. Nákup komponent
9. Výroba komponent
10. Montáž celků a předběžné testování
11. Elektronické ovládání systému
12. Výpočty aplikační a testování celého systému



### Výklad a popis případové studie

#### I. Úvod do problematiky smplování a popis samotného subsystému

Čistě technická část zaměřená na pochopení daného díla navrženého a vyrobeného týmem odborníku, tedy díla, na němž je aplikován případ týmové spolupráce, který je předmětem této studie.

#### II. Představení členů týmu, jejich pozice v týmu a jejich podíl na realizaci

Jedná se v podstatě o jmenný seznam týmů s kompetencemi jednotlivců a je zde také zahrnut procentuální podíl jednotlivců na řešení celého subsystému. Spolupráce interní a externí.

### **III. Postup řešení projektu**

Představení harmonogramu řešení projektu, jednotlivých procesů v komplexní problematice.

### **IV. Specifikace zadání**

Postup při zadávání projektu, problémy a změny v zadaných úkolech, výstupy z jednání a schůzek s odbornými subjekty, atd.

### **V. Teoretický návrh**

Návrh konceptu vyplývající ze specifikovaného zadání a z porad realizačního týmu, hlavní aspekty ovlivňující navržený design a rozhodovací proces (decision making process).

### **VI. Výpočty specifikační**

Předběžné výpočty “tužkou na papír“ pro bližší určení některých komponent, spolupráce s interními a externími výpočtáři a postup hledání řešení.

### **VII. Nákup komponent**

Postupy při nákupu komponent, vznikající problémy a úskalí s nimi spjaté, komunikace s externími firmami a dodavateli a analýza současného podnikatelského prostředí v ČR. Otázka: Jak dostat to co chci v termínu a za adekvátní cenu? Příklad z praxe: Co dělat když koupíme “zajíce v pytli“.

### **VIII. Výroba komponent**

Definování výrobní technologie. Kroky v určování výrobních postupů a návrhu jednotlivých vyráběných dílů, konzultace v týmu a návrhy optimálních rozměrů, testování navržených hodnot a determinování výstupu pro budoucí výrobu (rapid, dělení, lepení, podpora, tloušťky stěn, apod.).

### **IX. Elektronické ovládání systému**

Návrh a výroba HW elektroniky a SW aplikace pro ovládání, konzultace s elektro specialistou.

### **X. Montáž celků a předběžné testování**

Montáž a ladění jednotlivých dílů (odstraňování podpory, spolupráce s pomocníky, broušení a upravování rozměrů, hledání vhodných nástrojů a konzultace ohledně kvality smontovaných celků).

### **XI. Výpočty aplikační a testování celého systému**

Kooperace s odborníkem z dané technické oblasti, spolupráce při teoretické výpočetní kontrole, komplikace a konflikty v této sféře (SMC odborníci).

Kooperace s odborníkem z dané technické oblasti, návrhy měření, reálné testování subsystémů, konzultace a schůzky ohledně výsledku měření a testování, srovnávání výsledků s teoretickými výpočty, návrh lepší kooperace.

## 5.1 Úvod do problematiky a popis subsystému



**Cíl:** Představení subsystému pro odběr plynů a kapalin.



**Výklad**

Celý systém odběru plynů a kapalin sestává ze dvou částí navzájem propojených hadicí. První část je jádro odběru číslo 1, viz Obrázek 5.1, umístěné na podvozku robotu, druhá část je hlavice odběru umístěná na efektoru ramene servisního robotu číslo 2, viz Obrázek 5.1.

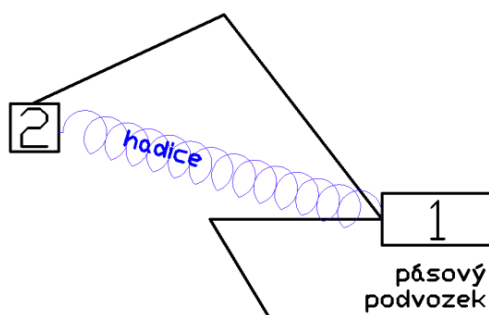
Propojení je realizováno spirálovou hadicí, která je flexibilní a umožňuje natažení a zkrácení podle potřeby, či jiným typem hadic umístěných v pružné chrániče.

Cílem tohoto projektu bylo navrhnout, vyrobit a otestovat funkčnost jádra odběru tekutin. Sámplovací hlavice bude řešena pouze koncepčně, realizace nebyla v rámci daného projektu zahrnuta.

Podvozek, na kterém jádro subsystému spočívá je servisní pásový robot ARES vyvinutý na Katedře robototechniky VŠB–TU Ostrava. Tento podvozek determinuje rozměry a tvar subsystému.

Projekt má několik částí, první rozdělení je dle funkce, na jádro odběru, tedy aktivní člen tvoření vzorků a nástroj neboli hlavice, tedy pasivní člen odběru. Druhé členění je dle odebíraného média na odběr plynů a kapalin. V jednotlivých částech byly navrženy varianty, ze kterých byla vybrána nejvhodnější a ta pak byla podrobně řešena, včetně tvorby 3D modelu v programu SolidWorks. Bylo dbáno na modulárnost zařízení a jednoduchost a srozumitelnost pro obsluhu. Cílem pak bylo zhotovení prototypu jádra odběru tekutin, s požadavkem maximálního využití systému FORTUS umístěného na Katedře robototechniky VŠB – TU Ostrava.

Na základě konečného modelu byly vyrobeny a nakoupeny jednotlivé komponenty subsystému, které byly následně složeny ve funkční celky. Vyrobené moduly byly oživeny a podrobeny testování. Naměřené hodnoty se srovnaly s vypočtenými, díky tomu byla ověřena správnost volby jednotlivých prvků systému a bezchybnost funkce celého zařízení. Realizovaná část pak byla umístěna na platformu mobilního robotu ARES.

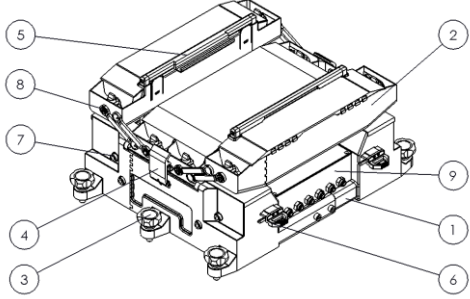
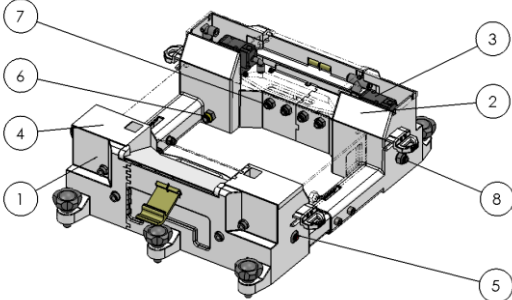
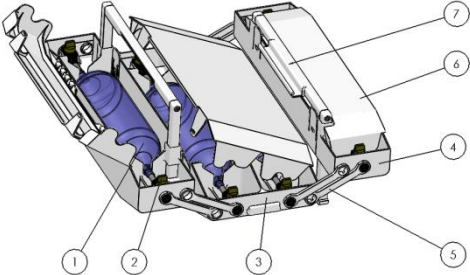
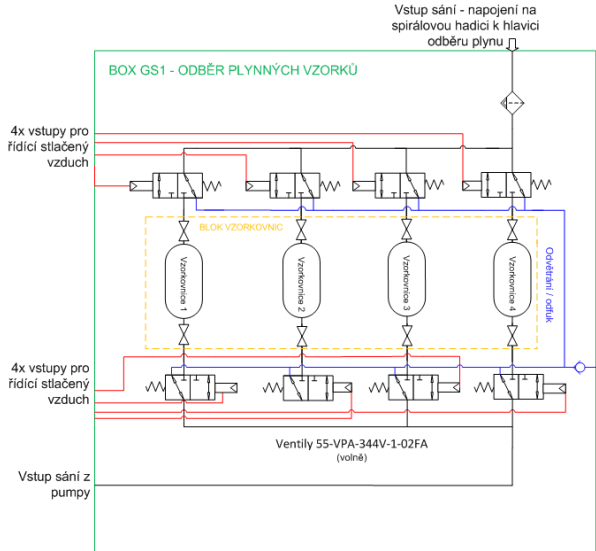


Obrázek 5.1 Schéma komplexního řešení odběru vzorků tekutin

### 5.1.1 Subsystem pro odběr plynů

Krátký popis konstrukčního a principiálního řešení jádra subsystému pro odběr nebezpečných a výbušných plyných vzorků je popsán v Tab. 5.1.

