



**FAKULTA
ŠTROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Ústav konstruování a částí strojů

**Konstrukce mobilní platformy pro robotické
polohování měřicího přístroje**

**A mobile platform design for robotic
positioning of the measuring instrument**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2020

Bc. Vojtěch ČEJKA

Studijní program: 2301T047

Studijní obor: Transportní technika

Vedoucí práce: Doc. Ing. Jan Hošek, Ph.D.

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení:	Čejka	Jméno: Vojtěch	Osobní číslo: 423343
Fakulta/ústav:	Fakulta strojní		
Zadávací katedra/ústav:	Ústav konstruování a částí strojů		
Studijní program:	Strojní inženýrství		
Studijní obor:	Dopravní, letadlová a transportní technika		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Konstrukce mobilní platformy pro robotické polohování měřicího přístroje

Název diplomové práce anglicky:

A mobile platform design for robotic positioning of the measuring instrument

Pokyny pro vypracování:

- 1) Provést rešerši robotů vhodných pro polohování měřicího přístroje LightDrum
- 2) Provést analýzu dostupnosti a bezkolizní manipulace s přístrojem u vybraných typů robotů
- 3) Provést konstrukční návrh mobilní platformy umožňující převoz manipulačního robota s přístrojem a dalším vybavením na místo měření
- 4) Identifikovat možné změny v konstrukci při použití různých typů dostupných robotů.

Seznam doporučené literatury:

Kamarád J., Sládek, Z.: Základy přesné mechaniky I, ČVUT, 1987.
KUGL, Otmar. HOUKAL, Jiří. TOMEK, Pavel a ZÝMA, Jiří. Projekt-III. ročník. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005.
MICHALEC, Jiří. Pružnost a pevnost I. 3. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 2010

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

doc. Ing. Jan Hošek, Ph.D., odbor přesné mechaniky FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: 23.03.2020 Termín odevzdání diplomové práce: 31.07.2020

Platnost zadání diplomové práce: _____

_____ doc. Ing. Jan Hošek, Ph.D. podpis vedoucí(ho) práce	_____ Ing. František Lopot, Ph.D. podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry	_____ prof. Ing. Michael Valášek, DrSc. podpis děkana(ky)
---	---	---

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

_____ Datum převzetí zadání

_____ Podpis studenta

Anotační záznam

Jméno autora	Vojtěch
Příjmení autora	Čejka
Název práce	Konstrukce mobilní platformy pro robotické polohování měřicího přístroje
Anglický název	A mobile platform design for robotic positioning of the measuring instrument
Rozsah práce	Stran: 84 Tabulek: 12 Obrázků: 85 Příloh 1
Akademický rok	2019/2020
Ústav	Ústav konstruování a částí strojů
Studijní program	Magisterský – Transportní technika
Vedoucí diplomové práce	Doc. Ing. Jan Hošek, Ph.D.
Oponent diplomové práce	Ing. Jaroslav Křička, Ph.D.
Konzultant diplomové práce	
Zadavatel tématu	ČVUT
Klíčová slova	Průmyslový robot, analýza, měřící jednotka, rozsah měření, kolize, baterie, konstrukce
Keywords	Industrial robot, analysis, measuring unit, measuring range, collision, battery, construction

Abstrakt:

Tato práce je věnována návrhu mobilní platformy pro robotické polohování měřicího přístroje. V práci je provedena rešeršní část na průmyslové roboty. Dále je vypracována analýza výběru vhodného průmyslového robotu pro použití na mobilní platformě. Součástí práce je návrh všech komponentů pro funkčnost měřicí platformy. Na základě vybraného robotu a komponentů je zkonstruován 3D návrh pojízdné měřicí platformy.

Abstract:

This master thesis is devoted to the design of mobile platform for robotic positioning of a measuring instrument. The research part is focused on industrial robots. Furthermore, an analysis of selection of a suitable industrial robot for use on a mobile platform was performed. Part of the thesis is the design of all components for the functionality of measuring platform. Based on selected robot and components, a 3D design of a mobile measuring platform is constructed.

Prohlášení o autorství:

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré informační zdroje s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne

Podpis

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat panu doc. Ing. Janu Hoškovi, Ph.D. za vedení mé diplomové práce. Rád bych také poděkoval všem vyučujícím, kteří mi dokázali předat znalosti, poučení a životní zkušenosti během studia na ČVUT. Největší poděkování patří mé rodině, kamarádům, kočce a zejména přítelkyni za jejich morální i materiální podporu.

Obsah:

1. Úvod	1
2. Cíl práce	1
3. Východiska pro návrh vozíku	2
3.1. Měřicí jednotka	2
3.2. Ustavení měřicí jednotky	2
3.3. Vstupní parametry	2
4. Základní prvky měřicího vozíku	3
5. Robot	4
5.1. Úvod k průmyslovým robotům	4
5.2. Typy průmyslových robotů	5
5.2.1. Dělení dle stupňů volnosti	5
5.2.2. Dělení dle pohonu	5
5.2.3. Dělení dle konstrukce	6
5.3. Požadavky na průmyslový robot pro měřicí vozík	8
5.4. Seznam předvybraných robotů	8
5.4.1. Universal robots UR16E [10]	9
5.4.2. OMRON TECHMAN TM14X [11]	10
5.4.3. KUKA LBR iiwa 14 R820 [12]	11
5.4.4. FANUC CR-14iA/L [13]	12
5.4.5. Mitsubishi RV-20F [14]	13
5.4.6. Staubli TX2-90 [15]	14
5.5. Výběr robotu	15
5.5.1. Hodnocené parametry robotů	15
5.5.1.1. Zatížení robotu	15
5.5.1.2. Hmotnost robotu	15
5.5.1.3. Hmotnost řídicí jednotky robotu	16
5.5.1.4. Rozměr řídicí jednotky robotu (Š, V, H) [mm]	17
5.5.1.5. Pracovní rozsah robotu	17
5.5.2. Zhodnocení parametrů robotů	18
5.5.3. Bodové hodnocení	18
5.5.4. Zhodnocení výběru robotu	18
5.6. Analýza kolize a dostupnosti měření s robotem Universal robots UR 16E	19
5.6.1. Rozsah robotu Universal robots UR 16E	19
5.6.2. Omezení z důvodu kolize robotu UR 16E	20
5.6.3. Rozsah měření a omezení s ohledem na těžiště	22
5.7. Analýza kolize a dostupnosti měření s OMRON TECHMAN TM14X	23
5.7.1. Rozsah robotu OMRON TECHMAN TM14X	23
5.7.2. Omezení z důvodu kolize robotu OMRON TECHMAN TM14X	24
5.7.3. Rozsah měření a omezení s ohledem na těžiště	26
6. Baterie	28
6.1. Baterie YETI 3000 LITHIUM [16]	28

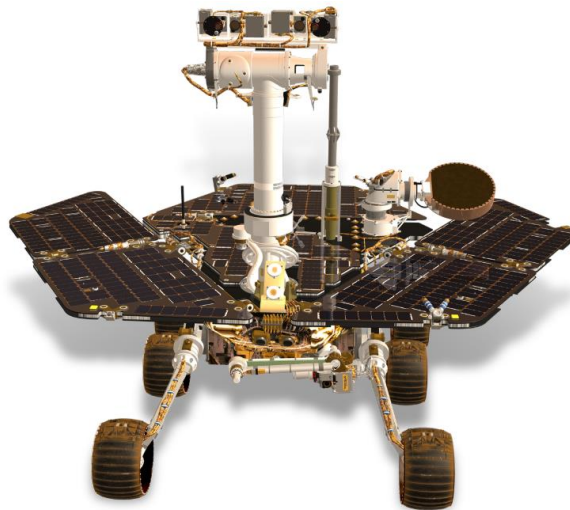
6.2. Baterie z jednotlivých komponentů	29
6.2.1. Elektrické komponenty do baterie [17]	29
6.2.2. Složení baterie	31
6.2.3. Zhodnocení baterie z jednotlivých komponentů.....	32
6.3. Výběr baterie.....	32
7. Zdvíž	33
7.1. Přehled dostupných zdviží	33
7.1.1. Nabídka firmy Linak	33
7.1.2. Nabídka firmy X2 Technology AB	33
7.2. Výpočet zatížení zdviže	34
7.2.1. Výpočet potřebné zvedací síly.....	34
7.2.2. Výpočet ohybového momentu zdviže	34
7.3. Vyhodnocení zdviže	35
8. Rozložení jednotlivých prvků na měřicím celku	36
8.1. Hlavní prvky na měřicím celku	36
8.2. Varianty rozložení.....	37
8.2.1. Rozložení - 1. varianta.....	37
8.2.2. Rozložení - 2. varianta.....	38
8.2.3. Rozložení - 3. varianta.....	38
9. Konstrukce vozíků.....	39
9.1. Nosný rám	40
9.1.1. Materiál rámu.....	40
9.1.2. Konstrukce rámu	40
9.2. Přední kola	42
9.3. Zadní náprava.....	43
9.3.1. Komponenty nápravy	44
9.3.1.1. <i>Hřídel</i>	44
9.3.1.2. <i>Ložiskové domky</i>	45
9.3.1.3. <i>Zadní kola</i>	46
9.3.1.4. <i>Spojky</i>	46
9.3.1.5. <i>Ovládání spojky</i>	47
9.4. Pojezd měřicího celku.....	48
9.4.1. Výpočet potřebného výkonu, otáček a kroutícího momentu	48
9.4.1.1. <i>Výpočet potřebné hnací síly</i>	48
9.4.1.2. <i>Výpočet potřebného výkonu pro pojezd</i>	49
9.4.1.3. <i>Výpočet otáček nápravy</i>	49
9.4.1.4. <i>Výpočet potřebného kroutícího momentu</i>	50
9.4.2. Volba motoru a řetězového převodu	50
9.5. Ustavení měřicího celku.....	51
9.5.1. Volba lineárního pohonu	52
9.5.2. Konstruktivní řešení ustavení v přední části měřicího celku	53
9.5.3. Konstruktivní řešení ustavení v zadní části	54
9.6. Rukověti	55
9.6.1. Konstrukce rukověti.....	55

9.6.2. Uchytení rukověti k rámu	57
9.6.3. Rukověti jako madla pro manipulaci	58
9.7. Úchyt lineárního pohonu	58
9.8. Naklápění	59
9.8.1. Lineární pohon	59
9.8.2. Konstrukční řešení naklápění	60
9.9. Spoj zdviž - naklápění.....	61
9.9.1. Technické provedení spoje zdviž - naklápění	61
9.10. Spoj robot - zdviž	62
9.10.1. Připojovací rozměry robotů.....	62
9.10.2. Připojovací rozměry zdviže.....	63
9.10.3. Technické provedení spoje robot - zdviž.....	64
9.11. Spoj měřící jednotka - robot.....	66
9.11.1. Připojovací rozměry měřící jednotka - robot.....	66
9.11.2. Technické provedení spojení měřící jednotky s robotem	67
10. Závěr	67
11. Seznam kupovaných dílů na konstrukční části vozíku	68
11.1. Kupované díly pro skládanou baterii	68
11.2. Kupované díly pro spoj robotu s měřící hlavou	68
11.3. Kupované díly pro spoj robotu se zdviží	68
11.3.1. Pro spoj s robotem Universal robots UR 16E	68
11.3.2. Pro spoj s robotem OMRON TECHMAN TM14X	69
11.4. Kupované díly pro spoj robotu s měřící hlavou	69
11.5. Kupované díly pro spoj úchytu ke svařované sestavě základny	69
11.6. Kupované díly pro úchyt osy k rámu a kluzných ložisek k ose	69
11.7. Kupované díly pro úchyt lineárního pohonu LA 23.....	69
11.8. Kupované díly pro přední ustavovací nohy a jejich uchycení.....	69
11.9. Kupované díly pro přední kola a jejich uchycení	70
11.10. Kupované díly pro madla v rámu.....	70
11.11. Kupované díly pro úchyt lineárního pohonu	70
11.12. Kupované díly pro uchycení řídicí jednotky robotu	70
11.13. Kupované díly pro uchycení baterie	70
11.14. Kupované díly pro uchycení bezpečnostního tlačítka.....	70
11.15. Kupované díly pro hnací část.....	71
11.16. Kupované díly pro uchycení spodních krytů	71
11.17. Kupované díly pro zadní nápravu	71
11.18. Kupované díly pro rukověti	72
11.19. Kupované díly pro zadní ustavení.....	72
11.20. Nýtovací matice pro rám.....	72
12. Seznam použité literatury a zdrojů	73
13. Seznam obrázků	75
14. Seznam tabulek.....	76
15. Seznam příloh	76

1. Úvod

Měření je nedílnou součástí každé přírodní vědy. Měřením se zabývá vědecký obor metrologie, která zkoumá měření technických a fyzikálních veličin. V dnešní době stále častěji přenášíme reálný svět do digitální podoby. Tento přenos je prováděn měřením a snímáním. Textury a odrazivost materiálu jsou aspekty, které virtuální svět přibližují reálnému. Tyto zdánlivě nepodstatné věci mají velké využití ve filmovém průmyslu, marketingu, virtuální realitě a mnoha dalších oborech.

V dnešním rychlém světě by mělo být měření co nejrychlejší, jednoduché na obsluhu, s dostatečnou přesností a nezávislé na prostředí. Dané požadavky vedou k automatizaci měření a velkým technickým inovacím pro usnadnění a zrychlení měření. Dosavadním vrcholem v inovacích a možnostech měření za účelem poznání je mise robotického vozíku na Marsu (Obr.1).



Obr. 1 Mars rover [1]

2. Cíl práce

Cílem práce je zhotovení návrhu vozíků pro měřicí jednotku. Vozík by měl obsahovat všechny potřebné prvky pro přesné měření. Výchozím prvkem pro návrh je již zhotovená měřicí jednotka na měření odrazivosti a textury materiálu. Na vozíku bude umístěn průmyslový robot, který bude ustavovat měřicí jednotku do přesné polohy.

3. Východiska pro návrh vozíku

Následující kapitoly přináší přehled informací k zadané měřicí jednotce a vstupní parametry, které je nutné dodržet pro přesné měření.

3.1. Měřicí jednotka

Měřicí jednotka, její rozměry, hmotnost a měřicí parametry jsou pevně dané. Měřicí jednotka opticky snímá povrch měřeného materiálu. Měřicí jednotka váží 15 kg, má průměr cca 60 cm a výšku cca 30 cm. Je nutné, aby byla k měřicí jednotce na vozíku umístěna řídicí jednotka o hmotnosti 10 kg. Rozměry řídicí jednotky budou upraveny dle konstrukce vozíku. Měřicí jednotka je závislá na elektrickém zdroji a ovládána pomocí tabletu. Měřicí jednotka s řídicí jednotkou je ukázaná na Obr.2.



Obr. 2 Měřicí jednotka s řídicí jednotkou [2]

3.2. Ustavení měřicí jednotky

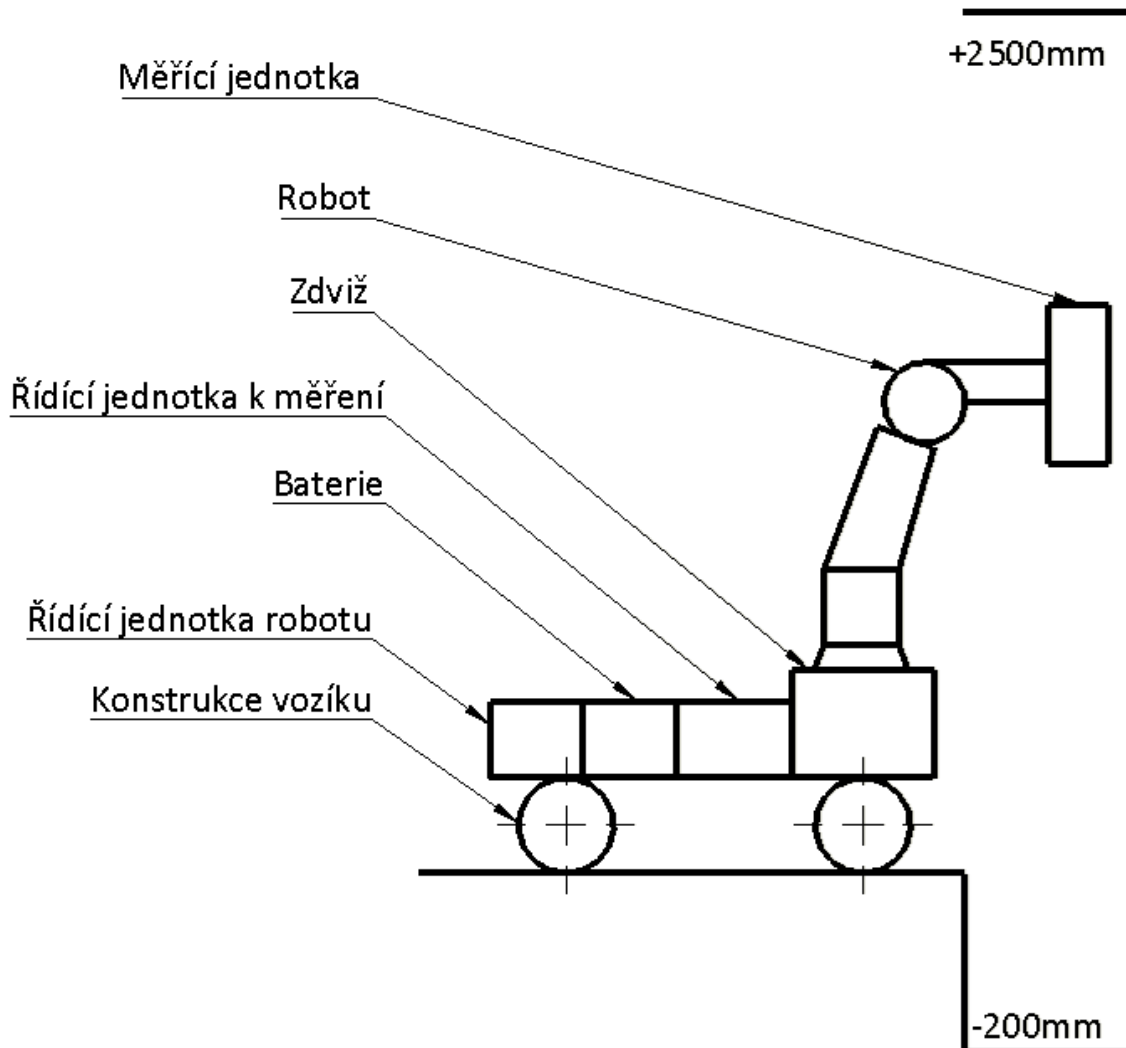
Měřicí jednotka bude ustavena k měřenému povrchu za pomoci průmyslového robotu, který bude dostatečně tuhý a přesný. Pro samotné přesné měření je zásadní ustavení a minimalizace pohybu měřicí jednotky.

3.3. Vstupní parametry

Důležitým vstupním parametrem je rozsah měření, který zásadně ovlivní konstrukci vozíku a volbu robotu. Rozsah měření zahrnuje interiérové prostory, proto je volen horní rozsah +2500 mm od podlahy. Měření bude probíhat i v exteriéru a pod úrovní podlahy, proto je volen spodní rozsah -200 mm. Rozsah je znázorněn na Obr.3 Schéma měřicího celku. Pro dosažení potřebného měřicího rozsahu bude pod robot umístěna zdviž.

S ohledem na mobilitu celého vozíku je nutné, aby se vešel do osobního výtahu a kufru malé dodávky. Celková délka měřicí jednotky by neměla přesáhnout 1000 mm a šířku 600 mm.