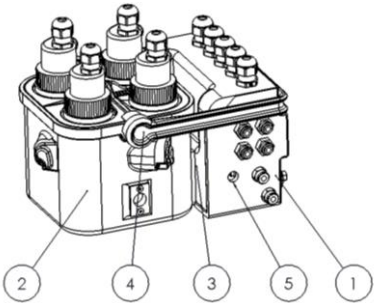
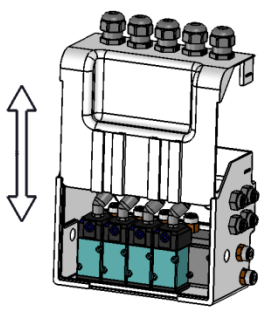
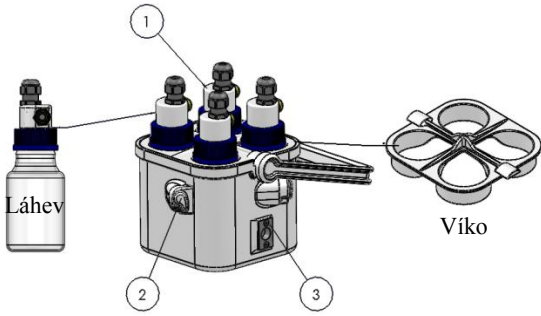
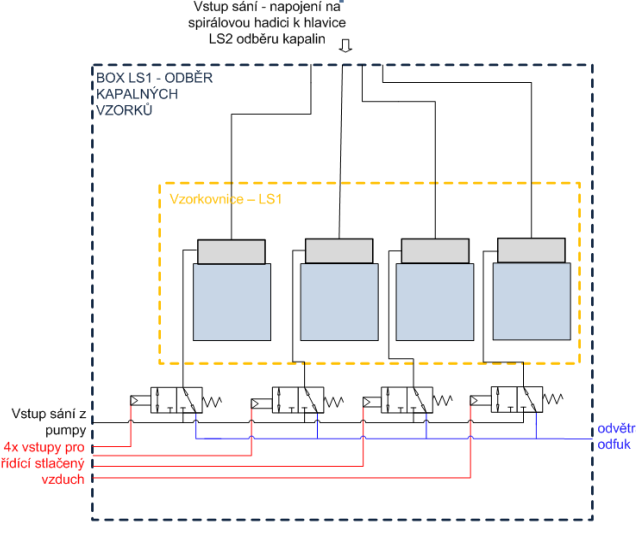
Tab. 5.1 - Popis jádra subsystému pro odběr plyných vzorků

	<p>První část je blok s ventily VPA uložený do boxu (1) a druhou část tvoří vzorkovnice s ručně uzavíratelnými ventily VHK2 uložené v přepravce (2). Spodní ventilový box je připevněn pomocí šroubů (3) k podvozku robotu. Přepravka je připevněna k ventilovému boxu pomocí plastových spojek (4) a pomocí madel (5), které jsou vsunuty do boxu, a zajištěny šoupátky (6). Sání z pumpy přes ventily VPA je připojeno k vzorkovnicím vnějškem, prostřednictvím přímých fitinek (7) a (8). V prostoru pod vzorkovnicí je pak umístěn box řízení CUS (9).</p>
	<p>Box s ventily se skládá ze dvou do sebe zapadajících dílů, první vstupní (1) a druhý výstupní (2). V boxech jsou přišroubovány ventily VPA (3), které jsou uzavřeny krytem (4). Kryty mají čtvercové otvory, do nichž zapadají madla přepravky. Ze vstupní části je vyveden vstup pro hlavici odběru zakončený filtrem (3) a z výstupní části je vyveden výstup pro nasávání (6), který bude propojen s pumpou. Průchodky stěnou boxu (7) jsou propojeny s vstupem VPA ventilů pro jeho řízení stlačeným vzduchem. Pumpa i rozvod stlačeného vzduchu je umístěna v CUS boxu, který je situován v prostoru mezi (1) a (2), na obrázku je jeho obrys znázorněn čerchovanou čarou. CUS box je pak propojen s (6) a (7).</p>
	<p>Přepravka se čtyřmi vzorkovnicemi o objemu jedné 1 litr. Vzorkovnice (1) připojené na ventily VHK (2) jsou uloženy ve vanách. Velká centrální vana (3) pro dvě vzorkovnice slouží také jako základna přepravky. Malé postraní vany (4) jsou táhly (5) propojeny s vanou centrální. Víka (6) chrání skleněné vzorkovnice před rozbitím (střední a levé víko pootevřeno pro názornost). Madla (7) složí k snadnému přenášení přepravky a k zamezení pohybu na ventilovém boxu.</p>
	<p>Schematické zapojení jádra odběru.</p>

### 5.1.2 Subsystém pro odběr kapalin

Krátký popis konstrukčního a principiálního řešení jádra subsystému pro odběr nebezpečných a výbušných kapalných vzorků je popsán v Tab. 5.2.

Tab. 5.2 - Popis jádra subsystému pro odběr kapalných vzorků

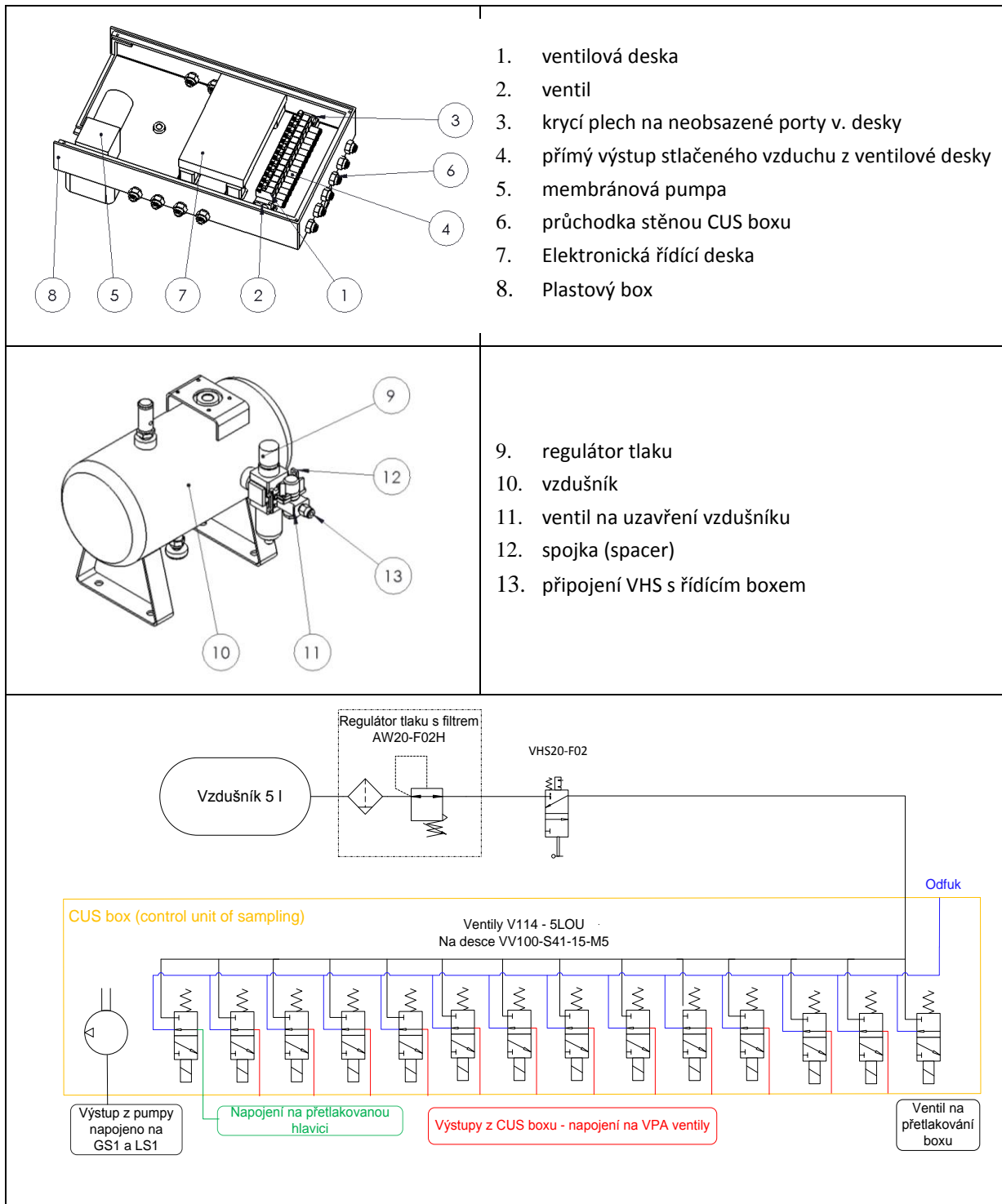
	<p>Stejně jako u odběru plynu GS1 se celý subsystém LS1 dělí na dva oddělitelné celky. První je ventilový box LS1 (1) a druhá přepravka s láhví LS1 (2), viz obr. 5.16. Přepravka se vsouvá do drážek v krytu (3) ventilového boxu a zajišťuje se překlopením madla (4).</p> <p>Na podvozku robotu bude subsystém zajištěn pomocí aretačních čepů se závorou, tyto čepy zapadají do otvorů (5) v přepravce i ventilovém boxu.</p>
	<p>V boxu jsou umístěny VPA ventily na ventilové desce, stěnou boxu opět prochází hadičky přívodu stlačeného vzduchu, tedy v zájmu modularity a jednoduchého vyjmutí jsou na stěnu boxu přišroubovány průchodky. V dolní části boxu jsou vyvedeny vstup a výstup z ventilové desky, tedy jeden pro sání a druhý pro odfuk. Tyto porty jsou popsány. Na vysouvacím víku jsou mimo, již zmíněných, zářezů, do nichž zapadá přepravka, také průchodky, jimiž se vedou sací hadice napojené na láhev. Každá láhev má své číslo.</p>
	<p>Chemicky odolná laboratorní hadička TYGON je zavedena do vertikální průchodky připevněné v plastovém rozvodu (1) na hrdle láhve, průchodka našroubovaná v boční části tohoto rozvodu slouží k jednoduchému zasouvání a vyjímání sací hadice. Při sání se láhev plní do té doby, než kapacitní senzor (2) vyšle signál o plnosti láhve a ten pak zastaví pumpu. Signály ze všech čtyř senzorů sbíráme z konektoru, připojeném přímo do přepravky (3). Tento kabel je pak zaveden do řídicího boxu CUS. K vyjmutí láhve lze jednoduše překloupat madlo o 180°, tím uvolnit víko, a zpřístupnit tak vnitřní prostor přepravní schránky.</p>
<p>Vstup sání - napojení na spirálovou hadici k hlavici LS2 odběru kapalin</p>  <p>BOX LS1 - ODBĚR KAPALNÝCH VZORKŮ</p> <p>Vzorkovnice - LS1</p> <p>Vstup sání z pumpy</p> <p>4x vstupy pro řídicí stlačený vzduch</p> <p>odvětrání odfuk</p>	<p>Ze schématu zapojení bloku LS je zřejmé, že každá vzorkovnice má svůj vlastní vstup, tedy není tomu jako u GS1, kde vstup mohl být jen jeden společný. Důvod této konfigurace je znečištění sacího obvodu předchozím odběrem. Každá láhev tedy musí mít vlastní větev, aby nedošlo ke kontaminaci vzorku.</p>



### 5.1.3 Řídicí jednotka odběru tekutinových vzorků

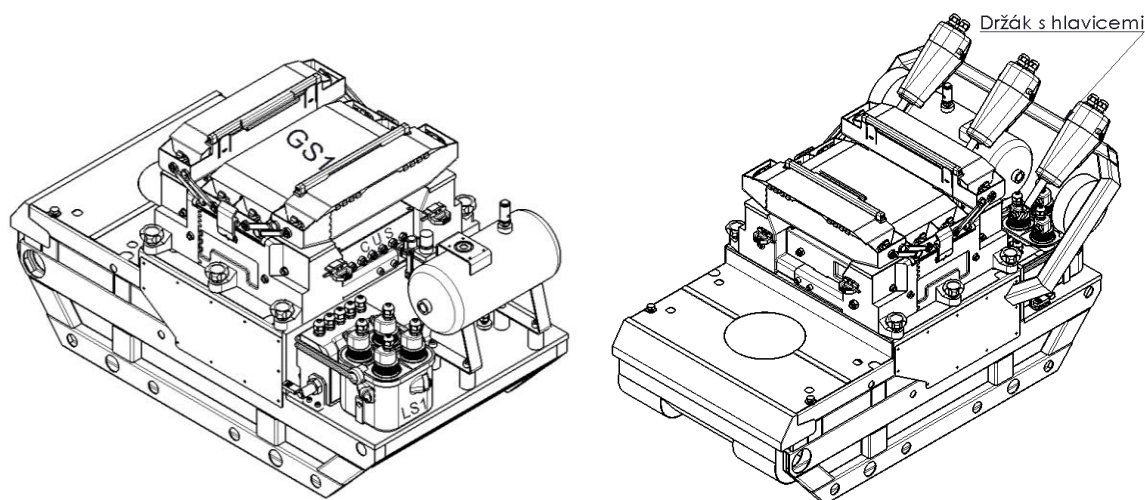
Obě jádra subsystémů pro odběr tekutin jsou osazeny vzduchem ovládanými VPA ventily do výbušného prostředí. Stlačený vzduch je tedy nutné distribuovat mezi těchto 12 ventilů. Sání je zprostředkováno pumpou, kterou lze připojit i jako vývěvu. Řízení subsystému se tedy vztahuje na rozdělování stlačeného vzduchu mezi ventily a na řízení činnosti pumpy, součástí ovládací jednotky je také zásobník stlačeného vzduchu.

Tab. 5.3 - Popis řídicí jednotky odběru tekutinových vzorků



### 5.1.4 Rozmístění subsystému pro odběr tekutin na platformě MR

Celý subsystém odběru tekutin byl umístěn na pásový mobilní robot ARES, navržený a sestavený na Katedře robototechniky VŠB-TU Ostrava. Následující pohledy (Obrázek 5.2) představují rozmístění obou subsystému na svařovaném rámu robotu ARES. První zobrazení je bez koncepčně umístěných hlavic odběru a bez jejich držáku. Druhý obrázek představuje návrh s možným umístěním odběrových hlavic.



Obrázek 5.2 - Rozmístění subsystému odběru tekutin na rámu MR ARES

## 5.2 Představení členů týmu



**Cíl:** Představení členů týmu a rozdělení funkcí

- ✚ Představení členů odborného týmu
- ✚ Pozice členů v týmu a jejich podíl na realizaci projektu



**Výklad**

Tato podkapitola souhrnně představuje realizační tým, jejich funkce a podíl na realizaci je uveden v tabulce níže.