4. Základní prvky měřícího vozíku

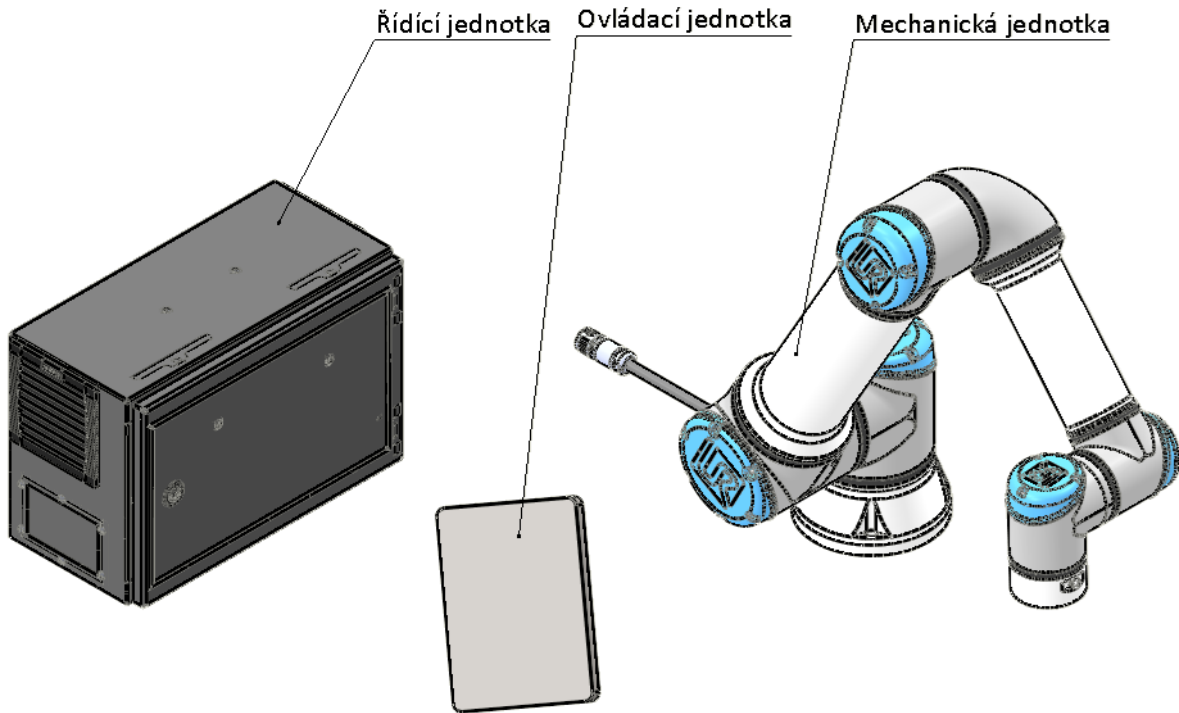


Obr. 3 Schéma měřícího celku

Na Obr.3 Schéma měřícího celku je schematicky znázorněn vozík s měřící jednotkou. Měřící jednotka je umístěna na průmyslovém robotu, který bude zajišťovat její přesné ustavení. Průmyslový robot nebude mít dostatečný rozsah, proto bude robot ustaven na zdviži, který zajistí měření v horní části měřeného rozsahu. Zdvíž s robotem bude umístěn v přední části vozíku. Dále bude na vozíku umístěna řídicí jednotka k měření, baterie a řídicí jednotka robotu (kabinet).

5. Robot

5.1. Úvod k průmyslovým robotům



Obr. 4 Průmyslový robot

Průmyslový robot je relativně nové zařízení. V období druhé světové války při vývoji atomové bomby bylo zapotřebí manipulovat s radioaktivním materiálem. Pro tyto účely byl sestaven první manipulátor. První prototypy průmyslových robotů vznikaly na přelomu 50. a 60. let minulého století. Jejich zavedení do praxe bylo velice rychlé. Již v 80. letech byly průmyslové roboty běžně nasazovány ve strojírenské výrobě. První průmyslový robot Unimate 1900 byl vyroben v USA a také poprvé hromadně použit ve firmě General Motors. Průmyslové roboty postupně začaly nahrazovat lidskou sílu ve fyzicky náročných úkonech s velkou frekvencí opakování, v nepřírodných polohách pro člověka, v nezdravém prostředí a při vysokých teplotách. Zavedení průmyslových robotů má tedy i humánní aspekt, ale současně i ekonomický a kvalitativní přínos. V roce 2000 se již celosvětově používalo více jak 1,3 milionů robotů.

Průmyslové roboty se využívají zejména v hromadné výrobě, skladech, balárnách, ale můžeme se s nimi setkat v mnoha jiných odvětvích. Většina průmyslových robotů se skládá z mechanické jednotky, řídicí jednotky neboli kabinetu a ovládací jednotky (Obr.4). Ovládací jednotka je nejčastěji tablet či notebook. [3]

5.2. Typy průmyslových robotů

Rozdělení průmyslových robotů není jasně dáno. K rozdělení lze přistupovat podle různých kritérií – počet stupňů volnosti, kinematické struktury, konstrukce, použitých pohonů, využití a mnoha jiných kritérií. Historicky první dělení bylo dáno z hlediska řízení a programování. Vývoj robotizace přináší nové typy robotů, jako například kolaborativní roboty. Tyto roboty mohou spolupracovat s lidmi. [3]

5.2.1. Dělení dle stupňů volnosti

1) Univerzální robot

Univerzální robot má šest stupňů volnosti. V kartézském souřadném systému jednoznačně vymezuje polohu a orientaci objektu. [3]

2) Redundantní robot

Redundantní robot má více jak šest stupňů volnosti. Díky větší volnosti může lépe obcházet překážky a pracovat ve stísněných prostorech. [3]

3) Deficitní roboty

Deficitní robot má méně než šest stupňů volnosti. Provádí operace v rovině. Například SCARA robot. [3]

5.2.2. Dělení dle pohonu

1) Elektrický – v dnešní době nejvíce využívaný. [3]

2) Hydraulický – jestliže je zapotřebí velkých nosností, použití v těžkém průmyslu (slévárny, kovářny). [3]

3) Pneumatický – jestliže je zapotřebí vysoká rychlost a malá nosnost. [3]

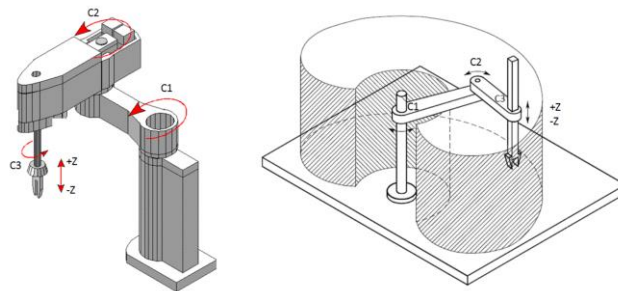
5.2.3. Dělení dle konstrukce

- 1) Karteziánské roboty (Obr.5 Portálový robot) – pohybují se v kartézském souřadném systému. Jinak jsou nazývané přímočaré nebo portálové. [4]



Obr. 5 Portálový robot [5]

- 2) SCARA roboty (Obr.6) – přes malou velikost a nízkou váhu mají vysoký výkon a velkou přesnost. Používají se jak při montáži, tak i při manipulaci. Jsou ideální na kratší trajektorie a časté opakování. [4]



Obr. 6 SCARA robot [6]

- 3) Kloubové roboty (Obr.7) – umožňují manipulaci ve třírozměrném prostoru. Mají širokou možnost pracovní modifikace jako svařovací roboty, manipulační roboty, balící roboty a mnoho dalších. Často se využívají v konceptu Industry 4.0. Podle provedení lze montovat kloubové roboty na podlahu, stěnu, šikmé plochy či strop. [7]



Obr. 7 Kloubový robot [6]

- 4) Dual-arm roboty (Obr.8) – jsou roboty s duálními robotickými pažemi. Tyto paže mohou být jak kloubové, tak SCARA. Jednotlivá ramena mohou spolupracovat na jedné činnosti nebo také každé pracovat samostatně.



Obr. 8 Dual-arm robot [8]

- 5) Delta roboty (Obr.9) – neboli pavoukovité roboty, jsou určeny pro operace, na které nestačí SCARA roboty. Jsou navrženy pro maximální rychlost, všestranné vysokorychlostní operace, manipulace a sběr. Nejčastěji se používají pro sběr malých dílů v mnoha průmyslových odvětvích (farmacie, potravinářství, elektronicky). [9]



Obr. 9 Delta robot [9]

5.3. Požadavky na průmyslový robot pro měřicí vozík

V našem případě se jedná o velice specifické použití průmyslového robotu, jelikož bude umístěn na pojízdné platformě jak v exteriéru, tak v interiéru. Celá měřicí jednotka by měla být co nejlehčí. Robot by měl mít co nejmenší hmotnost, velký rozsah a nosnost v celém rozsahu 15 kg. Robot musí splňovat požadavek na práci ve venkovní prostředí. Při přepravě bude docházet k značným rázům, proto by měl být robot odolný vůči chvění a rázům.

Z uvedených hledisek je nejvhodnější robot kloubový s šesti stupni volnosti z důvodu rozsahu a ustavení měřicí jednotky. Zda-li bude robot kolaborativní či ne, není podstatné, jelikož se jedná o vědecké měření a nemusí splňovat potřebné bezpečnostní normy pro obsluhu.

5.4. Seznam předvybraných robotů

V rámci diplomové práce mi byl poskytnut seznam již předvybraných robotů. V této kapitole je stručný přehled robotů se zásadními parametry pro návrh měřicího vozíku.

5.4.1. Universal robots UR16E [10]

Výrobce robotu je Dánská firma Universal robots. Jedná se o menší firmu, která v roce 2009 uvedla na trh první řadu robotů UR. Další významný mezník je rok 2018 a uvedení první série s koncovkou E, což jsou kolaborativní roboti.

Základní parametry:

- Zátěž 16 kg
- Dosah 900 mm
- Přesnost $\pm 0,05$
- Hmotnost robotu 33,1 kg
- Hmotnost kabinetu 12 kg
- Rozměry kabinetu (Š x V x H) 475 mm x 423 mm x 268 mm
- Ovládací panel tablet, hmotnost tabletu 1,6kg
- Příkon 585 W
- Napájení 1 x 230 V
- Kolaborativní robotické rameno



Obr. 10 Universal robots UR16E

Klady

- Snadná programovatelnost bez předchozích zkušeností s programováním
- Vysoká bezpečnost
- Možnost nainstalovat zvedací sloupek součásti robotu

Zápory

- Maximální povolený náklad ramene robota závisí na posunu těžiště.

5.4.2. OMRON TECHMAN TM14X [11]

Výrobce Omron Techman je Tchajwanská firma, která patří mezi největší výrobce kolaborativních robotů na světě. Zaměřuje se na kolaborativní roboty s kamerovým systémem.

Základní parametry:

- Zátěž 14 kg
- Dosah 1100 mm
- Přesnost $\pm 0,1$
- Hmotnost robotu 32,6 kg
- Hmotnost kabinetu s pojezdem 158 kg
- Hmotnost kabinetu 14,5 kg
- Rozměry kabinetu s pojezdem (Š x V x H) 790 mm x 740 mm x 900 mm
- Rozměry kabinetu (Š x V x H) (210 x 410 x 432)
- Ovládací panel tablet
- Příkon 300 W
- Napájení 1 x 230 V
- Kolaborativní robotické rameno



Obr. 11 OMRON TECHMAN TM14X

Klady

- Snadné programování
- Vysoká bezpečnost

Zápory

- Primárně určeno pro použití s kamerovým systémem.

5.4.3. KUKA LBR iiwa 14 R820 [12]

Výrobce Kuka se zabývá výrobou průmyslových robotů a také řešením automatizace výroby. Původní německou firmu koupila v roce 2016 Čínská společnost Midea. Kuka patří mezi přední výrobce automatizace do automobilového průmyslu. Kuka má velice bohatou historii a přinesla mnoho nových inovací.

Základní parametry:

- Zátěž 14 kg
- Dosah 820 mm
- Přesnost $\pm 0,15$
- Hmotnost robotu 30 kg
- Hmotnost kabinetu 23 kg
- Rozměry kabinetu (Š x V x H) 500 mm x 483 mm x 190 mm
- Ovládací panel tablet, hmotnost tabletu 1,1 kg
- Příkon není uveden
- Napájení 1 x 230 V
- Kolaborativní robotické rameno



Obr. 12 KUKA LBR iiwa 14 R820

Klady

- rychlé nastavení požadované pozice
- neergonomické pohyby

Zápory

- nedostatečný rozsah pod základnu

5.4.4. FANUC CR-14iA/L [13]

Japonský výrobce robotů Fanuc patří mezi špičku v robotice a automatizaci. Po celém světě Fanuc nainstaloval více než 600 000 robotů, což firmu řadí mezi největší producenty.

Základní parametry:

- Zátěž 14 kg
- Dosah 911 mm
- Přesnost $\pm 0,01$
- Hmotnost robotu 55 kg
- Hmotnost kabinetu – kabinet je součástí podstavce robotu
- Rozměry kabinetu (Š x V x H) 600 mm x 470 mm x 500 mm
- Ovládací panel tablet
- Příkon 500 W
- Napájení 1 x 230 V
- Kolaborativní robotické rameno



Obr. 13 FANUC CR-14iA/L

Klady

- rychlé nastavení požadované pozice

Zápory

- Nedostatečný rozsah pod základnu
- Se zatížením nad 12 kg klesá rozsah.

5.4.5. Mitsubishi RV-20F [14]

Tradiční Japonská společnost Mitsubishi má dceřinou společnost Mitsubishi Electric, která se zabývá zejména automatizačními, vesmírnými, klimatizačními a energetickými systémy. V jejím portfoliu je i výroba průmyslových robotů. Řadí se mezi středně velké producenty průmyslových robotů, doposud dodali 20 000 robotů.

Základní parametry:

- Zátěž 20 kg
- Dosah 800 mm
- Přesnost $\pm 0,05$
- Hmotnost robotu 120 kg
- Hmotnost kabinetu 12,5 kg
- Rozměry kabinetu (Š x V x H) 430 mm x 420 mm x 95 mm
- Ovládací panel tablet, hmotnost 1,3 kg, rozměry (252 mm x 240 mm x 114 mm)
- Příkon není uveden
- Napájení 1 x 230 V



Obr. 14 Mitsubishi RV-20F

Klady

- Velký rozsah i pod základnu

Zápory

- Se zatížením klesá rozsah v závislosti na těžišti po zatížení.
- Vysoká hmotnost

5.4.6. Staubli TX2-90 [15]

Staubli je nadnárodní společnost sídlící ve Švýcarsku. Jejich produkty jsou textilní stroje, elektrické konektory, rychlospojky, upínací systémy a roboty. Jedná se o středně velkého výrobce robotů. Vyrábí zejména šesti-osé roboty a čtyř-osé roboty SCALA.

Základní parametry:

- Zátěž 15 kg
- Dosah 1000 mm
- Přesnost $\pm 0,035$
- Hmotnost robotu 117 kg
- Hmotnost kabinetu 38 kg
- Rozměry kabinetu (Š x V x H) 445 mm x 365 mm x 270 mm
- Ovládací panel tablet
- Příkon není uveden
- Napájení 3 x 230 V



Obr. 15 Staubli TX2-90

Klady

- Vyšší přesnost

Zápory

- Se zatížením klesá rozsah, robot je určen pro primární zatížení 7 kg.
- Vysoká hmotnost
- Napájení 3x 230 V

5.5. Výběr robotu

Z představených robotů je třeba zvolit ten nejvhodnější pro využití na měřícím celku. Vyhodnocení bude vycházet z katalogově dostupných informací. Bude zhodnoceno maximální zatížení robotu, hmotnost robotu, hmotnost řídicí jednotky robotu, pracovní rozsah robotu a rozměr řídicí jednotky robotu. Tyto kritéria budou hodnocena slovně jako ideální, přijatelné a nepřijatelné. Každé hodnocení má bodovou váhu. Po zhodnocení a obodování kritérií bude vybrán nejvhodnější robot.

5.5.1. Hodnocené parametry robotů

5.5.1.1. Zatížení robotu

Zatížení robotu je jedna z prvních informací, které nám katalog poskytne. Je to maximální břemeno, se kterým může robot pracovat či manipulovat. V našem případě představuje břemeno měřící jednotka o hmotnosti 15 kg. Hodnocení tohoto kritéria je v Tab.1 Hodnocení zatížení robotu.

Zatížení robotu [kg]	Hodnocení
16 a více	Ideální
15	Přijatelné
14	Nepřijatelné

Tab. 1 Hodnocení zatížení robotu

Robot s hodnocením „ideální“ má maximální zatížení 16 a více kg. Pro použití na řešeném měřícím celku je takováto nosnost více než dostatečná.

Robot s hodnocením „přijatelné“ má maximální zatížení 15 kg. Pro použití na řešeném měřícím celku je takováto nosnost ještě dostatečná.

Robot s hodnocením „nepřijatelné“ má maximální zatížení 14 kg. Pro použití na řešeném měřícím celku je takováto nosnost nedostatečná. V případě použití robotu s nedostatečnou nosností je zapotřebí snížit hmotnost měřící jednotky nebo otestovat robot, zda dokáže pracovat s mírným přetížením.

5.5.1.2. Hmotnost robotu

Hmotnost robotu (mechanické jednotky) je první celek, který definuje celkovou hmotnost průmyslového robotu. Jelikož má být měřící celek mobilní, a s ohledem na nutnost přenesení měřícího celku přes překážky (např. schody, obrubník, práh atd.) je nutné, aby byl robot co nejlehčí. Hodnocení tohoto kritéria je v Tab.2.

Hmotnost robotu [kg]	Hodnocení
do 30	Ideální
30-50	Přijatelné
50 a více	Nepřijatelné

Tab. 2 Hodnocení hmotnosti robotu

Robot s hodnocením „ideální“ má hmotnost do 30 kg. Robot s takovouto hmotností je ideální s ohledem na konstrukci rámu a mobilitu měřícího celku.

Robot s hodnocením „přijatelné“ má hmotnost 30-50 kg. Hmotnost robotu v tomto rozsahu je v přijatelných mezích. Tento robot je možné použít a zároveň zachovat mobilitu měřícího celku. Předpokladem je použití lehčích materiálů na konstrukci rámu vozíku či jiná úspora hmotnosti na měřícím celku (např. lehčí baterie). V případě nedostatečných úspor hmotnosti na měřícím celku je zapotřebí více osob pro jeho manipulaci (nakládání do automobilu, přenos schodů atd.).

Robot s hodnocením „nepřijatelné“ má hmotnost 50 kg a více. Roboty s takovouto hmotností není možné pro naši aplikaci použít. I při maximálním snížení hmotnosti ostatních prvků měřícího celku bude velmi obtížné s celkem manipulovat.

5.5.1.3. Hmotnost řídicí jednotky robotu

Hmotnost řídicí jednotky robotu (kabinetu) je druhý celek, který definuje celkovou hmotnost průmyslového robotu. Tato hmotnost by měla být s ohledem na mobilitu měřícího celku opět co nejmenší. Hodnocení tohoto kritéria je v Tab.3.

Hmotnost řídicí jednotky robotu [kg]	Hodnocení
do 20	Ideální
20-30	Přijatelné
30 a více	Nepřijatelné

Tab. 3 Hodnocení hmotnosti řídicí jednotky robotu

Robot s hodnocením „ideální“ má řídicí jednotku o hmotnosti do 20 kg. Řídicí jednotka s takovouto hmotností je ideální s ohledem na konstrukci rámu a mobilitu měřícího celku.

Robot s hodnocením „přijatelné“ má řídicí jednotku o hmotnosti 20-30 kg. Hmotnost řídicí jednotky v tomto rozsahu je pro konstrukci rámu ještě v přijatelných mezích. Ve vhodném uspořádání jednotlivých prvků na měřícím celku může být lehce vyšší hmotnost řídicí jednotky výhodou z hlediska celkového těžiště měřícího celku.

Robot s hodnocením „nepřijatelné“ má řídicí jednotku o hmotnost 30 kg a více. Řídicí jednotka je příliš těžká z hlediska mobility měřícího celku.

5.5.1.4. Rozměr řídicí jednotky robotu (Š, V, H) [mm]

Tvar řídicí jednotky je kvádr, ze kterého vystupují konektory. Jednotlivé rozměry řídicí jednotky (Š, V, H) by měly být menší než 500 mm. Šířka řídicí jednotky je omezena z důvodu potřeby průjezdu měřicího celku dveřmi (600 mm). Hloubka řídicí jednotky je omezena z důvodu potřeby převozu a manipulace měřicího celku ve výtahu a přepravním prostoru automobilu – maximální délka měřicího celku 1000 mm viz kapitola 3.3. Vstupní parametry. Maximální výška řídicí jednotky vychází z maximální výšky baterie 500 mm. Hodnocení tohoto kritéria je v Tab.4.

Rozměry řídicí jednotky robotu (Š, V, H) [mm]	Hodnocení
Do 450	Ideální
450-500	Přijatelné
Nad 500	Nepřijatelné

Tab. 4 Hodnocení rozměru řídicí jednotky robotu

Robot s hodnocením „ideální“ má řídicí jednotku o jednotlivých rozměrech do 450 mm. Takováto řídicí jednotka je velice kompaktní, díky čemuž je snadné splnit maximální rozměry měřicího celku.

Robot s hodnocením „přijatelné“ má řídicí jednotku o jednotlivých rozměrech 450-500 mm. Rozměry jsou přijatelné, budou splněny podmínky maximálních rozměrů měřicího celku.

Robot s hodnocením „nepřijatelné“ má řídicí jednotku o jednotlivých rozměrech nad 500 mm. Řídicí jednotka je příliš velká, pro splnění maximálních rozměrů měřicího celku není možné takovou řídicí jednotku použít.

5.5.1.5. Pracovní rozsah robotu

Pracovní rozsah robotu je důležitý parametr pro splnění rozsahu měření. Čím je větší pracovní rozsah robotu, tím je jednodušší měření v krajních oblastech měřeného rozsahu. Každý robot má v katalogu schematicky uveden pracovní rozsah. Hodnocení tohoto kritéria je v Tab.5.

V našem případě je také důležitý pracovní rozsah pod základnu robotu. Robot nespĺňující tento rozsah je pro náš případ nepřijatelný. Tento fakt je zohledněn až v celkovém zhodnocení výběru robotu v kapitole 5.5.4.

Rozsah robotu [mm]	Hodnocení
1000 a více	Ideální
850-1000	Přijatelné
do 850	Nepřijatelné

Tab. 5 Hodnocení rozsahu robotu

5.5.2. Zhodnocení parametrů robotů

V Tab. 6 Shrnutí parametrů robotů s hodnocením jsou uvedeny základní parametry robotů a barevné hodnocení dle tabulek 1 až 5.

	Universal robots UR16E	OMRON TECHMAN TM14X	KUKA LBR iiwa 14 R820	FANUC CR-14iA/L	Mitsubishi RV-20F	STAUBLI TX2-90
Zatížení robotu [kg]	16	14	14	14	20	15
Hmotnost robotu [kg]	33,1	32,6	30	55	120	117
Hmotnost řídicí jednotky robotu [kg]	12	14,5	23	0	12,5	38
Rozsah robotu [mm]	900	1100	820	911	800	1000
Rozměry řídicí jednotky robotu (Š, V, H) [mm]	475 x 423 x 268	410 x 432 x 210	500 x 483 x 190	600 x 470 x 500	430 x 420 x 95	445 x 365 x 270

Tab. 6 Shrnutí parametrů robotů s hodnocením

5.5.3. Bodové hodnocení

Ke každému zhodnocení parametrů robotů je přiřazeno bodové ohodnocení. Parametr s hodnocením „ideální“ má nejvíce bodů. S klesající preferencí klesá bodové ohodnocení.

Hodnocení	Body
Ideální	5
Přijatelné	3
Nepřijatelné	1

Tab. 7 Body hodnocení

5.5.4. Zhodnocení výběru robotu

V Tab. 8 jsou uvedeny výsledky jednotlivých hodnocení parametrů robotů dle výsledku z Tab. 6 s hodnocením pronásobený body z Tab. 7.

	Universal robots UR16E	OMRON TECHMAN TM14X	KUKA LBR iiwa 14 R820	FANUC CR-14iA/L	Mitsubishi RV-20 F	STAUBLI TX2-90
Ideální	10	15	5	5	15	5
Přijatelné	9	3	6	3	0	6
Nepřijatelné	0	1	2	3	1	2
Součet	19	19	13	11	16	13

Tab. 8 Hodnocení robotů

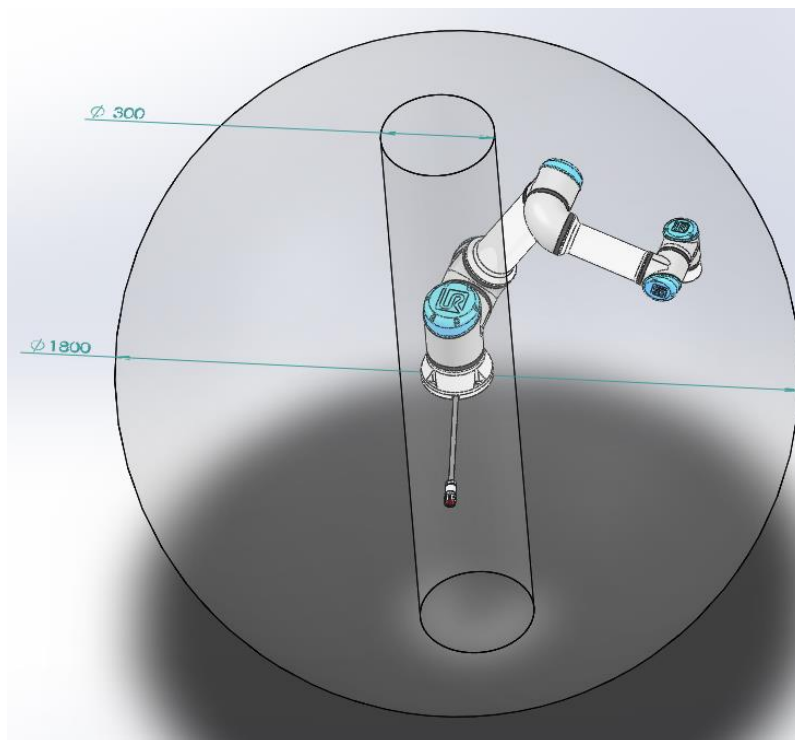
Ze součtu bodů v Tab. 8 Hodnocení robotů vyplývá, že dle hodnocených parametrů robotů je nejlepším robotem Universal robots UR 16E společně s OMRON TECHMAN TM14X. Jelikož u robotu Universal robots UR 16E není jediné hodnocení nepřijatelné, je tak nejlepší volbou pro naše použití. Robot OMRON TECHMAN TM14X má jedno hodnocení nedostatečné, a to nosnost. Znamenalo by to otestovat robota, zda zvládne lehké přetížení, nebo udělat odlehčení na měřicí hlavici.

Důležitým parametrem zmíněným v kap. 5.5.1.5 je rozsah robotu pod jeho základnu. Oba vybrané roboty tento potřebný rozsah pod svoji základnu splňují.

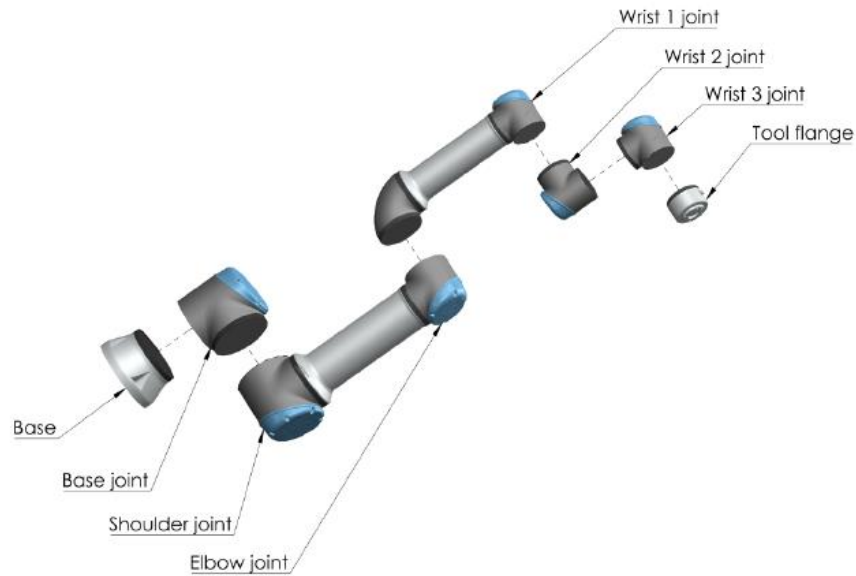
5.6. Analýza kolize a dostupnosti měření s robotem Universal robots UR 16E

5.6.1. Rozsah robotu Universal robots UR 16E

Robot Universal robots UR 16E má dle katalogové listu rozsah 900 mm. Základní tvar rozsahu tohoto robotu je tedy koule o průměru 1800 mm. V jejím středu je však oblast o tvaru válce s průměrem 300 mm, kde je rozsah robotu omezen. V této oblasti je omezení pohybu robotu kvůli jeho konstrukci. Do této oblasti nesmí vstoupit kloub číslo 1 neboli Wrist 1 joint znázorněný na Obr. 17. Rozsah robotu je daný výrobcem a je zobrazený na Obr. 16. [10]



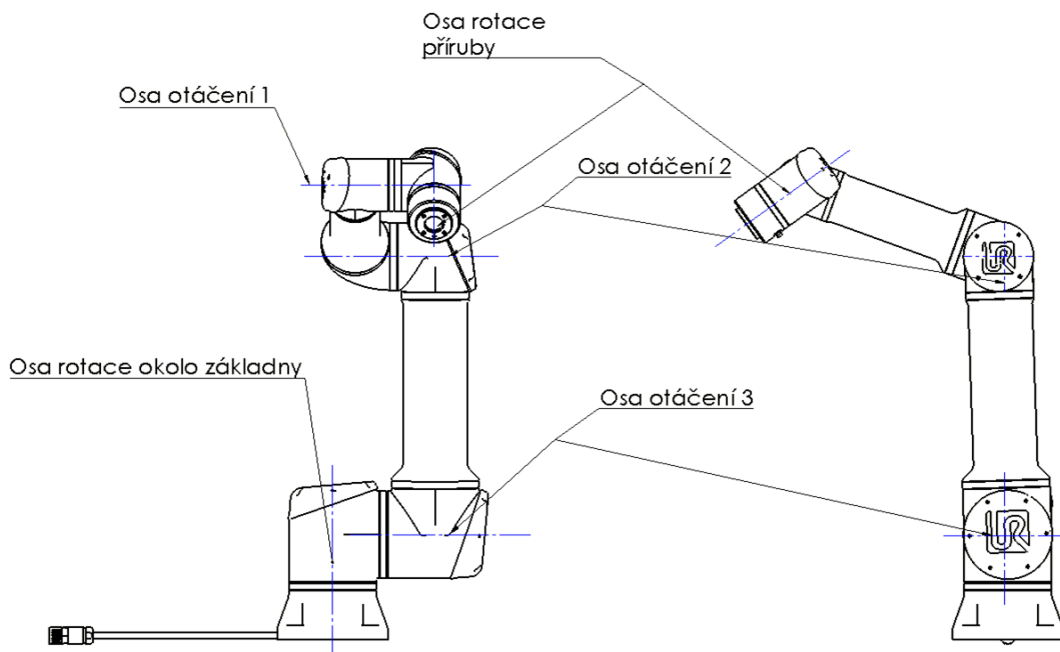
Obr. 16 Rozsah robotu Universal robots UR 16E



Obr. 17 Díly robotu Universal robots UR 16E [10]

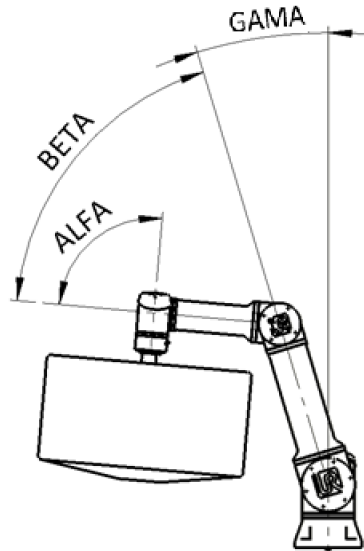
5.6.2. Omezení z důvodu kolize robotu UR 16E

Vzhledem k velikosti a tvaru měřicí hlavice je nutné analyzovat polohy natočení jednotlivých kloubů robotu, aby nedošlo ke kolizi měřicí hlavice a části robotu. Celou tuto analýzu by měl automaticky vyhodnocovat program, který je součástí ovládacího softwaru robotu. Robot Universal robots UR 16E je kolaborativní, i při jeho kolizi s jakoukoliv překážkou dojde k jeho zastavení. Proto zde uvedená analýza uvádí jen krajní kritickou polohu.



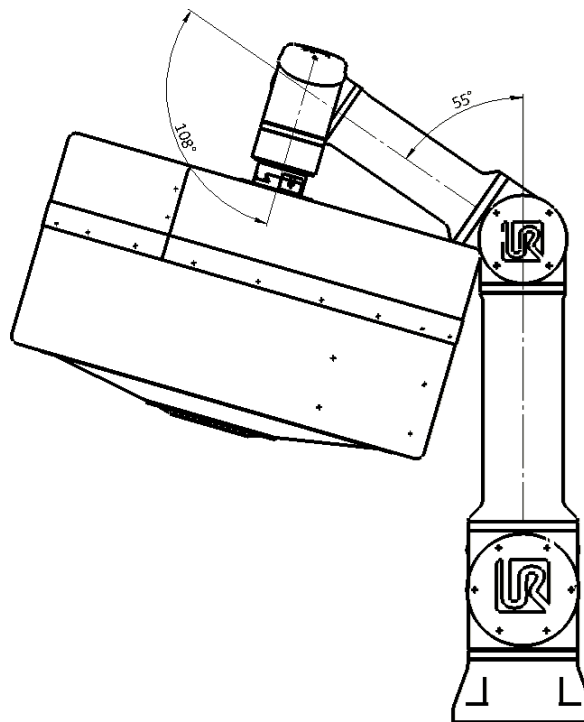
Obr. 18 Osy rotací robotu Universal robots UR 16E

Jednotlivé osy rotací robotu Universal robots UR 16E jsou popsány na Obr. 18. Osa rotace příruby nás s ohledem na možnou kolizi neomezuje. Tato skutečnost je dána souměrným rotačním tvarem měřicí hlavice. Ani osa rotace okolo základny robotu nemá vliv na kolizi robotu s měřicí hlavicí. Osa otáčení 1, osa otáčení 2 a osa otáčení 3 mají vliv na to, zda dojde ke kolizi robotu s měřicím zařízením. Jako úhly natočení jednotlivých částí robotu dle os otáčení 1 - 3 jsem zavedl α , β , γ . Tyto zavedené úhly jsou zobrazeny na Obr. 19.



Obr. 19 Zavedené úhly robotu Universal robots UR 16E

Pro zjištění krajní kritické polohy robotu Universal robots UR 16E s měřicí hlavicí jsem si jako výchozí úhel zvolil $\gamma=0$. Následně jsem ve 3D modelu analyzoval maximální úhly α a β v krajní poloze, než dojde ke kolizi robotu s měřicí hlavicí. Maximální úhel $\alpha=72^\circ$ ($\alpha'=108^\circ$) a $\beta=55^\circ$ jsou zobrazeny na Obr. 20.

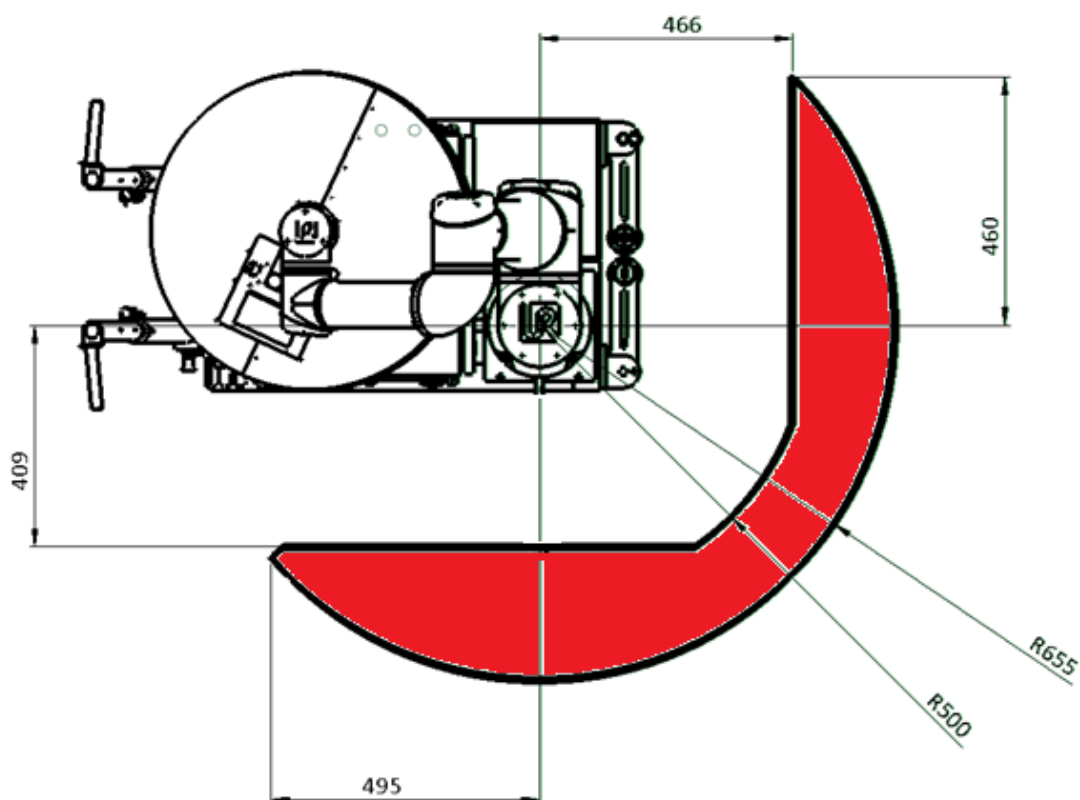


Obr. 20 Maximální úhel alfa a beta robotu Universal robots UR 16E

5.6.3. Rozsah měření a omezení s ohledem na těžiště

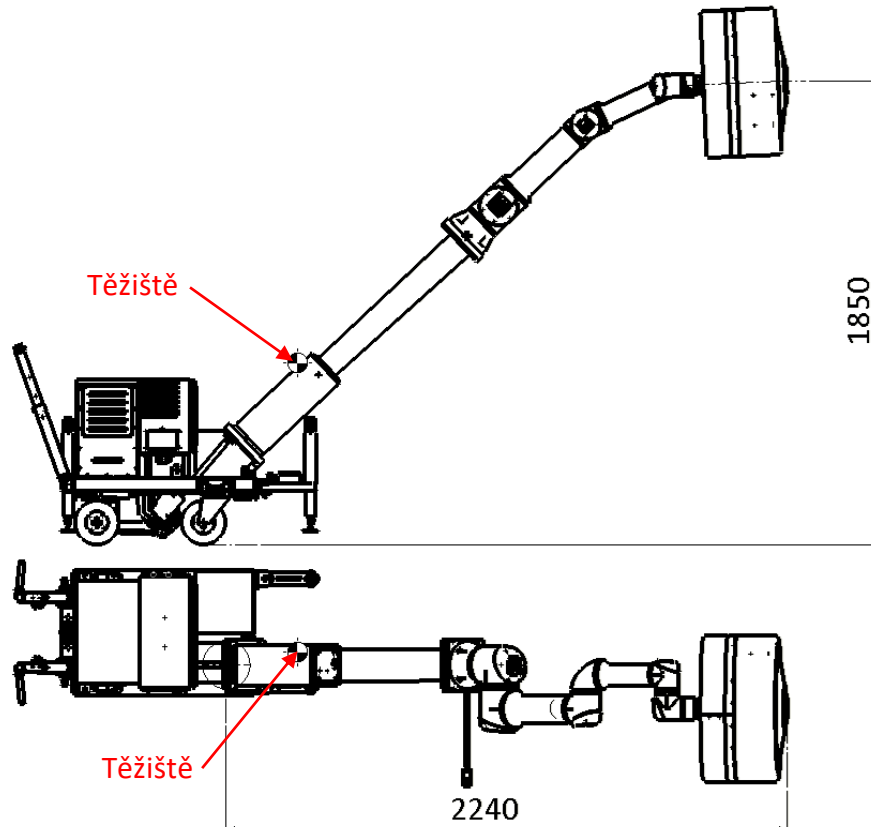
Rozsah měření na úrovni rovného, nesvažitého terénu bez vysunutí a nakloněné zdviže je uveden na Obr. 21.

Rozsah měření s robotem Universal robots UR 16E je relativně malý. Rozsah robotu je omezen konstrukcí vozíku. Dále k tomu přispívá zdviž, která má i v zasunutém stavu výšku 440 mm. Základna robotu je tak 810 mm nad úrovní měření (terénu). Zvětšení rozsahu měření na úrovni terénu je možné docílit odmontováním zdviže. Konstrukce spojů mezi jednotlivými díly měřicího celku, jako jsou robot, zdviž a základna, jsou pro tuto přestavbu navrženy. Další omezení rozsahu měření je dáno polohou robotu mimo osu měřicího celku. Poloha těžiště měřicího celku bez vysunutí a nakloněné zdviže je i bez rozložených ustavovacích nohou v měřicím celku, tudíž nehrozí jeho překlopení.



Obr. 21 Rozsah měření s robotem Universal robots UR 16E

Při ustavení měřicího celku pomocí rozkládacích ustavovacích nohou a maximálně vysunutě zdvíži je maximální možné naklonění základny se zdvíží a robotem Universal robots UR 16E 45°. Při tomto naklonění zůstává těžiště celého měřicího celku nad ustavovacími nohama. Větší naklonění základny není možné, jelikož by došlo k překlopení měřicího celku. Maximální poloha měření při maximálně vysunutě zdvíži nakloněné o 45° je tedy 1850 mm vysoko od terénu a 2240 mm ve vodorovném směru od středu základny robotu. Tato krajní poloha je zachycena na Obr. 22.