Tab. 5.4 - Realizační tým

Jméno člena týmu	Pozice v projektu (funkce)	Popis činnosti a podíl na realizaci
<b>Ing. Michal Gloger</b> Interní doktorand Katedry Robototechniky VŠB - TUO	Konstruktor, hlavní řešitel projektu <i>Hlavní realizační tým</i>	Návrh variant, řešení vítězné varianty, návrh, design a zhotovení dokumentace komponent k výrobě, specifikace komponent k nákupu a sestavení subsystému ve funkční celky. <i>Fáze realizační, vysoký podíl na realizaci</i>
<b>Ing. Václav Krys, Ph.D.</b> Odborný asistent a tajemník Katedry Robototechniky VŠB - TUO	Administrativa, odpovědný řešitel projektu <i>Hlavní realizační tým</i>	Finance, determinování požadavků na subsystém, realizování schůzí se specialisty z praxe, hodnocení variant řešení z hlediska požadavků a konstrukce, uvedení komponent do výroby, nákup komponent... <i>Fáze úvodní a realizační, střední podíl na realizaci</i>
<b>Ing. Ján Babjak</b> Vědecko-výzkumný pracovník Katedry Robototechniky VŠB - TUO	Elektro specialista, programátor <i>Hlavní realizační tým</i>	Elektrický HW a programový SW pro ovládání subsystému, hodnocení variant řešení z hlediska elektrotechnického. <i>Fáze realizační, střední podíl na realizaci</i>
<b>Ing. Dvořák Lukáš, Ph.D.</b> Odborný asistent Katedry hydromechaniky a hydraulických zařízení VŠB - TUO	Odborný asistent pro pneumatické mechanismy	Testování správné funkčnosti pneumatických obvodů subsystému, asistence při výpočtech pneumatických obvodů. <i>Dokončovací fáze, nízký podíl na realizaci</i>
<b>Ing. Zdeněk Pavelek</b> OKD, HBZS, a.s.	Specialista z praxe	Determinování požadavků na subsystém. <i>Úvodní fáze, velmi nízký podíl na realizaci</i>

### 5.3 Postup řešení projektu



**Cíl:** Souhrnné představení postupu řešení projektu.



**Výklad**

#### a) Specifikace zadání

Postup při zadávání projektu, problémy a změny v zadaných úkolech, výstupy z jednání a schůzek s odbornými subjekty, atd.

#### b) Teoretický návrh

Návrh konceptu vyplývající ze specifikovaného zadání a z porad realizačního týmu, hlavní aspekty ovlivňující navržený design a rozhodovací proces (decision making process).

#### c) Výpočty specifikační

Předběžné výpočty "tužkou na papír" pro bližší určení některých komponent, spolupráce s interními a externími výpočtáři a postup hledání řešení.

#### d) Nákup komponent

Postupy při nákupu komponent, vznikající problémy a úskalí s nimi spjaté, komunikace s externími firmami a dodavateli a analýza současného podnikatelského prostředí v ČR. Otázka: Jak dostat to co chci v termínu a za adekvátní cenu? Příklad z praxe: Co dělat když koupíme “zajíce v pytli“.

#### e) Výroba komponent

Definování výrobní technologie. Kroky v určování výrobních postupů a návrhu jednotlivých vyráběných dílů, konzultace v týmu a návrhy optimálních rozměrů, testování navržených hodnot a determinování výstupu pro budoucí výrobu (rapid, dělení, lepení, podpora, tloušťky stěn, apod.).

#### f) Elektronické ovládání systému

Návrh a výroba HW elektroniky a SW aplikace pro ovládání, konzultace s elektro specialistou.

#### g) Montáž celků a předběžné testování

Montáž a ladění jednotlivých dílů (odstraňování podpory, spolupráce s pomocníky, broušení a upravování rozměrů, hledání vhodných nástrojů a konzultace ohledně kvality smontovaných celků).

#### h) Výpočty aplikační a testování celého systému

Kooperace s odborníkem z dané technické oblasti, spolupráce při teoretické výpočetní kontrole, komplikace a konflikty v této sféře (SMC odborníci).

Kooperace s odborníkem z dané technické oblasti, návrhy měření, reálné testování subsystémů, konzultace a schůzky ohledně výsledku měření a testování, srovnávání výsledků s teoretickými výpočty, návrh lepší kooperace.

## 5.4 Specifikace zadání



**Cíl:** Specifikace zadání návrhu subsystému pro odběr kapalných a plyných vzorků

✚ Nastínění postupu při specifikaci zadání

✚ Poukázání na rizika, která mohou nastat při specifikaci zadání



### Výklad

Realizace projektu vycházela z bakalářské práce, která byla koncipovaná jako kompaktní vyměnitelná kazeta SCOOP odběru kapalných vzorků. Kazeta měla být uchycena na efektoru a po naplnění dvou vzorkovnic si jí robot sám vyměnil za prázdnou. Kazeta měla umožnit dva druhy odběru mikro a makro odběr. Mikro znamenal odběr velmi malého množství do malé destičky, která se následně vsunula do čtečky mikro-destiček. Makro odběr pak měl reprezentovat odběr do dvou zásobníků, přičemž jeden měl mít objem 100 ml. Původní návrh je zřejmý z Obrázek 5.3.

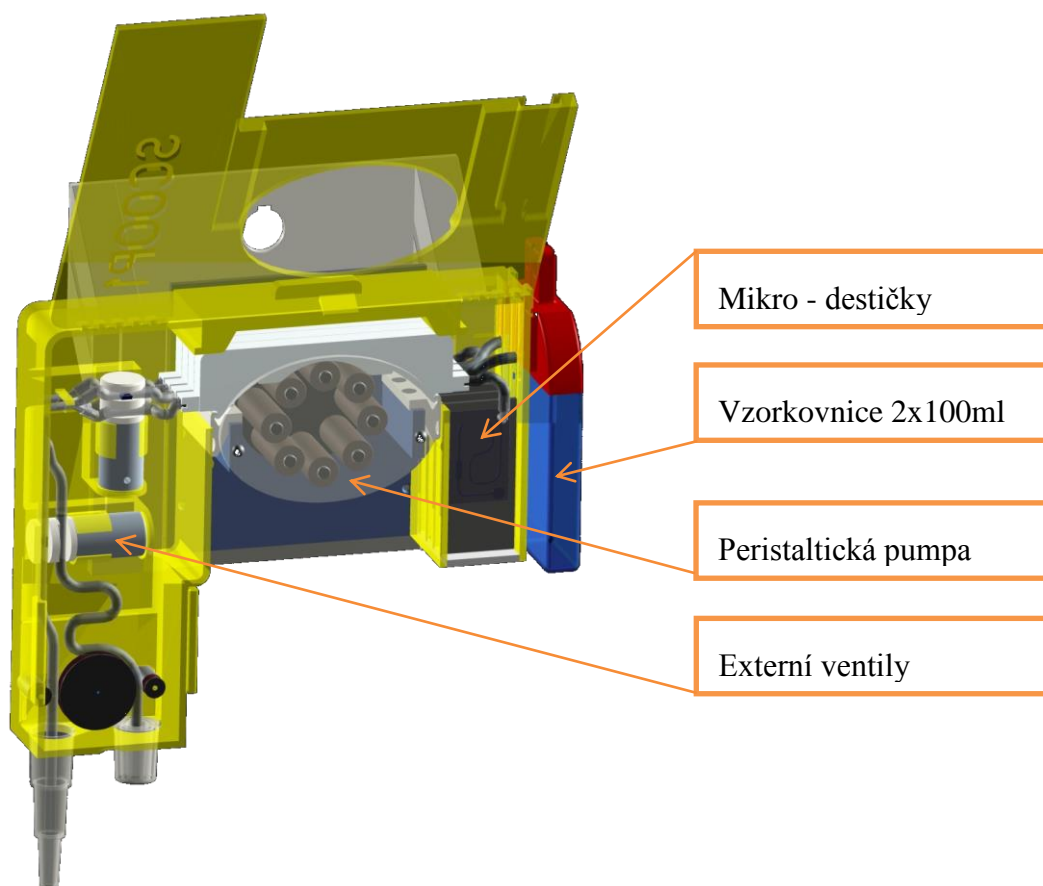
#### 5.4.1 Jednání s externí společností OKD, HBZS, a.s.

V úvodní fázi projektu proběhla řada jednání se zástupci OKD, HBZS, a.s. (Hlavní báňská záchranná stanice). Tyto informativní schůzky začaly výrazně formovat konečnou podobu řešení, jednání byli přítomni pan prof. Dr. Ing. Petr Novák, pan Ing. Václav Kryš, Ph.D., pan Ing. Zdeněk Pavelek a další zástupce z OKD, HBZS, a.s. Nejzásadnějším výstupem ze schůzí byla aplikovatelnost zařízení do výbušného prostředí s největší možnou mírou nebezpečí výbuchu tedy do dolů s vysokým rizikem výskytu výbušného plynu metanu. Dalším řídicím požadavkem byla možnost odběru plyných vzorků, prvotní záměr byl totiž odebírat pouze kapaliny. Z jednání vyplynulo, že v praxi se provádí výhradně odběr nebezpečných plynů a odběr kapalin je pouze druhořadou záležitostí, kapaliny totiž na rozdíl od plynů nevystaví člověka nezjistitelnému nebezpečí. Třetí zásadním nárokem kladeným na subsystém, byl odběr do normalizovaných litrových skleněných vzorkovnic. V Tab. 5.5 jsou vypsána všechna kritéria, která vyplynula z jednání.

Po determinování požadavků se sešel hlavní realizačního týmu ve složení Ing. Michal Gloger, Ing. Václav Kryš, Ph.D., Ing. Ján Babjak aby projednal další postupy, po seznámení se s novými požadavky se celkové pojetí zcela změnilo a bylo rozhodnuto definitivně opustit stávající koncept kazety SCOOP, který požadavky nesplňoval.

Tab. 5.5 - Požadavky OKD, HBZS, a.s. na subsystém

Název	Hodnota	Popis
<b>Minimální požadavky ATEX</b>	I M1	vhodnost systému do výbušného prostředí splnění ATEX I M1 Trvalá přítomnost metanu - velmi vysoká úroveň ochrany
<b>Univerzální zařízení</b>	-	Odběr kapalin i plynů
<b>Vzorkovnice na plyné vzorky</b>	objem 1 l	pro plyn nutno použít skleněné vzorkovnice
<b>Láhve na kapalně vzorky</b>	objem 250 ml	pro kapaliny nutno použít láhve z borosilikátového skla
<b>Min. počet plyných vzorků</b>	4 vzorky	nutnost vícenásobných odběru z různých míst
<b>Min. počet kapalných vzorků</b>	4 vzorky	nutnost vícenásobných odběru z různých míst
<b>Minimální doba uchování vzorků</b>	≤ 6 hodin	doba uchování vzorků ve vzorkovacích nádobách



Obrázek 5.3 – Kompaktní kazeta pro odběr kapalin SCOOP1



### Rizika a poznámky jak je vidím já

Projekt se odvíjel ze zadání bakalářské práce, které nebylo diskutováno s praxí, po jednání se společností zabývající se přímo testováním tekutin a jejich odběrem, byly zjištěny informace, které následný postup ve vývoji systému odklonily na zcela odlišnou stranu.

Projekty na universitní půdě lze tedy rozdělit na čistě výzkumné, zkoumání neobjeveného a následné hledání aplikovatelnosti v praxi, a na projekty výzkumné se zaměřením na konkrétní aplikaci, zkoumání nového v konkrétní oblasti. V prvním případě existuje riziko neuplatnitelnosti nápadu a výzkumu a v druhém případě je řešitel ovlivňován již vyvinutými principy a podléhá technické setrvačnosti.

V našem případě studie vzniklo jasné riziko investování do výsledku, který by nenašel na trhu své místo a nenaplnil by poptávku, bylo zjištěno, že v případě sámkování kapalin se jen vzácně přiklání k automatizaci a robotizaci. Bylo stanoveno, že odběr kapalin má význam výhradně spolu s odběrem plynů. Z toho důvodu byl zvolený postup konzultace s odborníky jednoznačně nezbytný.





## Chyby, nejasnosti a plán na jejich odstranění

Proces specifikování zadání byl ovšem zbytečně zdlouhavý, jasné chyby se dopustili členové úvodní fáze plánovací, kdy nepřizvali k jednání s externí specializovanou firmou ostatní členy hlavního realizačního týmu. V případě účasti ostatních členů mohlo dojít k rychlejšímu a jasnějšímu specifikování požadavků. Členové týmu také mohli při debatách uplatnit své nápady a myšlenky a celý projekt se tak mohl ubírat ještě optimálnější cestou.

Konzultace s externími odborníky musí být řešena od prvopočátku, v našem případě byla řešena příliš pozdě. Jasná chyba byla brzké objednání peristaltické pumpy ve snaze eliminovat negativní dopad dlouhé lhůty dodání tohoto komponentu subsystému. Jelikož se následně zjistily již zmíněné požadavky, peristaltická pumpa jin nadále neměla v projektu uplatnění.

## 5.5 Teoretický návrh



**Cíl:** Teoretický návrh subsystému pro návrh vzorků

- ✚ Proces harmonizace zadání a skutečného výsledku
- ✚ Popis komunikace mezi členy týmu při navrhování konečného designu
- ✚ Výpočty pro nákup komponent



### Výklad

Po ujasnění a upřesnění požadavků byl sestaven požadavkový list, na základě toho se bohužel definitivně vytratil prvotní potenciál kompaktního a jednoduchého řešení SCOOP1. Po poradě hlavního realizačního týmu bylo totiž rozhodnuto, že celkový koncept pumpy jako efektoru již nemá opodstatnění a navíc nesplňuje únosnost efektoru. Bylo tak stanoveno rozdělení systému na pasivní (hlavice), tedy nástroj efektoru a aktivní (jádro), umístěné na podvozku robotu ARES. K tomuto rozhodnutí se dospělo v zásadě automaticky po zkoumání kritérií na odběr plynů, kdy vzorkovnice měly mít objem 1 litr. Byl kladen důraz na modularitu systému, a proto se práce rozdělila na samostatný celek odběru kapalin LS (liquid sampling) a samostatný celek odběru plynů GS (gas sampling).

Následovalo sestavení variant principu odběru plynů. Z těchto variant byla po zhotovení kritériálního hodnocení vybrána nejvhodnější, při výběru varianty také došlo ke konzultaci se zástupci OKD, HBZS, a.s. Byly konzultovány výhody a nevýhody suchého a mokrého odběru do skleněných vzorkovnic, díky tomu se při rozhodování realizační tým přiklonil k suchému odběru.

Poté se začal řešit odběr kapalin, zde byl po konzultaci hlavního realizačního týmu převzat princip nasávání kapaliny z konceptu SCOOP 1, nebylo tedy třeba řešit výběr variant, protože to už bylo provedeno v bakalářské práci. Díky využití výsledků se tedy práce na modulu odběru kapalin výrazně urychlila.

### 5.5.1 Výpočty specifikační

Jednalo se o jednoduché základní výpočty pro zjištění teoreticky potřebného objemu vzdušníku, pro ovládání pneumatických ventilů a hlavice určené pro vysouvání hadiček.

Tyto výpočty byly prováděny hlavním řešitelem projektu a nebyly konzultovány s nikým dalším, tento postup byl zvolen zejména kvůli nedostatku času a nutnosti rychlého specifikování komponent k nakoupení.

Výpočty determinovaly objem vzdušníku, určily průměry hadiček, apod.



#### Chyby, nejasnosti a plán na jejich odstranění

Špatná komunikace s realizačním týmem návrhu manipulační nástavby a efektoru byla také jedním z důvodů odstoupení od původního konceptu s peristaltickou pumpou.