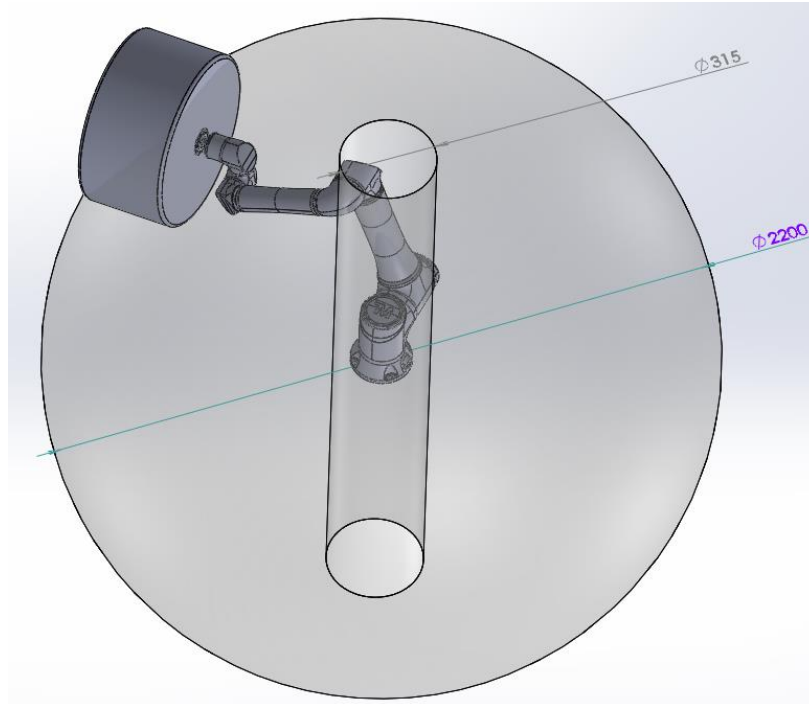


Obr. 22 Krajní poloha měření s robotem Universal robots UR 16E

5.7. Analýza kolize a dostupnosti měření s OMRON TECHMAN TM14X

5.7.1. Rozsah robotu OMRON TECHMAN TM14X

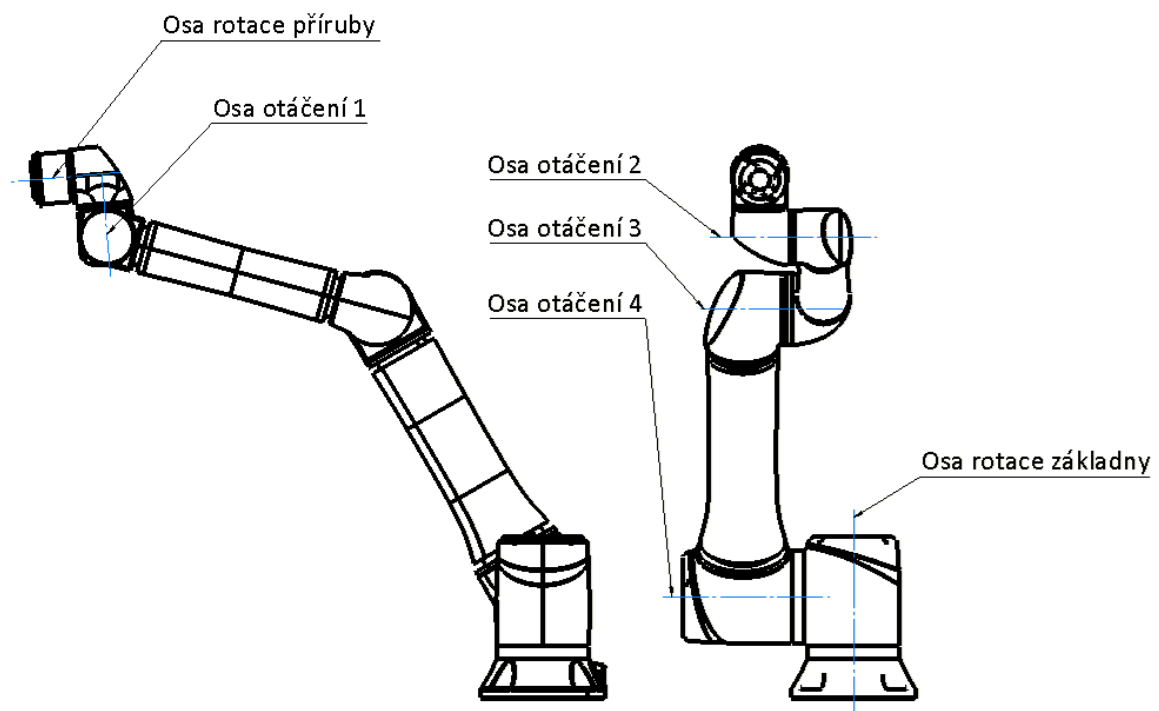
Robot OMRON TECHMAN TM14X má dle katalogového listu rozsah 1100 mm. Základní tvar rozsahu tohoto robotu je tedy koule o průměru 2200 mm. V jejím středu je však oblast o tvaru válce s průměrem 315 mm, kde je rozsah robotu omezen. V této oblasti je omezení pohybu robotu z hlediska jeho konstrukce. Rozsah robotu je daný výrobcem a je zobrazený na Obr. 23.



Obr. 23 Rozsah robotu OMRON TECHMAN TM14X

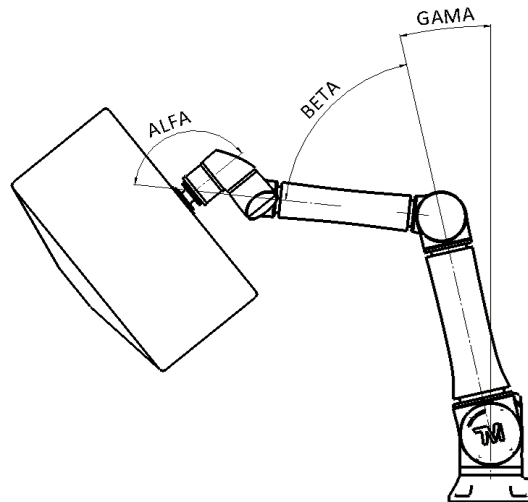
5.7.2. Omezení z důvodu kolize robotu OMRON TECHMAN TM14X

I pro robot OMRON TECHMAN TM14X je třeba analyzovat polohy natočení jednotlivých kloubů robotu, aby nedošlo ke kolizi měřicí hlavice a části robotu. Tento robot je převážně určen k použití s kamerou, proto je vybaven o jeden kloub neboli osu rotace navíc než robot Universal robots UR 16E. Robot je opět kolaborativní a ovládací software by měl zabránit případné kolizi.



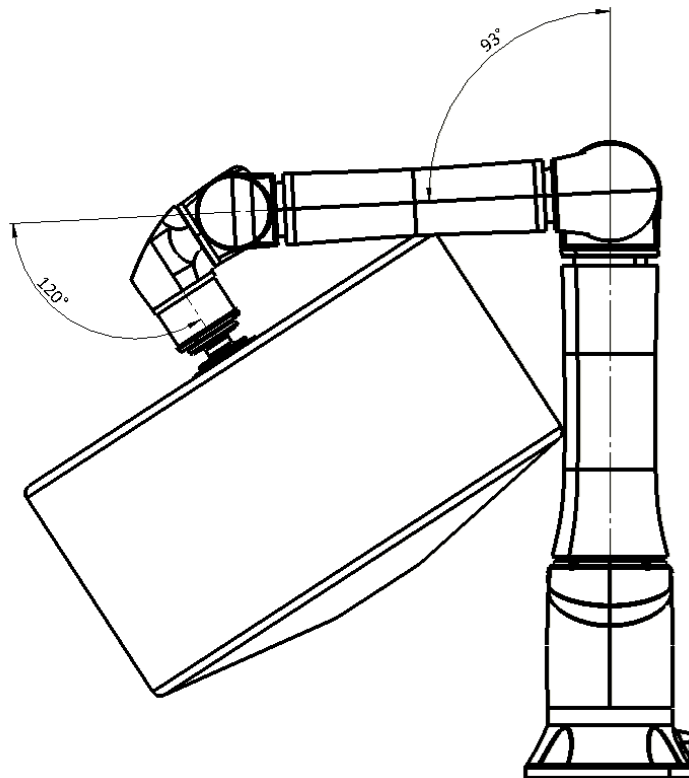
Obr. 24 Osy otáčení robotu OMRON TECHMAN TM14X

Jednotlivé osy rotací robotu OMRON TECHMAN TM14X jsou popsány na Obr. 24. Osa otáčení 1 je osou, kterou robot Universal robots UR 16E nemá. Tuto osu však není s ohledem na to, že na robotu nebude kamera, nutné používat. Osa rotace příruby a osa rotace základny nemají vliv na kolizi. Osy otáčení 2, 3 a 4 mají vliv na to, zda dojde ke kolizi robotu s měřicí hlavicí. Jako úhly natočení jednotlivých částí robotu dle os otáčení 2 - 4 jsem zavedl α , β , γ . Tyto zavedené úhly jsou zobrazeny na Obr. 25.



Obr. 25 Zavedené úhly robotu OMRON TECHMAN TM14X

Pro zjištění krajní kritické polohy robotu OMRON TECHMAN TM14X s měřicí hlavicí jsem si jako výchozí úhel zvolil opět $\gamma=0$ a následně ve 3D modelu analyzoval maximální úhly α a β . Maximální úhel $\alpha=60^\circ$ ($\alpha'=120^\circ$) a $\beta=93^\circ$ jsou zobrazeny na Obr. 26.

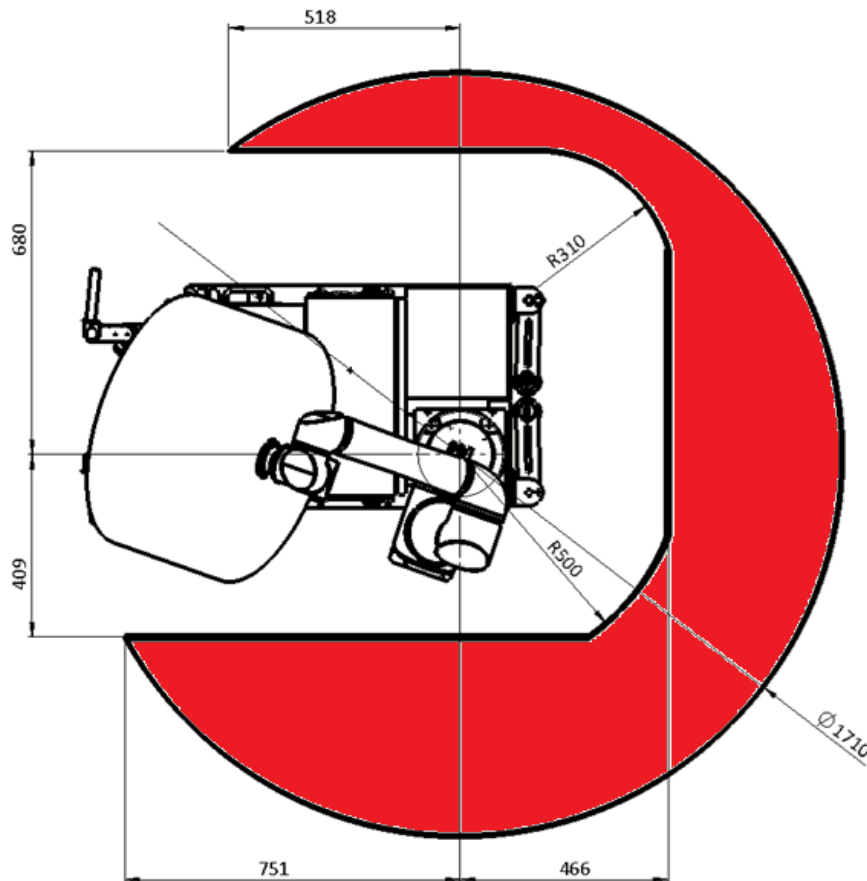


Obr. 26 Maximální úhel alfa a beta robotu OMRON TECHMAN TM14X

5.7.3. Rozsah měření a omezení s ohledem na těžiště

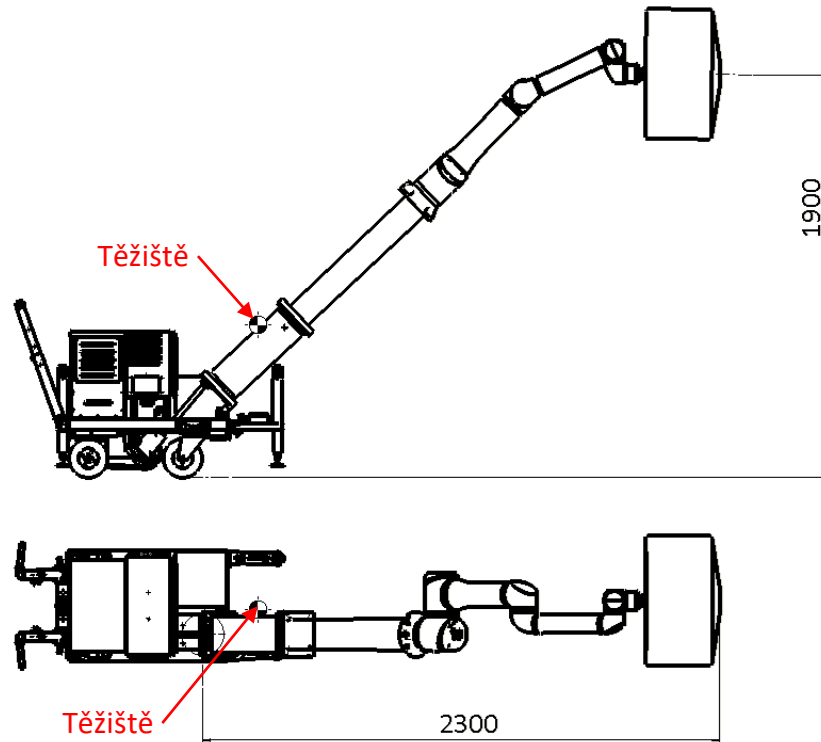
Rozsah měření na úrovni rovného, nesvažitého terénu bez vysunutí a nakloněné zdviže je uveden na Obr. 27.

Rozsah měření s robotem OMRON TECHMAN TM14X je značně větší, než u robotu Universal robots UR 16 E. Rozsah robotu je sice také omezen konstrukcí vozíku, výškou zdviže a polohou robotu mimo osu měřicího celku, má však oproti robotu Universal robots UR 16 E větší rozsah. Zvětšení rozsahu měření na úrovni terénu je opět možné docílit odmontováním zdviže.



Obr. 27 Rozsah měření s robotem OMRON TECHMAN TM14X

Při ustavení měřicího celku pomocí rozkládacích nastavovacích nohou a maximálně vysunutí zdviže je maximální možné naklonění základny se zdviží a robotem OMRON TECHMAN TM14X stejný jako s robotem Universal robots UR 16E a to 45°. Při tomto naklonění zůstává těžiště celého měřicího celku nad nastavovacími nohama. Větší naklonění základny není možné, jelikož by došlo k překlacení měřicího celku. Maximální poloha měření při maximálně vysunutí zdviže nakloněné o 45° je tedy 1900 mm vysoko od terénu a 2300 mm ve vodorovném směru od středu základny robotu. Tato krajní poloha je zachycena na Obr. 28.



Obr. 28 Krajní poloha měření s robotem OMRON TECHMAN TM14X

6. Baterie

Celý měřicí celek musí fungovat nezávisle na vnějším zdroji elektrické energie, a to z důvodu měření v externích podmínkách. Baterie musí napájet průmyslového robota, měřicí jednotku, zdvihací sloup, pohony na zvednutí celého měřicího celku (ustavení vozíku) a případně další prvky. Tyto další prvky budou mít minimální spotřebu elektrické energie.

6.1. Baterie YETI 3000 LITHIUM [16]

Tato baterie byla předvybrána panem prof. Ing. Vlastimilem Havranem Ph.D.. Velkou výhodou baterie YETI 3000 LITHIUM je, že se jedná o kompaktní celek s odolností proti vlhkosti a vniknutí cizích těles. Baterie se dodává na manipulačním vozíku. Celá baterie i s vozíkem je na Obr. 29.



Obr. 29 Baterie YETI 3000 LITHIUM

Parametry:

Výrobce Goal Zero

Hmotnost: 31,1 kg

Rozměry: 25,7 x 38,9 x 33,3cm

Kapacita: 3024 Wh / 10.8 V / 280.8 Ah

Výstupy: 4x USB-A port: 5 V, až 2.4 A (12 W max)
 6 mm port: 12 V, až 10 A (120 W max)
 12 V port do auta: 12 V, až 10 A (120 W max)
 Napájecí port 12 V: 12 V, až 20 A (240 W max)
 2x měnič střídavého proudu 230 V: 230 VAC 60 Hz, 12.5 A (1500 W, max 3000 W)

Vstupy: Nabíjecí port 8 mm: 14-22 V, až 10 A (max. 120 W)
 Napájecí port: 14-22 V, až 30 A (max. 360 W)
 Port pro řetězení: používá se pouze s rozšiřujícími moduly Goal Zero

Cena: 90 000 Kč s DPH

6.2. Baterie z jednotlivých komponentů

S ohledem na značné použití elektrických prvků na 24 V DC jsem navrhl baterii z jednotlivých komponentů. Elektrické komponenty této baterie mi doporučil pan prof. Ing. Vlastimil Havran Ph.D..

6.2.1. Elektrické komponenty do baterie [17]

Baterie (Obr.30):

Baterie má stabilní chemické složení – LiFePO4. Baterie neobsahuje žádný plyn, nehrozí nebezpečí výbuchu.



Obr. 30 Baterie Solarfam LiFePO4

Výrobce:	Solarfam
Typ baterie:	Lithiová
Nominální kapacita:	100 Ah
Napětí sestavy:	24 V
Údržba baterie:	Bezúdržbová
Hmotnost:	29 kg
Rozměry:	390 mm x 232 mm x 260 mm
Cena:	33 900 Kč s DPH

Nabíječka akumulátoru 24 V ze sítě 230 V /50 Hz (Obr.31):

Nabíječka akumulátoru od firmy Victron Energy je mechanicky nejodolnější nabíječka baterií na trhu vhodná do nejnáročnějších podmínek. Nabíječka je odolná proti průniku vody, nárazům, s ochranou proti vzplanutí a s integrovaným Bluetooth.



Obr. 31 Nabíječka akumulátoru Victron Energy

Výrobce:	Victron Energy
Výstupní napětí:	24 V
Výstupní proud:	12 A
Hmotnost:	2,4 kg
Rozměry:	99 mm x 219 mm x 65 mm
Cena:	4 982 Kč s DPH

Sinusový měnič napětí 24 / 230 V 600 W (Obr.32):

Sinusový měnič napětí od firmy CARCLEVER je vhodný pro napájení všech druhů spotřebičů s odporovou zátěží i spotřebičů s indukční zátěží.

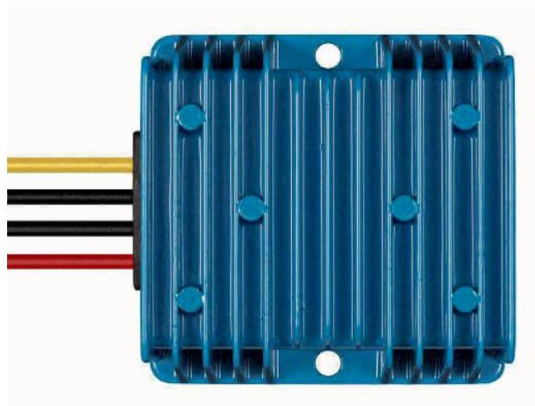


Obr. 32 Sinusový měnič napětí CARCLEVER

Výrobce:	CARCLEVER
Systémové napětí:	24 / 230
Výkon měniče:	600 W
Hmotnost:	2 kg
Rozměry:	260 mm x 150 mm x 77 mm
Cena:	3 778 Kč s DPH

Konvertor DC/DC Orion 24 / 12V-10 IP67 (Obr.33):

Jedná se o měnič napětí z 24 V DC na 12 V DC od firmy Victron Energy.

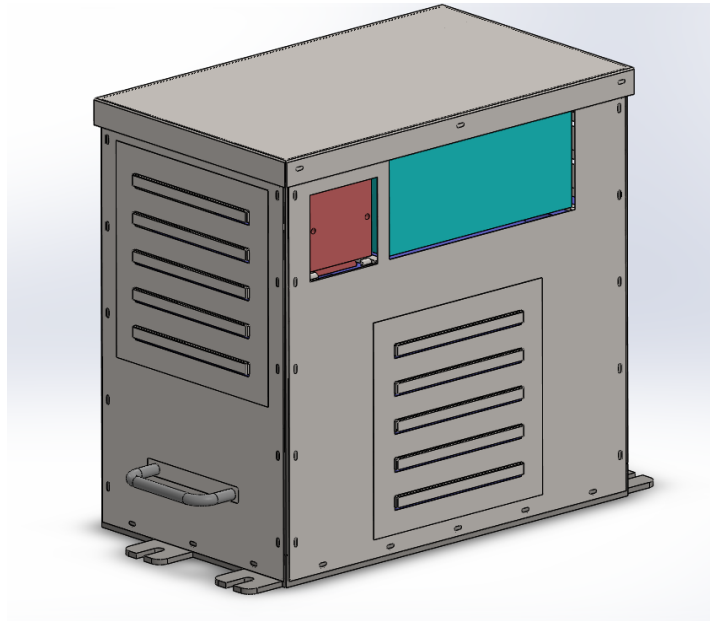


Obr. 33 Měnič napětí Victron Energy

Výrobce:	Victron Energy
Výstupní napětí:	12 V
Vstupní napětí:	24 V
Hmotnost:	0,3 kg
Rozměry:	74 mm x 219 mm x 65 mm
Cena:	1 150 Kč s DPH

6.2.2. Složení baterie

Všechny elektrické komponenty navržené v předešlé kapitole jsou umístěny v boxu. Box je složen ze svařované konstrukce a oplechován kryty. Kryty jsou uchyceny ke svařované konstrukci pomocí šroubových spojů. Jednotlivé elektrické komponenty jsou v boxu uchyceny na ocelových ohýbaných dílech pomocí šroubových spojů. Poloha těchto komponentů v boxu je dána nutností jejich chlazení. Některé kryty boxu jsou částečně otevřené, případně osazeny mřížkou, aby boxem proudil vzduch a elektrické komponenty byly dostatečně chlazeny.