Při řešení projektu servisního mobilního robotu a jeho subsystém jednotlivé realizační týmy všeobecně málo nebo téměř vůbec nespolečupracovaly a jednotlivé výsledky se musely uměle přizpůsobovat již navrženým konstrukcím. To však bylo dáno povahou financování projektů a časovými harmonogramy.



#### Nápady a poznámky

Je nezbytné vymýšlet a uvažovat nad variantami řešení, ovšem ne vždy, jak tato kapitola jasně nastínila, je důležité postupovat efektivně a neřešit jednu věc vícekrát.

## 5.6 Nákup komponent



#### Cíl: Nákup komponent pro navrhovaný subsystém

- ✚ Postupy při nákupu komponent
- ✚ Komunikace s externími firmami a dodavateli
- ✚ Analýza současného podnikatelského prostředí v ČR



#### Výklad

Po poměrně jednoznačných výsledcích při výběru varianty pro odběr plynů a kapalin a po specifikačních výpočtech předběžně určujících parametry součástí následoval výběr dodavatelské společnosti a komponent.

### 5.6.1 Výběr dodavatele

Výčet dodavatelů v celku jednoznačně zúžila nutnost aplikace prvků s certifikátem ATEX, tedy komponent použitelných ve výbušném prostředí. Při rozsáhlém hledání těchto komponent došlo k podstatnému problému. Bylo zjištěno, že na trhu v dnešní době v zásadě neexistují komponenty nezbytně nutné a potřebné k automatizaci odběru, které by bylo možné použít v prostředí s tak vysokým rizikem výbuchu, jako jsou doły, tedy ATEX IM1.

Po krátkém meetingu hlavního realizačního týmu a konzultací vzniklého problému se rozhodlo pokračovat v nezměněné podobě ovšem se zmírněním požadavků na ATEX ochranu prvků z IM1 na první nejvyšší dostupnou II 1G, tedy největší úroveň ochrany ovšem na povrchu ne v dolech a podzemích.

Prvky s tímto typem ATEX ochrany nabízí společnost FESTO a SMC, hlavním řešitelem projektu byla vyhotovena tabulka potřebných komponent k nakoupení, odpovědný řešitel projektu řešící finanční stránku projektu a administrativu pak poptal dané komponenty u obou zmíněných společností. První komunikace se společností FESTO proběhla bez problémů. U společnosti SMC jsme se setkali s neporozuměním administrativních pracovníků, které se samy nevyznaly ve svých produktech. I přes to jsme ovšem po domluvě zvolili jako dodavatele komponent společnost SMC. Z důvodu mírně levnější nabídky.

### 5.6.2 Specifikace komponent a objednávky

Po rozhodnutí o odběru komponent od firmy SMC začal odpovědný řešitel projektu specifikovat komponenty a objednávat je. V průběhu této aktivity jsme zjistili, že společnost zaměstnává naprosto neschopné lidi, kteří se nejen že nevyznají ve svých produktových řadách, ale navíc nejsou schopni zaslat nabídku s námi požadovanými komponenty. Po zdlouhavé cestě domluv a vysvětlování přes telefon, kdy se navíc v průběhu objednávání vyměnily nejméně 3 pracovníce z důvodů dovolených apod., což ještě více zkomplikovalo komunikaci, se nakonec podařilo komponenty objednat.

Další problém ovšem nastal po živelné katastrofě, která postihla Japonsko, v němž jsou situovány hlavní výrobní prostory společnosti. Jelikož se jednalo o speciální komponenty (ATEX), musely se vyrábět a nebyly nikde na skladě k dispozici. Tento fakt kriticky prodloužil termín dodání o více než 6 týdnů. Tento problém tedy zásadně ovlivnil termín dokončení celého subsystému.

Po těchto útrapách jsme litovali prvního rozhodnutí o volbě dodavatele, jedná se ovšem o celosvětově věrohodnou a silnou společnost, pouze se špatným zastoupením v ČR, tudíž nedošlo k pochybení realizačního týmu, který tento nedostatek neznal.



#### Otázky, rizika a poznámky jak je vidím já

- Bylo možné nějak eliminovat dopad způsobený absencí zboží s certifikací ATEX IM1 na trhu?
- Bylo možné tento problém predikovat či ho odhalit již dříve?
- Jestli ano, jak to mohlo změnit konečný výsledek projektu?

Pravdou je, že tento fakt byl pro všechny členy týmu překvapením, takže nešlo předejít tomuto problému lepší komunikací či spoluprací v týmu. Ovšem po tomto zjištění jsem měl pocit, že bylo potřeba zaměřit se na rešerši dostupnosti těchto prvků úplně na začátku v úvodní fázi a položit si otázku: Existují vůbec komponenty, které jsou schopny toto zadání splnit? Jsem si jistý, že v případě dřívějšího zjištění tohoto problému by se design celého výsledku odvíjel zcela jiným směrem. Po opuštění dolů, jakožto hlavního místa pro

aplikaci subsystému, se totiž mohla zmírnit i jiná kritéria a celý systém by tak mohl mít zcela jiné parametry.



### Otázky, rizika a poznámky jak je vidím já

Položme si nyní otázky z jiného spektra:

- Jak je možné, že pracovníci společnosti neznají vlastní produkty, neví jak je specifikovat a navíc nejsou schopni sepsat správně nabídku?
- Jak se může stát, že společnost dodá zboží s šestitýdenním zpožděním a co pak můžeme jako zákazník dělat?

Je jasné, že podnikatelské prostředí v ČR je ještě velice nedokonalé a nevyzrálé, jinak by se pak nemohly dít věci, se kterými se setkáváme dennodenně. Ať už se jedná o špatně načepované pivo nebo o nepříjemné prodavačky v obchodech, pořád se jedná o stejně špatný přístup k zákazníkovi a o špatný výběr zaměstnanců zaměstnavatelem. Tento fakt znamená jasnou výhodu pro nové společnosti přicházející na trh, které si uvědomují, že péče o zákazníka má být na prvním místě.

Termín dodání je uveden v nabídce, tudíž po uplynutí tohoto termínu lze odstoupit a produkt dále nepřijmout, v tomto případě je důležité platit až po dodání zboží dodavatelem. Je ovšem jasné, že ve většině případů se jedná o zboží, které již nemáme možnost z časových a jiných důvodů sehnat jinde, proto je dobré pokusit se vyjednat alespoň slevu z ceny za potíže vzniklé opožděnou dodávkou zboží.

## 5.7 Výroba komponent



### Cíl: Výroba komponent pro navrhovaný subsystém

- Představení problémů vzniklých při výrobě komponent
- Představení technologie FDM a systému FORTUS 360mc L
  - Dělení a lepení
  - Vůle
  - Tloušťka stěn a pevnost
  - Tvary a přechodky



### Výklad

Nakoupené komponenty jako ventilové bloky, pumpa apod. bylo třeba vsadit do boxů, součástí projektu bylo od prvopočátku testování 3D tisku rapid prototyping, technologie FDM a systému FORTUS 360mc L. Bylo stanoveno maximální využití tohoto systému a testování tenkostěnných prvků vyrobených touto technologií.

Hlavní řešitel projektu vytvořil modely daných komponent. Po návrhu designu došlo k několika konzultacím s odpovědným řešitelem projektu, který zodpovídal za výrobu těchto

komponent a disponuje potřebným Kow-How v této oblasti. Po těchto schůzkách došlo k řadě designových úprav, až řešitelský tým došel k ideálním hodnotám tloušťek stěn, vůlí a tvarů.

Při výrobě došlo také k vytvoření několika testovacích kusů. K tomu došlo z důvodu nedostatečných znalostí v této oblasti. Takto vyrobené plastové komponenty představovaly ověření hodnot před výrobou rozměrných kusů. Tento postup se jednoznačně osvědčil, několikrát byla totiž díky tomu měněna například tloušťka stěny.