Obr. 34 Baterie z jednotlivých komponentů

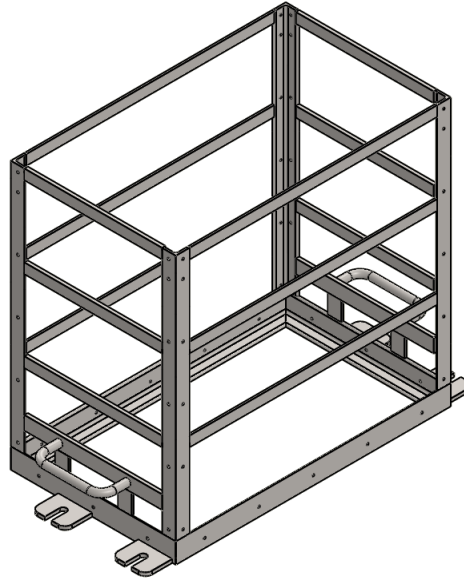
Nosná konstrukce boxu baterie je svařená z L profilů 20 x 20 x 2 mm a plechových dílů tl. 5 mm a 3 mm. Zakrytování boxu je navrženo z 0,5 mm tlustého plechu po okrajích s lemem. Pro manipulaci s celou baterií jsou na nosnou konstrukci boxu navržena madla (viz kupované díly). K dostatečnému chlazení elektrických komponentů baterie, viz odstavec výše, jsou navrženy hliníkové mřížky 200 x 200 mm (viz kupované díly).

Konstrukce boxu je možné vyrobit ze svařitelných materiálů.

Jednou z možností je použití konstrukční oceli (např. ČSN 11 373). U ní je však nutné provést protikorozní opatření jako např. nátěr nebo žárové zinkování. Žárové zinkování není v našem případě vhodné s ohledem na možné skroucení nosné konstrukce boxu.

Další možností použitého materiálu na konstrukci boxu je nerezová ocel (např. ČSN 17 240). Tento materiál je odolný proti korozi. Oproti konstrukční oceli je však dražší, a to s ohledem na samotný materiál i následnou výrobu.

Konstrukce z hliníkové slitiny je korozi odolná, lehčí než z předešlých materiálů, avšak ekonomicky nejnákladnější. Ale vzhledem k nutnosti odlehčit měřicího celku. Je hliníková slitina nejlepší volbou.



Obr. 35 Konstrukce boxu baterie z jednotlivých komponentů

6.2.3. Zhodnocení baterie z jednotlivých komponentů

Pořizovací cena baterie z jednotlivých komponentů je cca 50 000 Kč (cena se může lišit dle použitého materiálu na nosnou konstrukci a zakrytování boxu baterie). I přes maximální odlehčení konstrukce této baterie bude celková hmotnost cca 36 až 37 kg. Nevýhodou baterie z jednotlivých komponentů je možnost vniknutí vody (déšť) do baterie přes větrací mřížky a větrací otvory.

6.3. Výběr baterie

Výběr je udělán ze dvou baterií představených v předešlých kapitolách - baterie YETI 3000 LITHIUM a baterie skládaná z jednotlivých komponentů.

Baterie YETI 3000 LITHIUM je jednodušší, jelikož je to odzkoušený kupovaný celek určený pro outdoorové aktivity s dobrou odolností proti vniknutí vodě a otřesům. Baterie má vysokou kapacitu a to 280 Ah. Baterie má pevně dané výstupy a zcela postrádá výstupy na 24 V DC, což je pro naše použití zcela nepraktické.

Baterie skládaná z jednotlivých komponentů bude cenově výhodnější. Nevýhodou této baterie je vyšší hmotnost, nižší kapacita (100 Ah), menší odolnost proti otřesům a možné vniknutí nečistot a vody. Výhodou této baterie je možnost navržení pouze výstupů s potřebnými parametry.

S ohledem na cenu a značné použití elektrických prvků na 24 V DC na měřicím celku je i přes uvedené nedostatky výhodnější použít složenou baterii z jednotlivých komponentů.

7. Zdvíž

S ohledem na potřebný rozsah měření je nutné pod robot umístit zdviž neboli zvedací sloup. Na zdviž je přimontován robot s měřicí hlavou.

Zdviž musí být s ohledem na zvolenou baterii napájena 24 V DC. Dalším požadavkem na zdviž je dostatečná odolnost proti vniknutí nečistot a vody.

7.1. Přehled dostupných zdviží

Ze vstupních informací jsem vybral dva výrobce, kteří mají zastoupení na českém trhu – firma Linak a firma X2 Technology AB.

Firma Linak je nadnárodní společnost. LINAK nabízí širokou škálu elektrických pohonů, zvedacích sloupků a dalšího souvisejícího příslušenství pro řadu aplikací. Hlavní centrum výroby, výzkumu a vývoje se nachází v Dánsku, v místě centrály společnosti. Výrobní závody se nacházejí v Šen-čenu (Čína), Louisville (USA) a Prešově (Slovensko).

Firma X2 Technology AB je švédský výrobce extrémně výkonných elektrických polohovacích sloupků pro zdravotnické, ale i průmyslové aplikace.

7.1.1. Nabídka firmy Linak

Firma Linak nabízí pět typů zvedacích sloupů vhodných pro využití zvedání robotu s měřicí jednotkou: BL1, DL2, LC2, LC3, LP2 – viz Tab. Zvedací sloupy Linak. [21]

Typ zvedacího sloupku	Max. síla [N]	Max. zdvih [mm]	Stupeň ochrany	Napájení	Hmotnost [kg]	Ohybový moment statický [N/m]
BL1	2000	400	IPX6	24VDC/12VDC	8	500
DL2	2500	500	-	-	-	-
LC2	5000	500	IPX0	24VDC	-	-
LC3	6000	700	IPX6/IPX4	24VDC	20	3000
LP2	6300	670	IPX1	24VDC	-	1600

Tab. 9 Zvedací sloupy Linak [21]

7.1.2. Nabídka firmy X2 Technology AB

Firma X2 Technology AB nabízí mnoho typů zvedacích sloupků. Mezi zvedací sloupky pro vysoké zatížení patří SA, DA, BA, SB, DB, SF, DF, SX, DX. Zvedací sloupky mají vysokou zvedací sílu až 10 000 N. Všechny uvedené typy zvedacích sloupků jsou bohužel kryty pouze třídou IP30. Jejich odolnost proti vniku vody je téměř nulová, produkty by neměly přijít do kontaktu s vodou. [22]

7.2. Výpočet zatížení zdviže

Když je zvedací sloup zatížen v ose, je namáhán na tlak. Jelikož je pod zvedacím sloupem umístěna naklápací základna, dojde při naklopení zdviže s robotem a měřícím zařízením k namáhání sloupu mimo osu. Sloup tak bude namáhán i na ohyb.

7.2.1. Výpočet potřebné zvedací síly

Výpočet potřebné zvedací síly vychází ze zatížení zdviže. Zdvíž je zatěžována robotem cca 30-35 kg dle typu, měřícím zařízením 17 kg (se spojkou k robotu) a spojovacími deskami cca 10 kg.

$$F = m * g \quad (1)$$

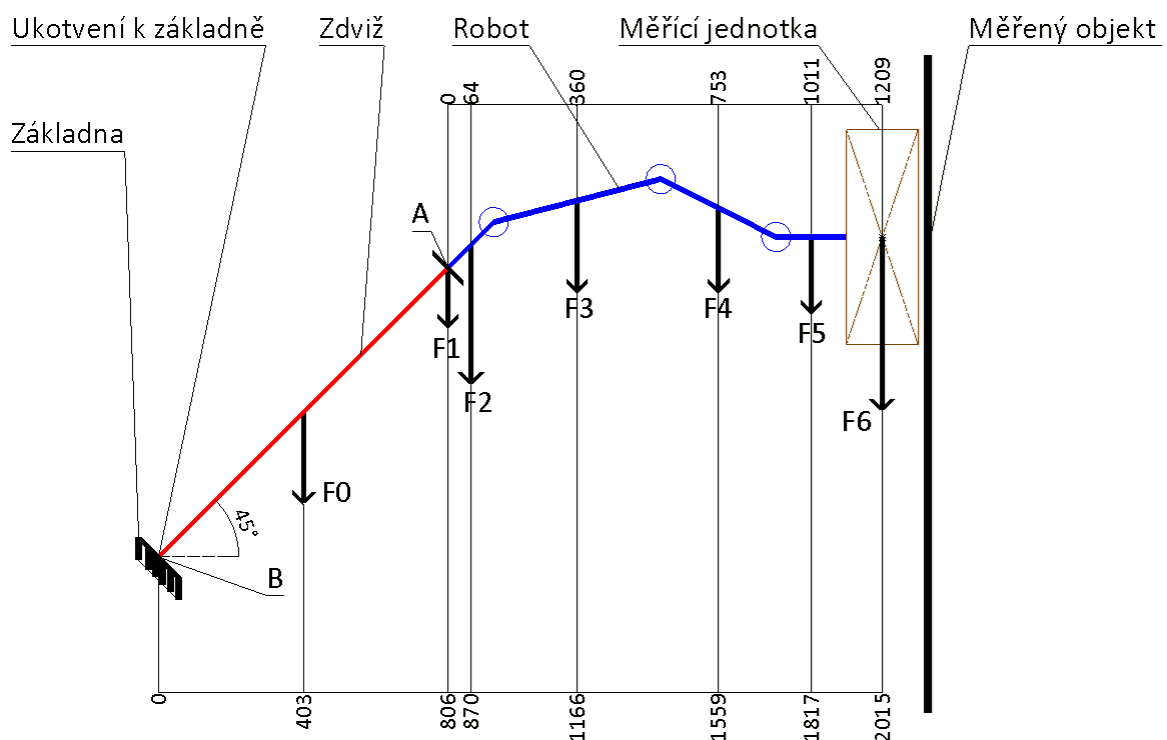
$$F = (17 + 35 + 10) * 9,81 \quad (2)$$

$$F = 608,22N \quad (3)$$

Potřebná zvedací síla je cca 608 N.

7.2.2. Výpočet ohybového momentu zdviže

Pro výpočet ohybového momentu volím situaci měření při vysunutí zdviže a sklopení základny o 45°. Větší naklopení základny není vhodné s ohledem na celkové těžiště měřícího celku. Na schématu (obr. 35) jsou zobrazeny části měřícího celku nad základnou. Mezi tyto části patří zdviž (vysunutí zdviže cca 1150 mm, předpoklad zdviž Linak LC3), robot, měřící jednotka, spojovací díly a měřený objekt. Kóty jsou vztaženy k začátku a konci zvedacího sloupu - bod A a B. K těmto bodům bude počítán ohybový moment. Na schématu (Obr. 35) jsou zobrazeny síly F1 až F6, které představují zatížení od jednotlivých částí. Tyto síly jsou také uvedeny a popsány v Tab.10 Zatížení měřícího celku nad základnou.



Obr. 36 Schéma zatížení měřícího celku nad základnou

Síla	Dílčí část	Hmotnost dílčí části [kg]	Velikost síly [N]
F0	Zdvíž (předpoklad Linak LC3)	20	196,20
F1	Spojovací desky	10	98,10
F2	Podstavec robotu	11	107,91
F3	Rameno robotu 1	10	98,10
F4	Rameno robotu 2	8	78,48
F5	Otočná hlavice robotu	6	58,86
F6	Měřicí jednotka včetně spoje	17	166,77

Tab. 10 Zatížení měřicího celku nad základnou

Výpočet ohybového momentu k bodu A

$$M_A = F_2 * 0,064 + F_3 * 0,360 + F_4 * 0,753 + F_5 * 1,011 + F_6 * 1,209 \quad (4)$$

$$M_A = 107,91 * 0,064 + 98,1 * 0,360 + 78,48 * 0,753 + 58,86 * 1,011 + 166,7 * 1,209 \quad (5)$$

$$M_A = 362,36 \text{ N/m} \quad (6)$$

Výpočet ohybového momentu k bodu B

$$M_B = F_0 * 0,403 + F_1 * 0,806 + F_2 * 0,87 + F_3 * 1,166 + F_4 * 1,559 + F_5 * 1,817 + F_6 * 2,015 \quad (7)$$

$$M_B = 196,20 * 0,403 + 98,10 * 0,806 + 107,91 * 0,87 + 98,10 * 1,166 + 78,48 * 1,559 + 58,86 * 1,817 + 166,77 * 2,015 \quad (8)$$

$$M_B = 930,39 \text{ N/m} \quad (9)$$

7.3. Vyhodnocení zdviže

Z výpočtů vyplývá, že minimální síla pro řešené zdvižení je 608 N. Maximální ohybový moment na spodní části zdviže je 930,39 N/m.

I přes velkou zvedací sílu zvedacích sloupků firmy X2 Technology AB jsem s ohledem na výrazně lepší IP krytí zvolil zvedací sloupek od firmy Linak. Vzhledem k potřebnému rozsahu měření je ideální zvolit zdviž s největším dosahem. Při výběru je vhodné, aby byl sloup předdimenzovaný pro dostatečnou tuhost. Z těchto důvodů jsem zvolil zvedací sloup Linak LC3.

V Tab.11 Vyhodnocení zdviže je uvedeno porovnání vypočtených hodnot zdvižné síly a statického ohybového momentu s maximálními únosnými hodnotami pro Linak LC3 uvedenými v katalogu výrobce. Pro samotný zdvih je tento model zdviže předdimenzován cca 16x. Vzhledem k maximálnímu ohybovému namáhání je tato zdviž předdimenzována cca 3x, což je dostatečné. Nebude docházet k chvění. Při případné výrobě měřicího celku je třeba u výrobce ověřit možnost zatížení zvedacího sloupu v nakloněné poloze. Tato možnost není v katalogu výrobce uvedena.

Sloup Linak LC3 je vhodný i z hlediska napájení 24 V DC a dostatečného stupně ochrany IPX6. Nevýhodou sloupu Linak LC3 je vyšší hmotnost.

	Výpočet	Linak LC3	
Zdvižná síla	608 N	10 000 N	Vyhoví
Statický ohybový moment	930,39 N/m	3 000 N/m	Vyhoví

Tab. 11 Vyhodnocení zdviže

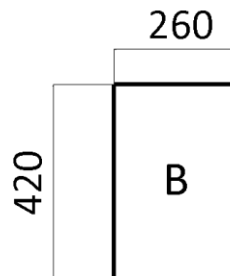
8. Rozložení jednotlivých prvků na měřicím celku

Tato kapitola se zabývá postupným vývojem rozložení jednotlivých prvků na měřicím celku, výhodami a nevýhodami jednotlivých variant. Jednotlivé varianty jsou nastíněny z půdorysu.

8.1. Hlavní prvky na měřicím celku

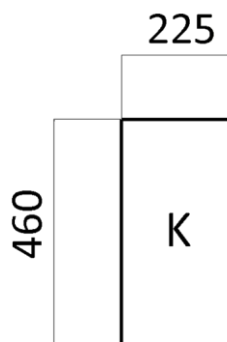
Jednotlivé prvky jako baterie, řídicí jednotka robotu a základna pro zdviž, na který je umístěn robot, jsou pevně dané včetně rozměrů. Řídicí jednotka k měření je specifický prvek navržený na míru, její rozměry je možné měnit, nejedná se o kupovaný díl.

Půdorysné schéma baterie je zobrazeno na Obr. 37. Baterie je označena písmenem „B“. Půdorysné rozměry baterie jsou 420 mm x 260 mm. Jedná se o baterii skládanou z jednotlivých elektro dílů uložených do vyráběného boxu viz kapitola 6. Baterie.



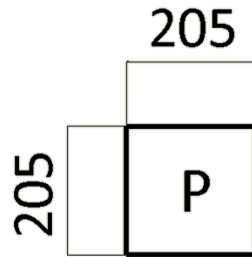
Obr. 37 Půdorysné schéma baterie

Půdorysné schéma řídicí jednotky robotu (kabinetu) je zobrazeno na Obr. 38. Řídicí jednotka robotu je označena písmenem „K“. Zvolil jsem řídicí jednotku robotu Universal robots UR16E s půdorysnými rozměry 460 mm x 225 mm. U druhého vybraného robotu OMRON TECHMAN TM14X jsou půdorysné rozměry řídicí jednotky robotu menší.



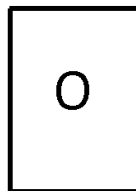
Obr. 38 Půdorysné schéma řídicí jednotky robotu (kabinetu)

Půdorysné schéma podstavy pro zvedací sloup (základny) je zobrazeno na Obr. 39. Tato podstava je označena písmenem „P“. Velikost podstavy je dána připojovacími rozměry robotu. Zvolil jsem základnu dle robotu OMRON TECHMAN TM14X s půdorysnými rozměry 205 x 205 mm. Na tuto základnu je možné namontovat i robot Universal robots UR16E, který má základnu menší.



Obr. 39 Půdorysné schéma podstavy pro zvedací sloup

Půdorysné schéma řídicí jednotky k měření (ovládacího boxu) je zobrazeno na Obr. 40. Tato řídicí jednotka je označena písmenem „O“. Autorem této specifické řídicí jednotky k měření je pan prof. Ing. Vlastimil Havran Ph.D.. Velikost řídicí jednotky k měření je dána komponenty, jenž se do ní musejí vejít. Velikost této jednotky se však může přizpůsobit prostorovým potřebám měřícího celku. Půdorysné rozměry řídicí jednotky k měření jsou tedy variabilní.

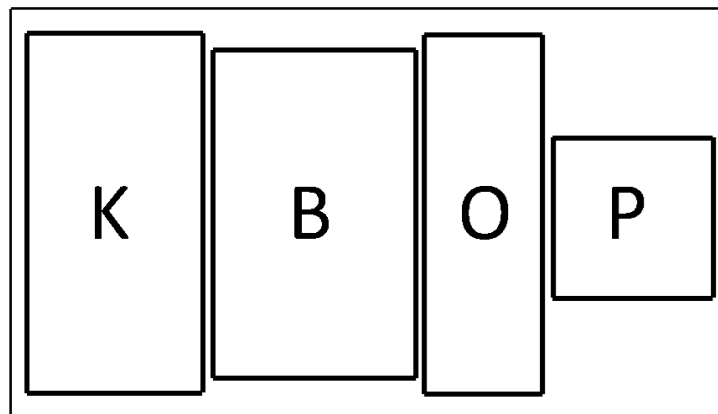


Obr. 40 Půdorysné schéma řídicí jednotky k měření (ovládacího boxu)

8.2. Varianty rozložení

8.2.1. Rozložení - 1. varianta

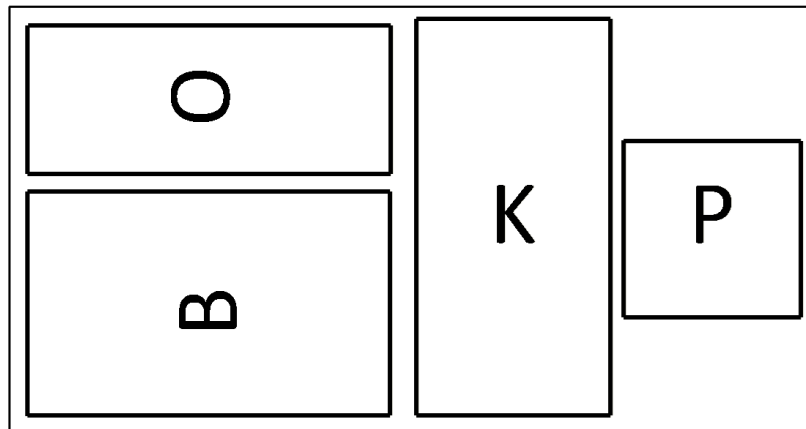
Půdorysné schéma rozložení jednotlivých prvků na měřícím celku na Obr. 41 je nejjednodušší možností rozložení. Veškeré komponenty jsou umístěny za sebou. V zadní části měřícího celku se nachází řídicí jednotka k robotu „K“, ve střední části baterie „B“ s řídicí jednotkou k měření „O“. V přední části měřícího celku se pak nachází robot se zdviží na podstavci „P“. Celý tento koncept je výhodný s ohledem na rozložení hmotnosti a umístění těžiště v ose měřícího celku. Nevýhodou tohoto rozložení prvků je značná délka měřícího celku. Součet délek jednotlivých prvků při předpokládaném rozměru řídicí jednotky k měření 150 mm je 840 mm.



Obr. 41 Půdorysné schéma rozložení – 1. varianta

8.2.2. Rozložení - 2. varianta

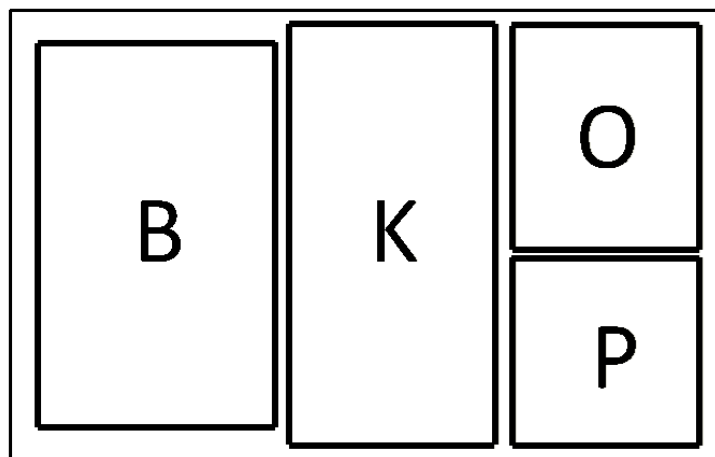
Půdorysné schéma rozložení jednotlivých prvků na měřicím celku na Obr. 42 je vývojem předchozího konceptu rozložení. Toto rozložení spočívá v posunutí kabinetu „K“ do středu měřicího celku a umístění baterie „B“ s řídicí jednotkou k měření „O“. Robot se zdvíží na podstavci „P“ zůstává stále v přední části měřicího celku. Oproti 1. variantě dojde o malý posun těžiště měřicího celku od jeho podélné osy. Součet délek jednotlivých prvků je 850 mm.



Obr. 42 Půdorysné schéma rozložení – 2. varianta

8.2.3. Rozložení - 3. varianta

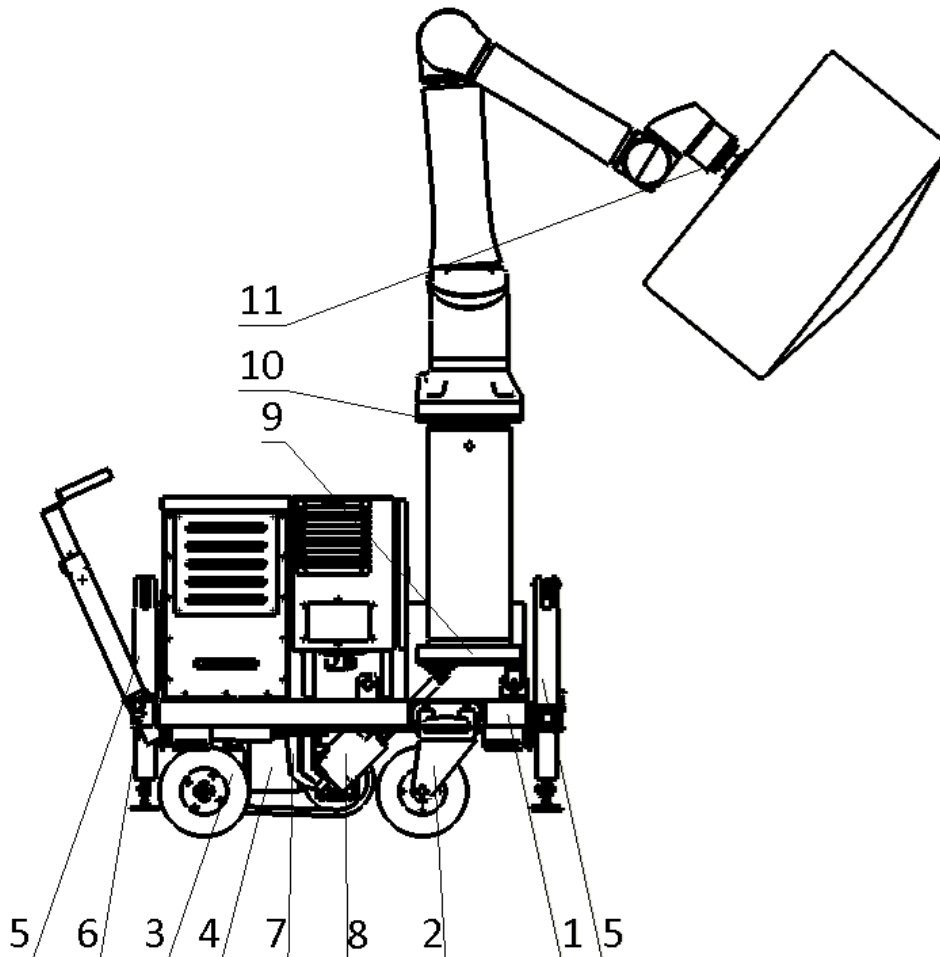
Půdorysné schéma rozložení jednotlivých prvků na měřicím celku na Obr. 43 je velice výhodnou variantou. Jednotlivé komponenty jsou poskládány na měřicím celku velmi kompaktně. Součet délek jednotlivých prvků je 690 mm. Oproti předešlým variantám je délka měřicího celku výrazně menší. Tímto rozložením se posune robot se zdvíží na podstavci „P“ mimo podélnou osu měřicího celku. Nevýhodou je posunutí celkového těžiště měřicího celku mimo jeho osu. Výhodou oproti variantám s robotem na ose měřicího celku je zvětšení již tak úzkého rozsahu bočního měření. I přes nutné úpravy ustavení celého měřicího celku je tato varianta rozložení jednotlivých komponentů nejlepší.



Obr. 43 Půdorysné schéma rozložení – 3. varianta

9. Konstrukce vozíků

Z předchozí kapitoly je dané rozložení komponentů na měřicím jednotce. Nyní se budu zabývat konstrukcí samotného vozíků a jednotlivých prvků, které jsou zapotřebí pro funkčnost měřicího celku. Hlavní konstrukční uzly jsou očíslovány na Obr. 44 a vypsány v Tab. 12.



Obr. 44 Konstrukční uzly měřicího celku

Uzly	Popis
1	Nosný rám
2	Přední kola
3	Zadní náprava
4	Pojezd měřicího celku
5	Ustavení měřicího celku
6	Rukověti
7	Úchyt lineárního pohonu
8	Naklápění
9	Spoj zdviž – naklápění
10	Spoj robot – zdviž
11	Spoj měřicí jednotka – robot

Tab. 12 Konstrukční části měřicího celku

9.1. Nosný rám

Rám je nosná konstrukce celého měřicího celku. Na rám je uchycena náprava, elektrický motor, madla, sklápěcí základna, ustavovací nohy, baterie, měřící jednotka robotu, řídicí jednotka měřicího zařízení a další prvky.

9.1.1. Materiál rámu

Zvolený materiál určí mnoho vlastností rámu. Je nutné, aby byl rám dostatečně tuhý a pevný, ale zároveň co nejlehčí.

S ohledem na výše zmíněnou tuhost a pevnost je pro řešený rám ideálním materiálem nerez ocel (ČSN 17 240), která má i dostatečnou odolnost proti korozi, dobrou obrobitelnost a svařitelnost. Rám z nerez oceli je však relativně těžký. Jelikož je hmotnost důležitým parametrem výběru materiálu rámu, je vhodnější použít lehčích materiálů, jako jsou hliníkové slitiny. Slitin hliníku je velká škála.

Slitina hliníku EN AW 6060 je levnější a dostupná slitina s dobrou odolností proti korozi. Tato slitina je také dobře svařitelná, ale hůře obrobitelná. Pevnost slitiny ve vytvrzeném stavu se pohybuje okolo cca 215 MPa a tvrdost až okolo cca 75 HBW.

Slitina hliníku EN AW 6082 je dražší hliníková slitina. Výhodami tohoto materiálu jsou chemická stálost, dobrá obrobitelnost a svařitelnost. Povrch materiálu se dá leštit. Pevnost slitiny ve vytvrzeném stavu dosahuje obdobné pevnosti jako konstrukční ocel ČSN 11 373. Pevnost v tahu slitiny ve vytvrzeném stavu je až 310 MPa a tvrdost až cca 95 HBW. Tato slitina je dobrou volbou pro naše použití. Díky použití tohoto materiálu je hmotnost rámu pouze cca 12 kg.

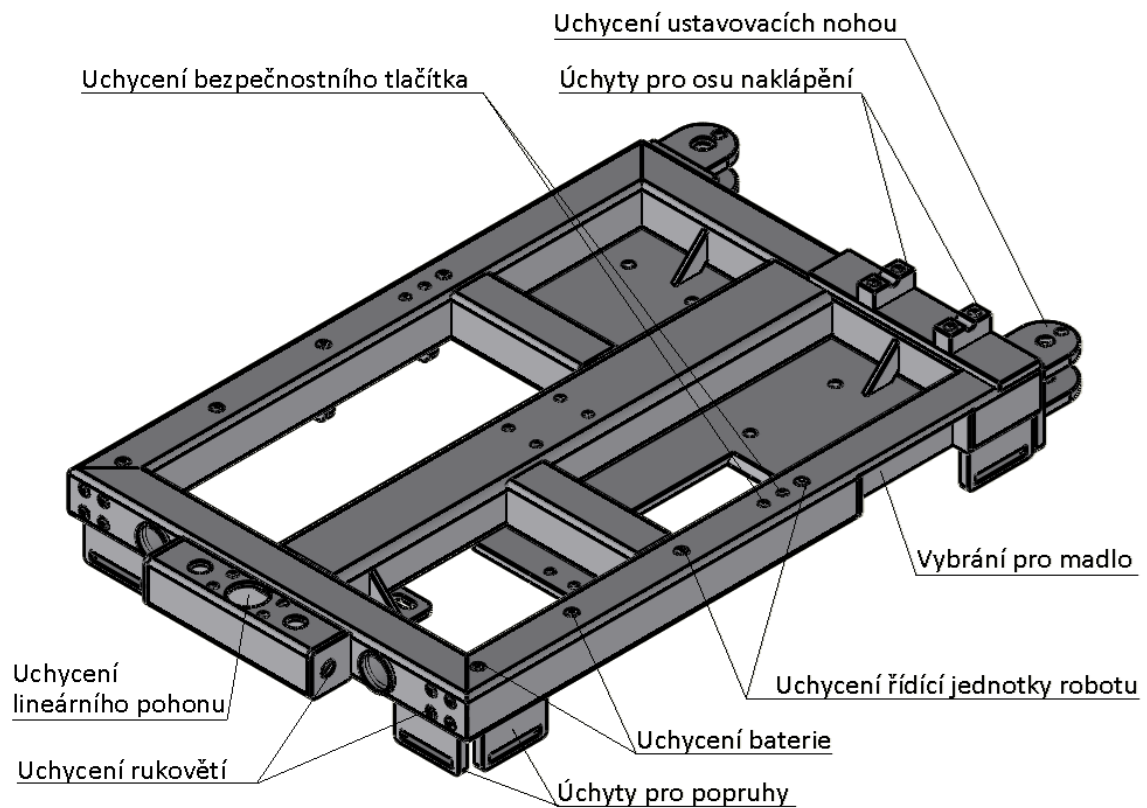
9.1.2. Konstrukce rámu

Konstrukce rámu je svařena z vybraného materiálu EN AW 6082 viz odstavec výše. Rám je svařen z profilů 50 mm x 50 mm tl. 4 mm a profilu 80 mm x 50 mm tl. 4 mm, který prochází středem svařené konstrukce. Nejsložitějšími navařenými prvky na rám jsou úchyty pro osu naklápění základny. Dalšími prvky na rám jsou pouze navařené ploché díly z plechu tloušťky 10 mm, 8 mm a 5 mm. Tyto ploché díly se vyrábí za pomoci technologie řezání vodním paprskem. Díry, u kterých je třeba vyšší přesnost, je nutné vrtat.

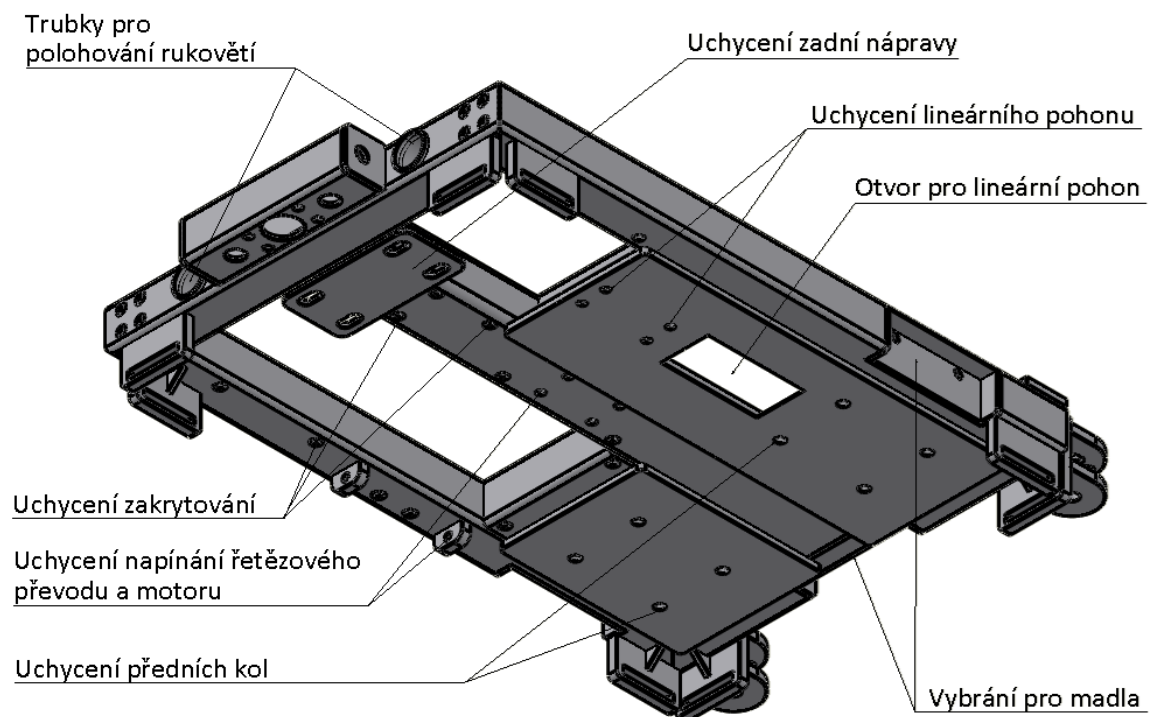
Pro spojení jednotlivých prvků k rámu jsou použity šroubové spoje. Jedním z použitých šroubových spojů je spoj průchozí. Daný prvek je k rámu přišroubován pomocí šroubu a matice. Tímto spojem jsou k rámu připevněna kola, zadní náprava a úchyt lineárního pohonu. Ostatní spoje jsou řešeny pomocí nýtovacích matic se zapuštěnou hlavou. S ohledem na tloušťku materiálu není možné vyrobít závit přímo do profilů rámu. Proto jsou v rámu vyvrtané díry, do kterých jsou ustavené nýtovací matice viz kupované díly kapitola 11. Výhodou nýtovacích matic je vysoká pevnost šroubového spoje a jednoduchá výroba.

V zadní části rámu je navařený profil 50 mm x 50 mm tl. 4 mm pro uchycení madel a také trubky \varnothing 40 mm tl. 1,5 mm pro polohování madel do vodorovné polohy. V zadní části rámu je také uchycení pro lineární pohon na ustavení vozíku. Ze spodní strany je navařený úchyt pro zadní nápravu. V rozích jsou dále navařeny díly pro možné protáhnutí manipulačních popruhů. Z vrchní strany rámu jsou připraveny díry pro uchycení baterie, řídicí jednotky robotu a bezpečnostních tlačítek. Na bocích a v přední části rámu je vybrání pro uchycení madel. V přední části rámu jsou navařeny desky pro uchycení ustavovacích nohou a také úchyty pro osu naklápění. Na spodní části rámu jsou přivařeny 2 nosné desky tl. 10 mm. V těchto deskách jsou navrtány díry pro uchycení předních kol. Ve větší desce je navržen obdélníkový otvor pro umístění lineárního pohonu k naklápění základny a navrtány otvory pro jeho uchycení. S ohledem na nutnost pojezdu měřicího celku jsou do rámu vyvrtány také díry pro uchycení motoru a řetězového převodu s napínáním.

Konstrukce rámu je znázorněna na Obr. 45 a Obr. 46.



Obr. 45 Rám – horní pohled



Obr. 46 Rám – spodní pohled

9.2. Přední kola

Volba kol je dána hmotností a velikostí měřicího celku. Měřící celek má hmotnost cca 185 kg. S ohledem na velikost rámu je ideální průměr kol cca 150 mm až 200 mm. Kvůli tlumení rázů při pojezdu po nerovném povrchu je nutné, aby kola byla nafukovací (s duší). Na českém trhu je velice málo kol, která by splnila všechny tyto podmínky.

Pro jednoduché ovládání měřicího celku volím přední kola s otočnou hlavou viz Obr. 47. Jedno toto kolo má nosnost 50 kg a hmotnost 2,2 kg. Hmotnost vzhledem ke snaze maximálního snížení váhy měřicího celku je přijatelná. Průměr kola je 175 mm, což je vzhledem k velikosti vozíku ideální. Šířka běhounu je 40 mm, to je dostačující i pro manipulaci s měřícím celkem v měkkém terénu.

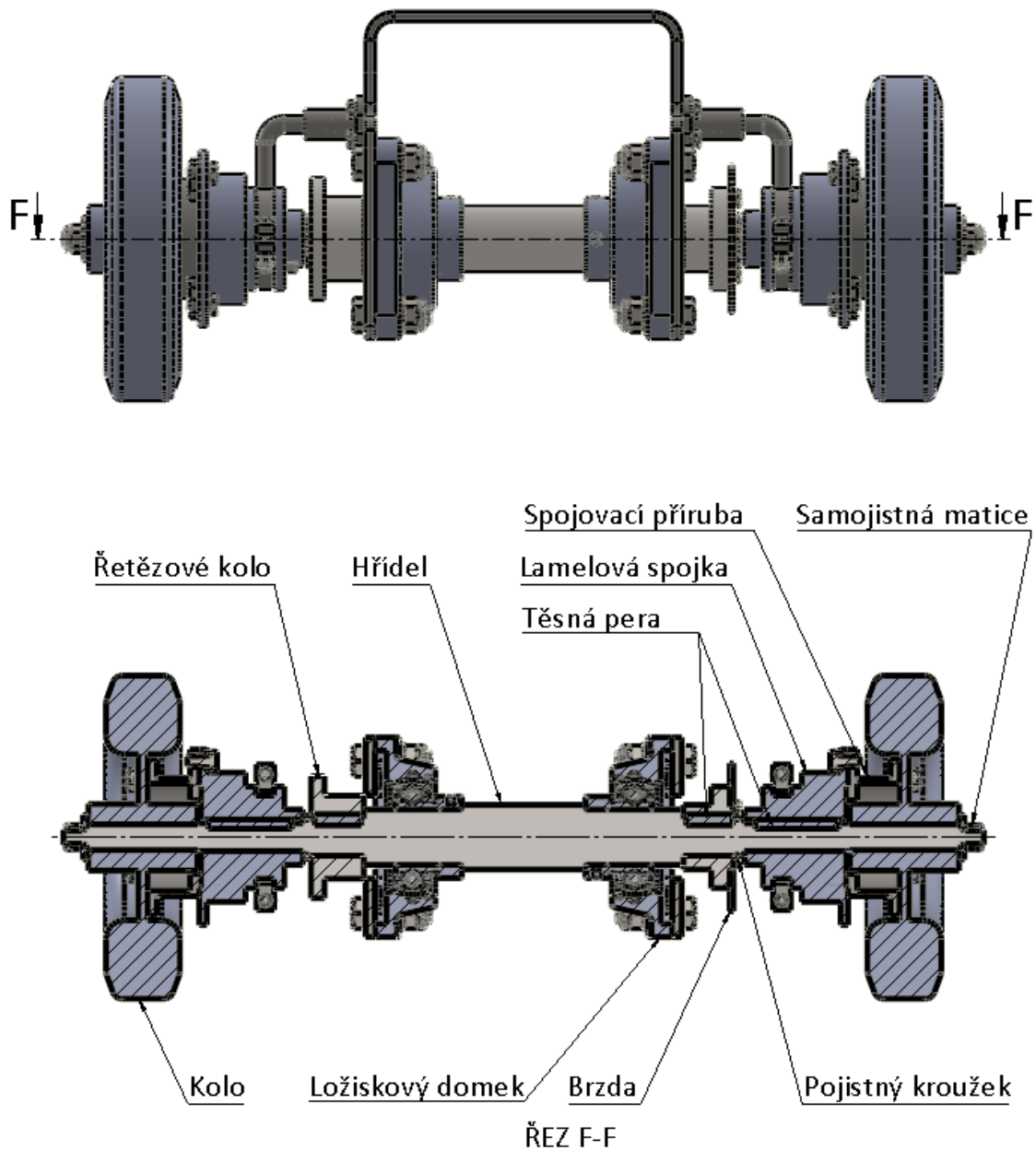
Kola jsou uchycena pomocí šroubového spoje (šroub – matice) k přední části svařovaného rámu.