### 5.7.1 Technologie FDM a systém FORTUS 360mc L

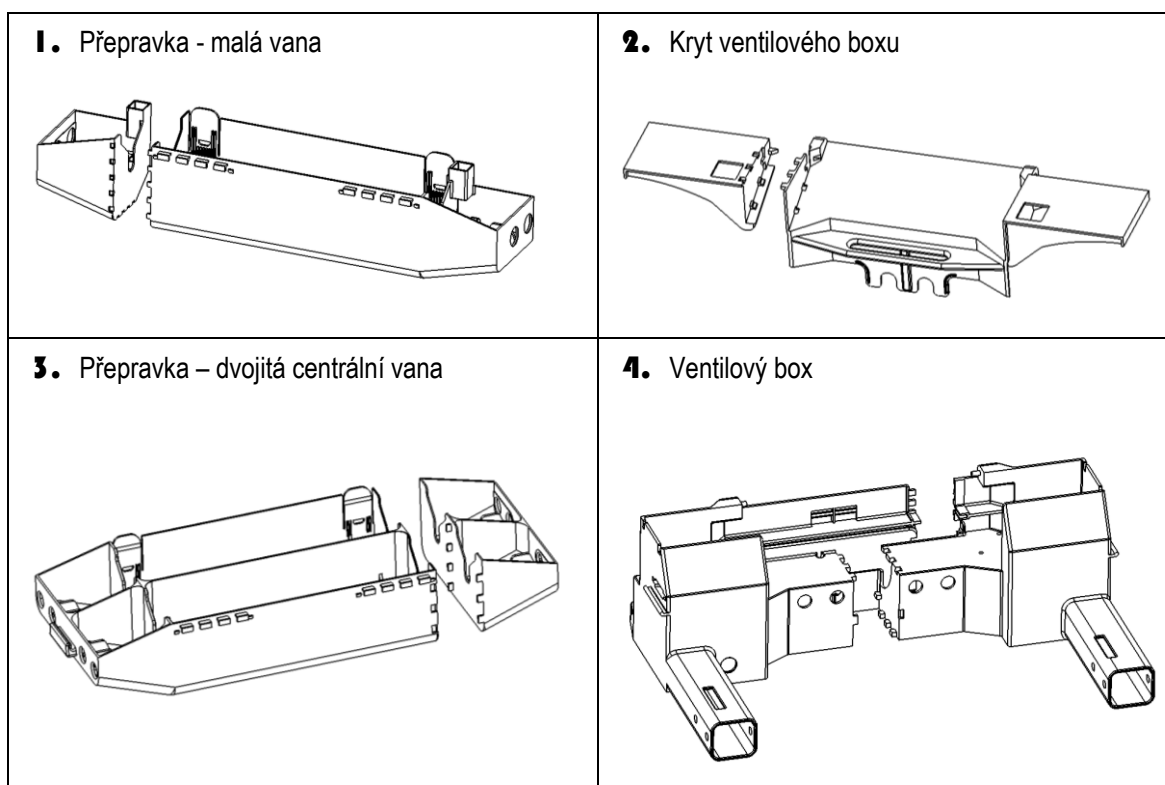
Rozměry pracovního prostoru systému FORTUS: 406 x 356 x 406 mm (š x h x v)

#### Dělení

Tento limit znamenal během návrhu designu přepravních a ventilových boxů značnou komplikaci. Litrové vzorkovnice jsou samy o sobě dlouhé 320 mm, s přidáním ručně uzavíratelných ventilů je délka už více než 460 mm. Uložit tuto sestavu do boxu znamená vytvořit schránku delší než největší rozměr pracovního prostoru. Řešením tohoto problému se stalo dělení přepravních a ventilových schránek.

Za účelem zvětšení pevnosti ve smyku byly dělené skříně navrženy se zámky, které do sebe zapadají a tím vymezují vzájemnou polohu dílů a zlepšují kvalitu spoje. Modely takto dělených boxů lze vidět v Tab. 5.6.

Tab. 5.6 - Modely dělených dílů se zámky



Dělené díly byly spojeny lepením. Jako dobrá volba se osvědčilo vteřinové jednosložkové lepidlo Loctite 401 s doporučenou použitelností na plasty. Lepený spoj

doznává svých kvalit už po 5 - 10 s a zaručená manipulační pevnost ve smyku je pro plasty 7 – 11 N/mm<sup>2</sup>.

#### ✚ Vůle

Dalším úskalím jsou tolerance a dostatečně velké vůle. Velká drsnost povrchu vznikající ložením vrstev při výrobě plastových dílů znamená vysoký součinitel tření, navíc bylo zjištěno, že natavováním jednotlivých vrstev dochází k vytváření drobných odchylek v konečné tloušťce dílů, které mohou dosahovat až 0,2 milimetru. To vše neblaze ovlivňuje pohyblivost do sebe zapadajících dílů. Problém lze vyřešit broušením stykových ploch, ovšem lépe, navržením dostatečně velké vůle.

Při návrhu zasouvacích (šuplíkových) krytů a vík byla volena vůle mezi stykovými plochami 1 – 2 mm, při tvorbě dělených dílů pak vůle mezi zámky 0,15 – 0,4 mm.

#### ✚ Tloušťky stěn a pevnost

Během designování schránek měla největší vliv na kvalitu a robustnost tloušťka stěn, protože se prakticky jedná o skořepinové prvky. V průběhu návrhu se ideální hodnota měnila. Bylo zjištěno, že při rozměrných boxech, jako je tomu v tomto případě, není vhodné uvažovat o hodnotách nižších než 2 mm. Pro rozměrnější tenkostěnné prvky byla vyhodnocena jako ideální tloušťka stěny  $t = 3$  mm.

Při orientování dílu v pracovním prostoru stroje je dále zapotřebí uvažovat o vhodném ložení vrstev. Pokud bude prvek často namáhán silou v určitém směru, je vždy nutné dbát na to, aby pokud možno, směr napětí působil kolmo na ložené vrstvy a ne rovnoběžně s nimi. Pokud součást takto orientovat nejde, kritická místa musíme vyztužit žebry nebo prolisy.

#### ✚ Tvary a přechody

Ačkoliv rapid prototyping systém FORTUS zvládne téměř jakékoliv náročné tvary, přece jen lze nalézt některá slabá místa. Jako jeden z příkladů uveďme větší zkosené plochy (plochy se stoupáním), které jsou u tenkostěnných prvků tím nejslabším místem. K vrstvení totiž dochází pouze po rovinách, tím pádem se u těchto ploch vytváří “schodkovitá” struktura zpozorovatelná při detailnější vizuální a hmatové kontrole. Tato struktura je pak velmi křehká a náchylná na prasknutí. Zvětšit tloušťku stěny v tomto případě někdy nestačí, proto musíme aplikovat žebra a těmi tuto plochu vyztužit. Pokud ani ty aplikovat nelze, máme ještě možnost přeorientovat díl v pracovním prostoru stroje (např. uložení vertikální).

## 5.7.2 Elektronika

Na základě vyspecifikovaných požadavků vyplývajících ze schůzek hlavního realizačního týmu, navrhl a vytvořil Ing. Ján Babjak elektronický hardware a software sloužící k řízení elektrických prvků v systému.

Elektronika v podobě řídicí karty je uložena v CUS boxu spolu s ostatními elektrickými komponenty, to lze vidět na Obrázek 5.4.





Obrázek 5.4 - CUS, řídicí karta a elektricky ovládané ventily



### Nápady a poznámky

Při vývoji boxů, funkčních částí a komponent technologií FDM na systému FORTUS 360mc L bylo jednoznačně důležité konzultovat navržený design s někým, kdo je v dané oblasti proškolený, není tak zcela pravda že 3D tisk zvládne všechny tvary. Je důležité technologicky postupovat tak, aby došlo k nejmenší spotřebě materiálu a aby se dal odstranit podpůrný materiál. Je taky dobré v případě nejistoty nechat zhotovit prototyp prototypu v menším měřítku a otestovat ho před výrobou vlastního rozměrného modelu.