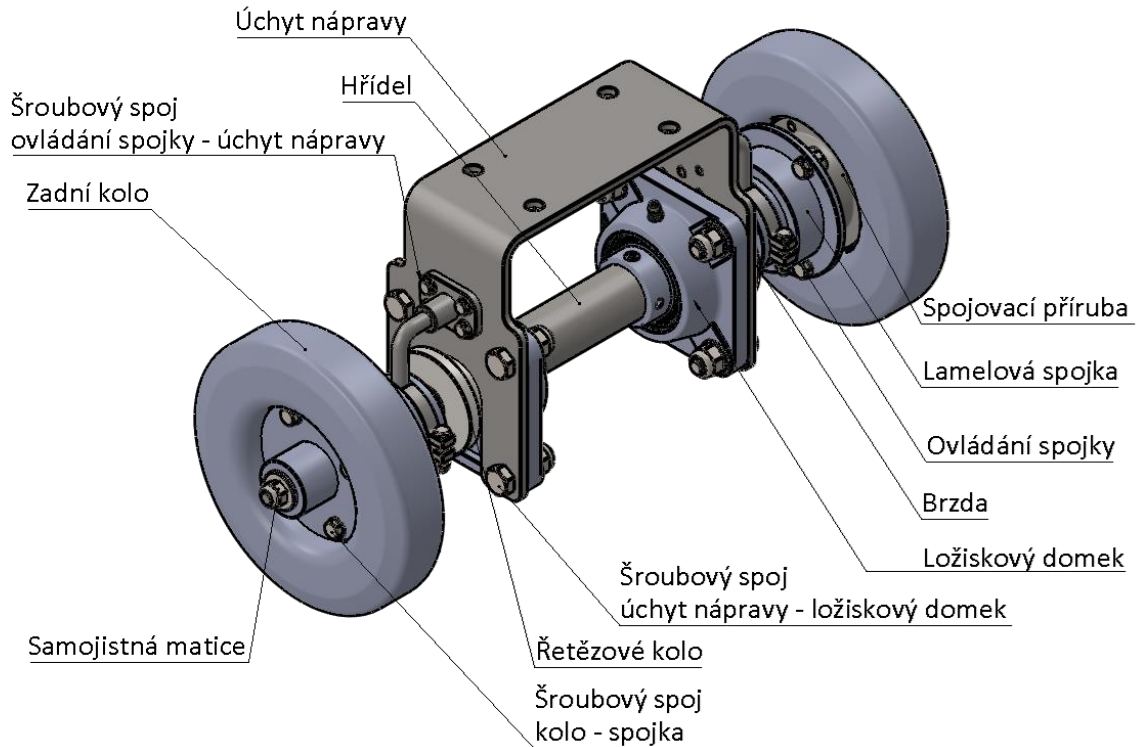
Obr. 47 Přední kolo [20]

9.3. Zadní náprava

Zadní náprava je složena z mnoha funkčních prvků. Náprava je hnaná a je na ní umístěna brzda. Pro jednoduchou manipulaci s měřicím celkem a jeho otáčení na malém prostoru je na každé zadní kolo umístěna lamelová spojka. Díky tomu je možné přerušit tok kroučícího momentu, buď na jednom kole nebo na obou kolech současně. Na nápravu je z elektromotoru přenášén kroučící moment pomocí řetězového převodu. Celá náprava je usazena v ložiskách. Ložiskové domky jsou pomocí šroubových spojů (šroub – matice) uchyceny k ohýbanému dílu (úchyt nápravy), který je upevněn ke svařovanému rámu. Jednotlivé prvky, které přenáší kroučící moment, jsou s hřídelí spojeny pomocí těsných per. Díly jsou popsány na Obr. 48 a Obr. 49.



Obr. 48 Zadní náprava – pohled, řez



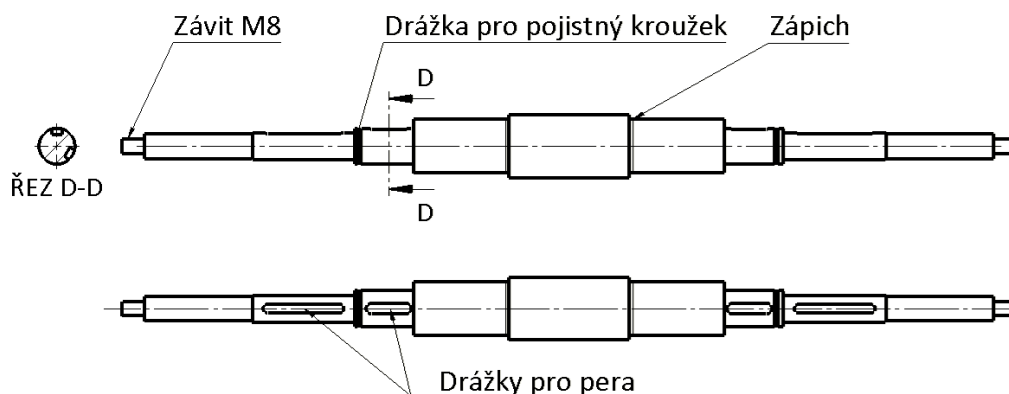
Obr. 49 Zadní náprava

9.3.1. Komponenty nápravy

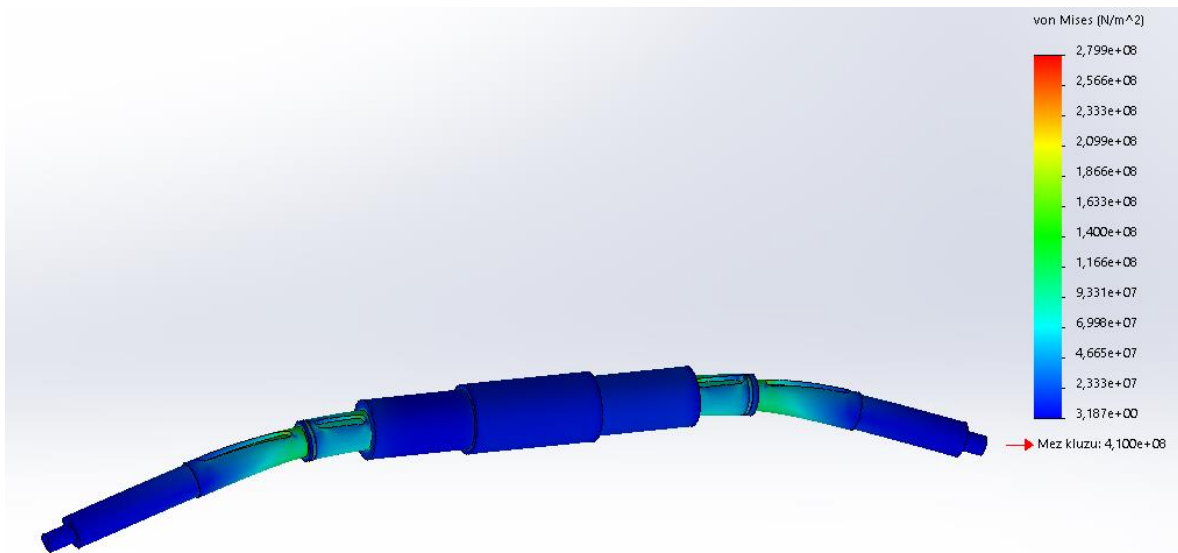
V této kapitole jsou uvedeny použité komponenty pro realizaci zadní nápravy.

9.3.1.1. Hřídel

Hřídel je centrálním členem celé zadní nápravy. Tento prvek není výrobně. Prvky na hřídeli na Obr. 50 jsou zápichy, drážky pro pera, drážky pro pojistné kroužeky a závit. Jednotlivé průměry na hřídeli jsou odstupňovány dle použitých komponentů. Na hřídel jsem provedl MKP analýzu v programu Solidworks viz Obr. 51. Hřídel při použitím materiálu ČSN 11 600 splňuje pevnostní požadavky s dostatečnou bezpečností. Maximální napětí je cca 200 MPa což je hluboko pod mezí kluzu.



Obr. 50 Hřídel



Obr. 51 MKP analýza hřídele

9.3.1.2. Ložiskové domky

Ložiskové domky pro uchycení hřídele k rámu jsou připevněny k úchytu nápravy pomocí šroubových spojů (šroub – matice). Původně bylo uvažováno s ložiskovými domky typu UCP viz Obr. 52. S ohledem na malý zástavbový prostor a jednoduchost dílu úchytu nápravy je lepší použít ložisko UCF. Pod ložiskové domky jsem zvolil průměr hřídele 30 mm. Konkrétní použité ložisko je od firmy SKF typ FY 30 FM viz Obr. 53.



Obr. 52 Ložiskový domek UCP [19]



Obr. 53 Ložiskový domek UCF - FY 30 FM [19]

9.3.1.3. Zadní kola

Zadní kola na Obr. 54 jsou typově stejná jako přední kola, jsou ale samostatná bez otočné hlavy. Jedno toto kolo má nosnost 50 kg a hmotnost 1 kg. V zadních kolech je dle výrobce pouzdro o průměru 14 mm. Předpokládaný průměr hřídele pod koly je tedy 14 mm. S ohledem na přesnost výroby pouzdra bude průměr hřídele pod koly přizpůsoben skutečnému průměru pouzdra.



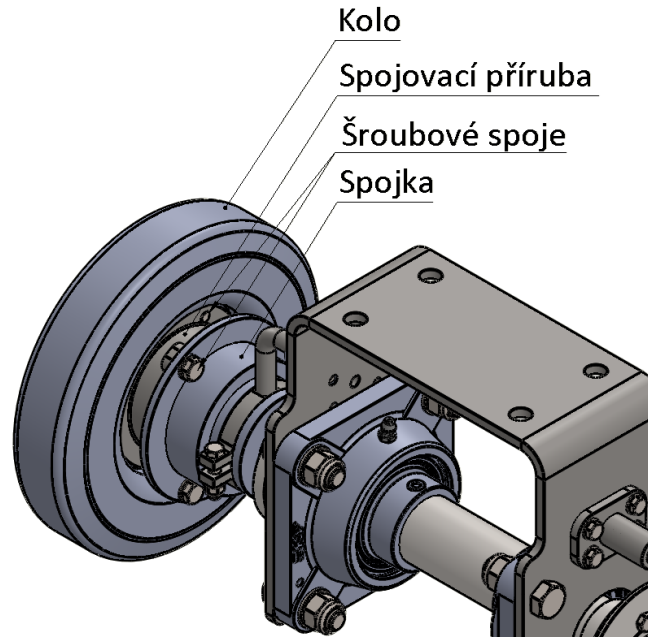
Obr. 54 Zadní kolo [20]

9.3.1.4. Spojky

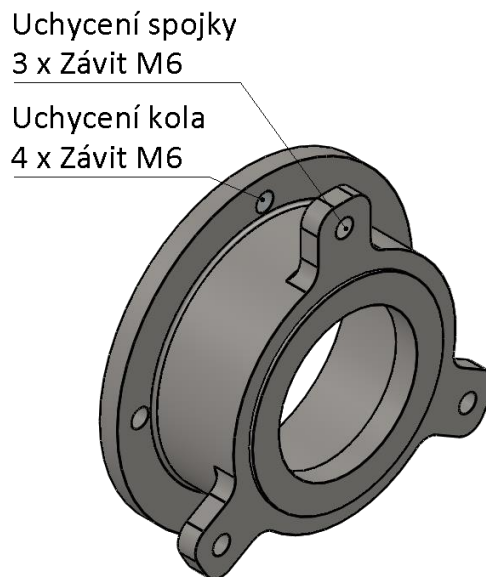
Na základě doporučení vedoucího této diplomové práce jsem vybral spojky od výrobce Ortlinghaus. Jedná se o mechanicky ovládané lamelové spojky s přírubovými tělesy a uzavřeným provedením. Pro řešený měřicí celek jsem použil konstrukční řadu spojek 0100-000. Vhodná velikost spojky je v katalogu označena číslem 07. Tato spojka je nejmenší vyráběný model. Její maximální přenesený moment je 20 N/m. [23]

Maximální přenesený moment dvou použitých spojek je tak 40 N/m. Přenesený moment na hřídel od pohonu spočítaný v kapitole 9.4.1. je 36 N/m. Tento moment vychází z požadavku pojezdu měřicího celku do kopce se stoupáním 12° při rychlosti cca 1 m/s. Při rovnoměrném zatížení zadních kol v tomto extrémním případě spojky vyhoví. Při jízdě po rovině je potřebný moment pro pojezd cca 8-10 x menší.

Nevýhodou je, že při použití jedné spojky (zatáčení) může vlivem nerovností terénu a případného stoupání vzrůst potřebný kroutící moment pro pojezd na více jak 20 N/m. V takovém případě dojde k prokluzu spojky. Vzhledem k omezenému průměru spojky není možné použít spojku s vyšším přenosem kroutícího momentu. Spojka je na hřídel upevněna pomocí těsného pera. Axiální zajištění spojky je řešeno pomocí osazení na hřídeli na jedné straně a samojistné matice na druhé straně. Tato matice zajišťuje kolo a součásti na něj navazující. Spojka je s kolem spojena pomocí spojovací příruby (Obr.55, Obr. 56). K uchycení zadních kol jsou ve spojovací přírubě vyrobeny čtyři závitové díry M6 na roztečné kružnici o průměru 72 mm. Zadní kola jsou ke spojovací přírubě přišroubována přes díry v disku. K uchycení spojky jsou ve spojovací přírubě vyrobeny tři závitové díry M6 na roztečné kružnici o průměru 82 mm. Spojka je ke spojovací přírubě přišroubována přes díry na roztečné kružnici o stejném průměru. Spojka je nutné pojistit lepidlem (loctite).



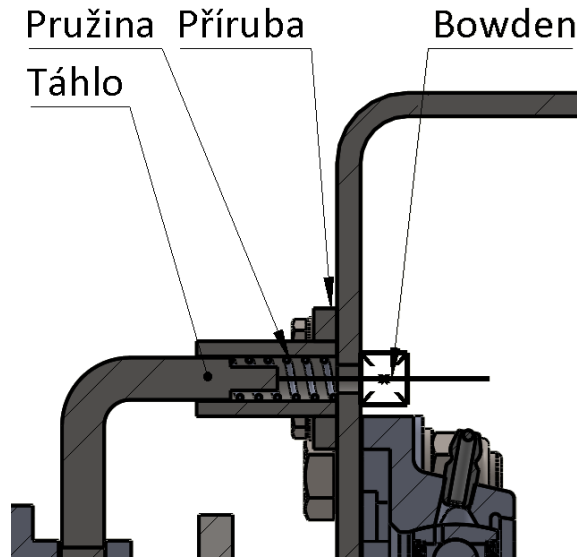
Obr. 55 Zástavba spojky



Obr. 56 Spojovací příruba

9.3.1.5. Ovládání spojky

Ovládání spojky je řešeno pomocí pružiny a bowdenu (Obr.57). Pružina je uložena ve vrchní části ovládání spojky. Z katalogu výrobce lamelových spojek je dána nutná přitlačná síla pro sepnutí spojky 100 N. Tlačná síla pružiny s připočítáním ztrát je tedy 130 N–150 N. Pružina tlačí do táhla a tím je vyvolána potřebná síla na sepnutí lamelové spojky. Jestliže je třeba přerušit tok kroutícího momentu a otáček, táhlo je odtaženo pomocí bowdenu.



Obr. 57 Ovládání spojky

9.4. Pojezd měřícího celku

Pojezd měřícího celku musí být s ohledem na zvolenou baterii řešen pomocí elektromotoru o napětí 24 V DC. Motor musí být dostatečně kompaktní, aby se mohl umístit pod svařovaný rám.

9.4.1. Výpočet potřebného výkonu, otáček a kroutícího momentu

Vstupními hodnotami pro výpočet potřebného výkonu jsou hmotnost měřícího celku cca 180 kg, rychlost pojezdu cca 2–4 km/h (cca 1 m/s) a průměr kol 175 mm. Maximální uvažované stoupání, které musí měřící celek překonat je $\alpha=12^\circ$.

9.4.1.1. Výpočet potřebné hnací síly

F_H – potřebná hnací síla [N]

O_f – odpor valení [N]

O_s – odpor stoupání [N]

O_z – odpor zrychlení (s ohledem na malé rychlosti zanedbávám) [N]

f – součinitel valivého odporu cca 0,015 pro asfaltový povrch

G – tíha měřícího celku [N]

α – uhel stoupání [°]

$$F_H = O_f + O_s \quad (10)$$

$$F_H = f * G * \cos(\alpha) + f * G * \sin(\alpha) \quad (11)$$

$$F_H = f * m * g * \cos(\alpha) + f * m * g * \sin(\alpha) \quad (12)$$

$$F_H = 0,015 * 9,81 * 180 * \cos(12) + 9,81 * 180 * \sin(12) \quad (13)$$

$$F_H = 393 \text{ N} \quad (14)$$

Potřebná hnací síla pro překonání jízdních odporů na asfaltovém povrchu při stoupání 12° je 393 N.

9.4.1.2. Výpočet potřebného výkonu pro pojezd

Jestliže známe potřebnou hnací sílu, je pro zjištění potřebného výkonu nutné vědět rychlost pojezdu. Rychlost, kterou by se měl vozík pohybovat, je rychlost chůze, tedy cca 1 m/s. Viz vstupní hodnoty v kapitole 9.4.1.

FH – potřebná hnací síla [N]

v – rychlost pojezdu [m/s]

P – výkon [W]

$$P = F_H * v \quad (15)$$

$$P = 393 * 1 \quad (16)$$

$$P = 393 \text{ W} \quad (17)$$

Potřebný výkon pro pojezd na asfaltovém povrchu při stoupání 12° je cca 400 W.

9.4.1.3. Výpočet otáček nápravy

n – otáčky nápravy [ot/s]

ω – uhlová rychlost [rad/s]

v – rychlost pojezdu [m/s]

rd – poloměr kola [m]

$$n = \frac{\omega}{2 * \pi} \quad (18)$$

$$n = \frac{\frac{v}{rd}}{2 * \pi} \quad (19)$$

$$n = \frac{1}{\frac{0,0875}{2 * \pi}} \quad (20)$$

$$n = 1,81 \text{ ot/s} \quad (21)$$

Aby jel vozík rychlostí 1 m/s, musí být otáčky nápravy 1,81 ot/s.

9.4.1.4. Výpočet potřebného kroutícího momentu

M_k – potřebný kroutící moment pro pojezd

v – rychlost pojezdu [m/s]

rd – poloměr kola [m]

P – výkon [W]

$$P = \frac{Mk}{rd} * v \quad (22)$$

$$Mk = \frac{P * rd}{v} \quad (23)$$

$$Mk = \frac{400 * 0,0845}{1} \quad (24)$$

$$Mk = 35 \text{ N/m} \quad (25)$$

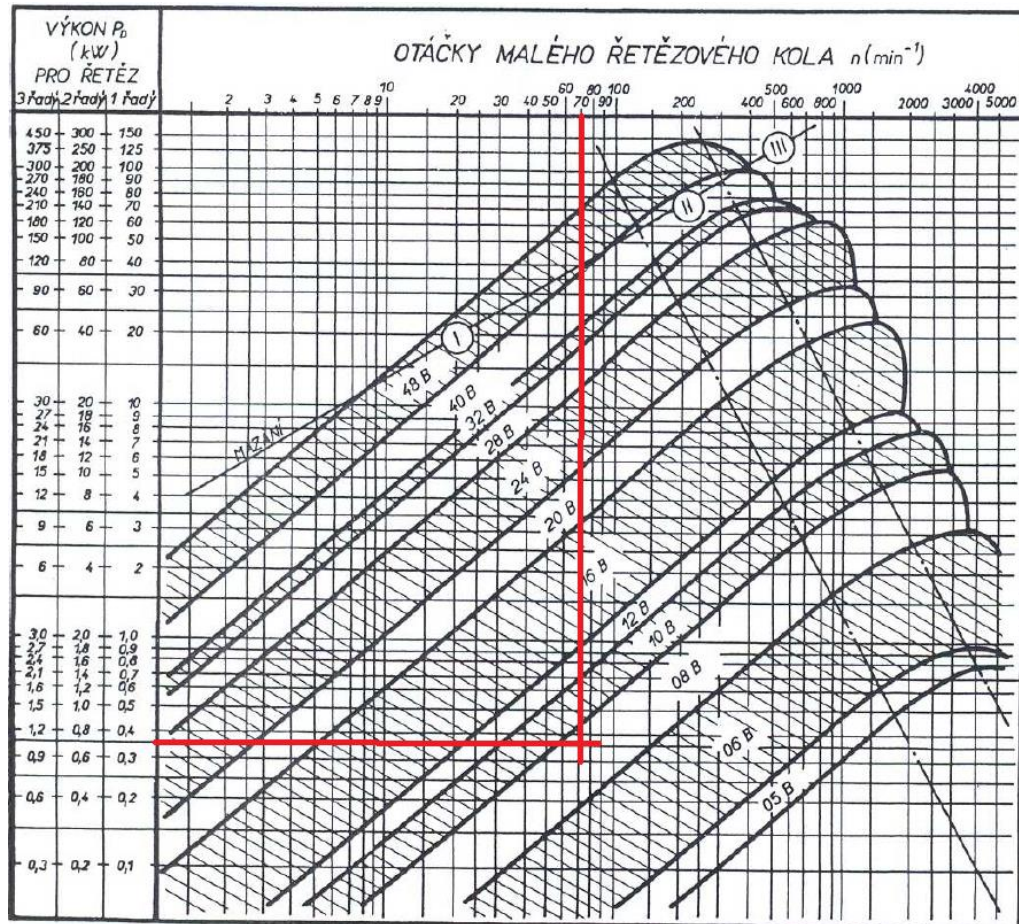
Potřebný kroutící moment pro pojezd na asfaltu při stoupání 12° je 35 N/m.