## 5.8 Montáž celků a předběžné testování



**Cíl:** Montáž jednotlivých částí subsystému a jejich následné testování

- ✚ Popis postupné montáže subsystému
- ✚ Popis předběžného testování pneumatických obvodů



### Výklad

Montáž byla rozdělena do dvou fází, první došlo ke smontování a složení pneumatických obvodů a celků. Až ve druhé fázi se celky rozpojily a přichytily do boxů, v nichž se znova zapojily do funkčních celků. Tento postup byl zvolen kvůli prvotnímu testování navržených pneumatických obvodů a prvků.

#### 5.8.1 První fáze montáže a testování

Došlo k zapojení pneumatického obvodu odběru plynů a následného testování nasáváním uměle vyvolaného kouře. Tato činnost vyžadovala tým dobrovolníků a přenesení celého systému do venkovního prostředí. Na Obrázek 5.5 je vidět propojení pneumatického obvodu odběru plynů. Totéž proběhlo i pro odběr kapalin. Až po zjištění správnosti funkce a zapojení došlo k finálnímu kompletování do boxů a složení celého systému.



Obrázek 5.5 – Předběžné propojení odběru plynů

### 5.8.2 Druhá fáze montáže

Po výrobě komponent a boxů, bylo třeba odstranit podpurný materiál, napasovat a slepit dělené díly a složit funkční části do sebe. Tento proces vyžadoval mnoho času a trpělivosti, při odstraňování podpor se vystříдалo několik dobrovolníků, aby měla práce rychlejší spád. Při sestavování funkčních celků se bohužel nepodařilo odhadnout vše 100% správně, proto došlo několikrát k manuálnímu broušení a úpravám vyrobených částí. Po složení plastových dílů se do boxů přišroubovaly ventilové bloky a ostatní komponenty.

## 5.9 Výpočty aplikační a testování celého systému



**Cíl:** Popis aplikačních výpočtů a následného testování systému

- + Postup řešení výpočetní části
- + Spolupráce s odborným asistentem Katedry hydromechaniky a hydraulických zařízení VŠB-TU Ostrava



### Výklad

Jednalo se zejména o výpočet úbytku tlaku ve vzdušniku, který byl pak prakticky ověřen. Byla také snaha provést výpočty ztráty tlaku na pasivních odporech pneumatického obvodu. Pro zajištění správného postupu realizační tým kontaktoval odborníky ze společnosti SMC, po několika konzultacích jsme zjistili, že nám nejsou schopni pomoci a že neví, jak výpočty provést. Toto zjištění opět přispělo ke špatnému hodnocení vybraného dodavatele. Výpočty nakonec tedy proběhly v rámci realizačního týmu a hodnoty byly reálně ověřeny.

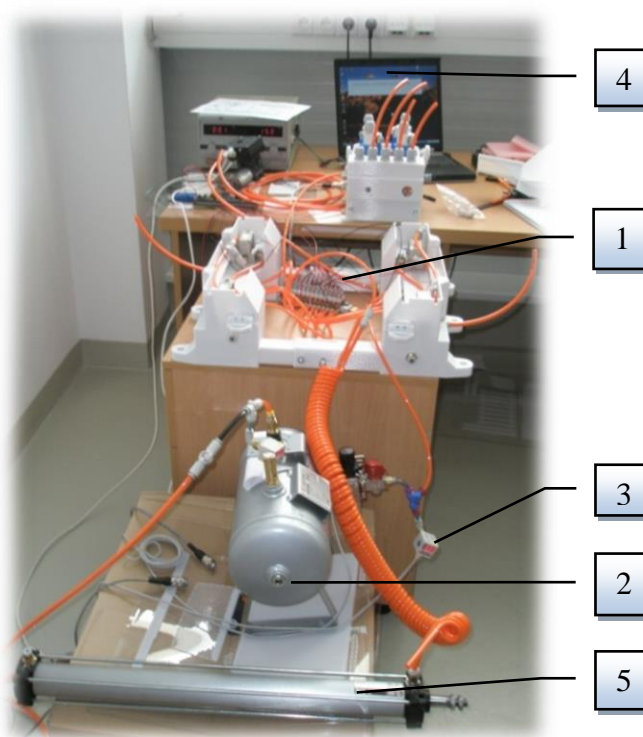
#### 5.9.1 Výpočet úbytku tlaku ve vzdušniku a testování

Výpočet i testování bylo prováděno ve spolupráci s Katedrou hydromechaniky a hydraulických zařízení VŠB-TU Ostrava. Odborný asistent Ing. Dvořák Lukáš, Ph.D. zajistil všechny potřebné měřicí a jiné komponenty pro zjištění reálného úbytku tlaku ve vzdušniku při práci mnohonásobných cyklů s použitím přetlakované hlavice pro odběr. Spolupráce proběhla bez komplikací, došlo k několika schůzkám a byly stanoveny postupy měření, které se maximálně blížily reálnému provozu zařízení v terénu. Měření předcházely kontrolní výpočty prováděné hlavním řešitelem projektu a konzultované taktéž s panem Ing. Dvořák

Lukáš, Ph.D., který doporučil postupy nejbližší shodné reálnému stavu. Na závěr se výpočty srovnaly s naměřenými hodnotami a provedlo se grafické porovnání. Spolupráce tak umožnila definovat maximální počet cyklů odběrů vzorků, které robotu může provést na jedno naplnění vzdušníku na tlak 7 bar.

### 5.9.2 Postup měření a jeho realizace

Subsystémy odběru plynů a tekutin byly propojeny s centrálním rozvodem a řídicí jednotkou tak, jak bude realizováno na podvozku robotu (Obrázek 5.6, (1)). Na vstupu do vzdušníku (2) a na jeho výstupu byly připojeny digitální manometry společnosti SMC (3), přes uživatelský interface v notebooku (4) byly spouštěny postupně jednotlivé ventily a byl tak simulován provoz daného subsystému při zásahu. Přetlakovaná hlavice byla nahrazena pneumatickým válcem (5). Měření proběhlo za pokojové teploty 20°C. Jednotlivé hodnoty poklesu tlaku byly zaznamenávány do tabulky.



Obrázek 5.6 - Měření poklesu tlaku ve vzdušníku



### Nápady a poznámky

V této závěrečné části projektu došlo k mezikatedrální spolupráci, kdy došlo k využití know-how odborníků a k využití prostředků, jimiž disponovala jiná katedra.

## 6 ZÁVĚR

Předchozí kapitoly pouze potvrdili tvrzení uvedené v úvodu této studie, že návrh mobilního robotu, resp. jeho subsystémů není triviální záležitostí a že před týmy řešícími dané úkoly stál nelehký úkol. I přesto, že výsledná zařízení vypadají na první pohled relativně jednoduše, nad jejich návrhy a výrobou trávili členové řešitelských týmů stovky a tisíce hodin práce. Během konstrukčních návrhů byly měněny požadavky kladené na oba subsystémy. To bylo dáno převážně nedostupností vhodných komponent pro dané zařízení. Bylo potřeba řešit také záležitosti týkající se výroby. Ať už formou drobných konstrukčních úprav navržených zařízení až v průběhu výroby nebo testováním nově dostupných výrobních technologií (např. technologie 3D tisku). To sebou přinášelo nejen problémy s plněním harmonogramů prací, ale také navyšovalo množství finančních prostředků potřebných pro výrobu těchto subsystémů.

Mobilní robot ARES, osazený navrženými subsystémy v podobě manipulační nástavby a zařízení pro odběr kapalných a plyných vzorků, je na následujícím obrázku. Stále probíhají práce na vylepšování nejen těchto subsystémů, ale celého robotu v závislosti na výsledcích jeho testování.



Obrázek 6.1 – Mobilní robot ARES osazený manipulační nástavbou a subsystémem pro odběr kapalných a plyných vzorků