9.4.2. Volba motoru a řetězového převodu

Kroutící moment a otáčky je nutné převést z elektromotoru na nápravu. Tento přenos je možné realizovat pomocí řetězového převodu, ozubeného řemenu nebo řemenu. Z důvodu malé náročnosti na údržbu a malého potřebného prostoru pro napnutí volím řetězový převod, a to s poměr $i=2$. Motor tak bude mít dvojnásobné otáčky a poloviční kroutící moment, než je vypočítán v předchozích bodech.

Motor by měl mít výkon 400 W, otáčky cca 220 ot/min a kroutící moment 17,5 N/m. Motor s těmito parametry nemají výrobci ve svém portfoliu. Proto jsem zvolil motor se šnekovou převodovkou o výkonu 350 W, s otáčkami na výstupu 150 ot/min a kroutícím momentem 18 N/m. Přestože má motor nižší výkon, než by bylo potřeba, má dostačující kroutící moment. Motor má jediné omezení, a to nižší otáčky. Rychlost pojezdu měřícího celku bude na spodní hranici požadovaného rozsahu (cca 2,5 km/h). Motor s vyšším výkonem nelze použít s ohledem na malý zástavbový prostor. Vybraný motor distribuuje v České republice firma RAVEO. Přesné označení vybraného motoru je ECM250/030 U (P=350 W, n=150 ot/min, Mk=18 N/m)

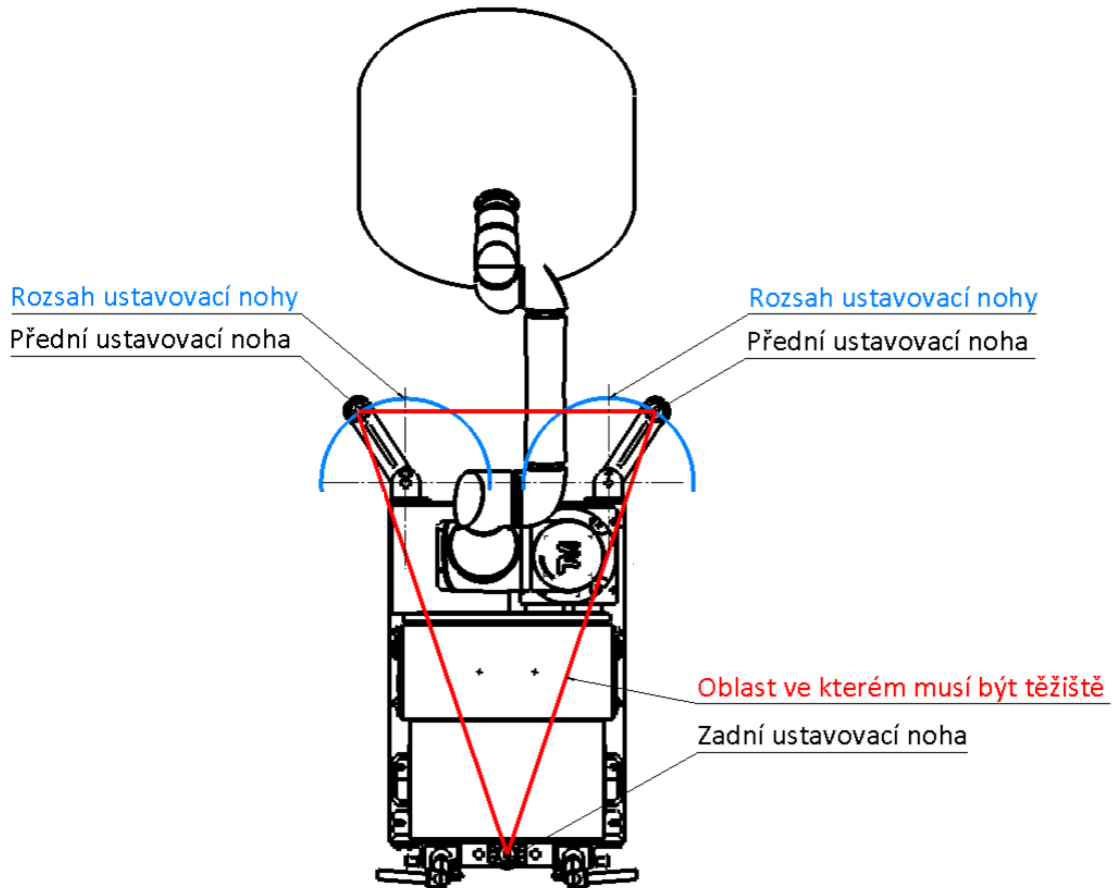
Na základě otáček malého řetězového kola 75 ot/min a výkonu motoru 350 W volím dle diagramu na Obr. 58 řetěz 08 B. Malé řetězové kolo bude mít 15 zubů a velké 30 zubů.



Obr. 58 Diagram pro volbu řetězu [18]

9.5. Ustavení měřícího celku

Ustavení měřícího celku je důležité pro kvalitu a rozsah měření. Měřící celek je z důvodu manipulace navržen co nejmenší. S ohledem na to je nutné důkladné ustavení měřícího celku pomocí rozkládacích nohou, čímž se zvětší jeho základna. To je důležité pro celkovou stabilitu měřícího celku. Měřící celek je nutné zvednout nad úroveň terénu, aby došlo k odlehčení kol. Kdybychom měřili bez ustavení neboli bez zvednutí měřící jednotky nad úroveň terénu, mohlo by vlivem malé tuhosti kol docházet ke chvění měřícího celku. Při volbě možného ustavení jsem uvažoval o zdvihu měřícího celku čtyřmi lineárními pohony. Obdobné ustavení se používá u jeřábů. Na pevné ustavení ale stačí pouze tři pevné body. Snížením těchto pevných bodů na tři vznikne trojúhelník, ve kterém je nutné mít těžiště měřícího celku, aby nedošlo k překlopení. Pro zdvižení do potřebné výšky jsem zvolil lineární pohony. Půdorysné schéma ustavení měřícího celku je zobrazeno na Obr. 59.

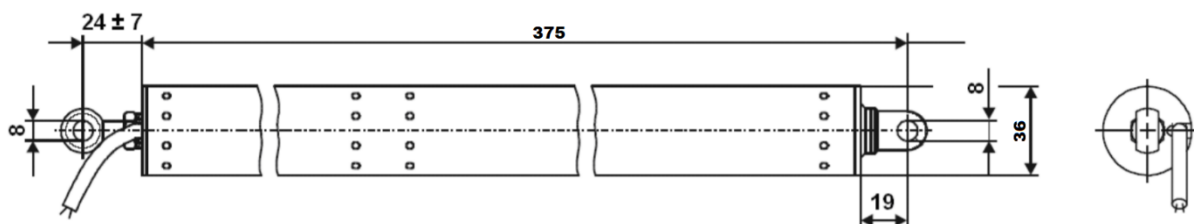


Obr. 59 Půdorys ustavení měřícího celku

9.5.1. Volba lineárního pohonu

Lineární pohon musí být kompaktní a napájen 24 V DC. Lineární pohon by měl mít zdvih cca 100–200 mm, aby došlo k dostatečnému zvednutí měřícího celku nad terén. Zdvíhací síla lineárního motoru by měla být 750–1000 N. Ideálním tvarem lineárního motoru by měl být válec.

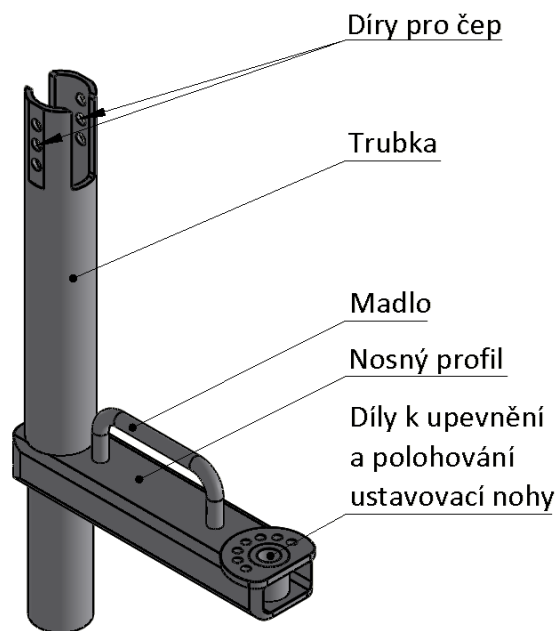
S ohledem na nutné parametry jsem po průzkumu trhu zvolil lineární pohon pro otvírání oken. Lineární pohony pro otvírání oken jsou běžně napájeny 24 V DC, mají stupeň ochrany IP 54 nebo IP 65, zdvih 100–1000 mm a sílu v tahu/tlaku 600–5000 N. Zvolil jsem lineární pohon od distributora Panelektro, model PL-10 s napájením 24 V DC, zdvižnou silou 1000 N a zdvihem 100 mm (Obr. 60). [24]



Obr. 60 Lineární pohon PL-10 [24]

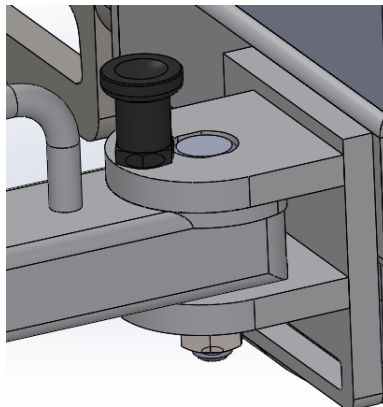
9.5.2. Konstrukční řešení ustavení v přední části měřicího celku

Ustavení v přední části měřicího celku je řešeno pomocí dvou rozkládacích nohou s lineárními pohony (Obr. 59). Tento princip umožňuje zvětšit základnu a rozšířit rozsah měření. Konstrukčně je rozkládací noha řešena jako svařovaný díl (Obr. 61). Hlavní díl svařované sestavy je trubka o průměru 44 mm a tl. 4 mm, ve které je uložen lineární pohon. Trubka je v horní části obrobena a jsou v ní vyvrtané tři díry pro uchycení lineárního pohonu. Díry jsou vrtané v rozteči 15 mm, umožňují nastavení zástavbové výšky lineárního pohonu. Zajištění lineárního pohonu ke svařované sestavě bude řešeno čepem a závlačkou. K již zmíněné trubce bude přivařen profil 50 mm x 30 mm, tl. 4 mm. Na konci tohoto profilu budou přivařeny díly k upevnění a polohování ustavovací nohy k rámu. Na profilu je také přivařeno madlo, které je určeno pro případnou manipulaci s vozíkem. Materiál pro svařované díly volím stejný jako na rám slitina hliníku EN AW 6082- T6.



Obr. 61 Svařovaná ustavovací noha

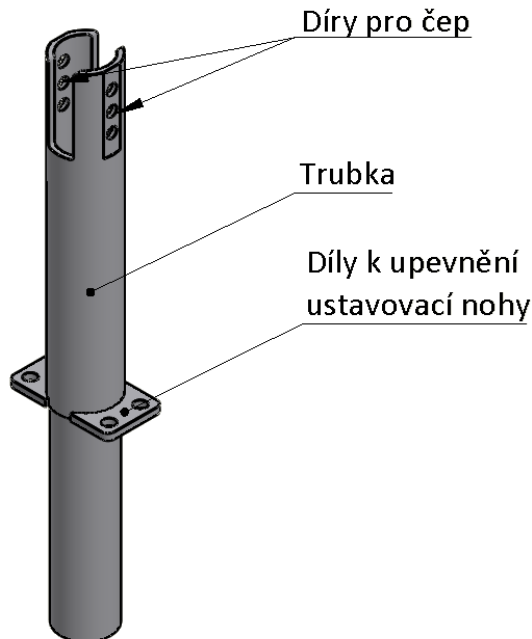
Připojení ustavovací nohy k rámu je navrženo pomocí čepu se závitem a pojistné matky. Aretace jednotlivých poloh ustavovací nohy je zajištěna pomocí pružného pístu viz kupované díly. Tento připojovací detail je na Obr. 62.



Obr. 62 Uchycení ustavovací nohy k rámu

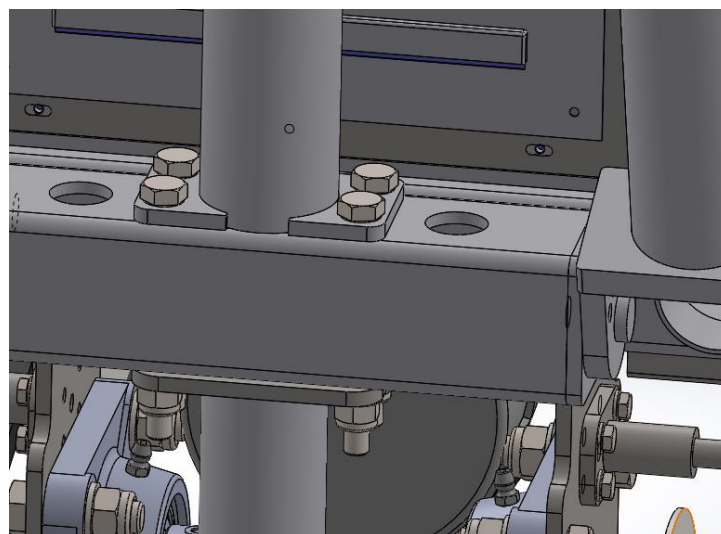
9.5.3. Konstrukční řešení ustavení v zadní části

V zadní části měřicího celku je zadní ustavovací noha viz Obr. 59. Konstrukčně je tato noha řešena opět jako svařovaná sestava (Obr. 63). Lineární pohon je uložen do trubky o průměru 44 mm a tl. 4 mm. Trubka je v horní části obrobena a jsou v ní vyvrtané tři díry pro uchycení lineárního pohonu. Díry jsou vrtané v rozteči 15 mm, umožňují nastavení zástavbové výšky lineárního pohonu. Na trubku jsou přivařeny ploché díly k upevnění ustavovací nohy k rámu měřicího celku.



Obr. 63 Svařená sestava úchyty lineárního pohonu

Zadní ustavovací noha je k rámu měřicího celku upevněna čtyřmi šroubovými spoji pomocí upevňovacích dílů na svařované sestavě a roznášecí desky ze spodní strany rámu (Obr. 64).



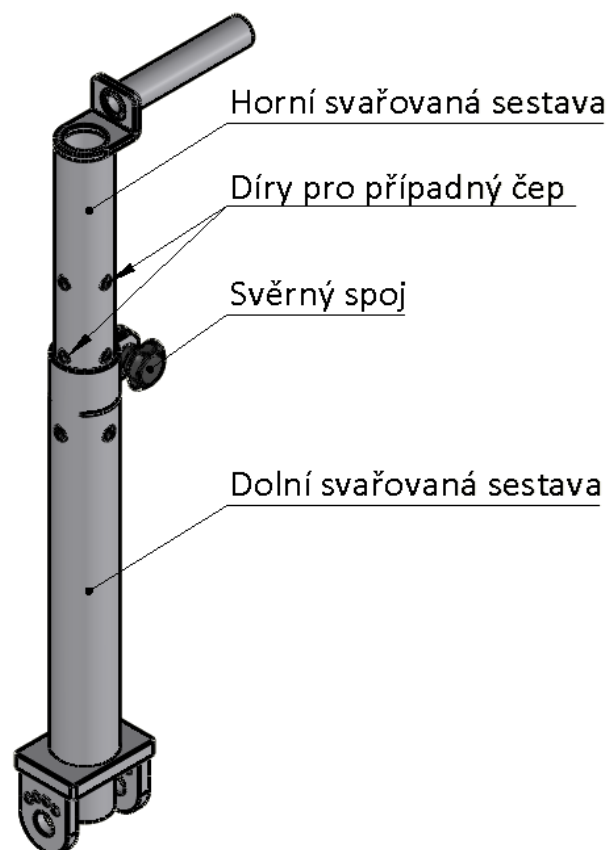
Obr. 64 Upevnění zadní ustavovací nohy k rámu

9.6. Rukověti

Rukověti jsou umístěny v zadní části měřicího celku, slouží pro jeho manipulaci a řízení. Rukověti jsou vzájemně oddělené z důvodu jejich možného natočení a kompaktnějšího složení. S ohledem na přepravu, maximální kompaktnost a pohodlné řízení měřicího celku jsou rukověti výškově nastavitelné.

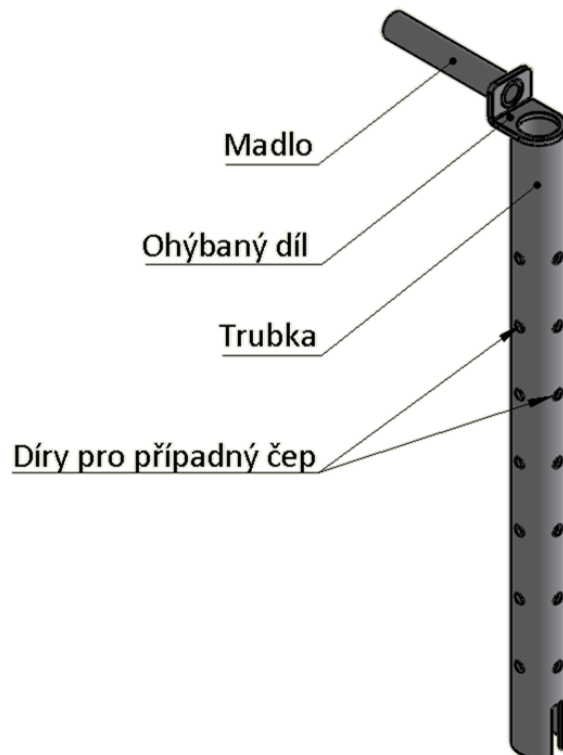
9.6.1. Konstrukce rukověti

Konstrukce rukověti se skládá ze dvou svařovaných sestav a svěrného spoje (Obr. 65). Dalším dílem je pojistný čep k případnému pojištění vybraných pozic dle rastru děr v horní svařované sestavě. Materiál rukověti je stejný jako pro rám, slitina hliníku EN AW 6082- T6.



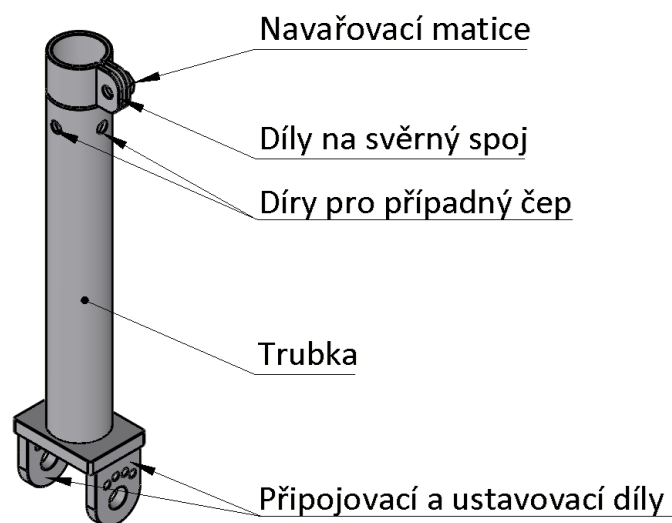
Obr. 65 Konstrukce rukověti

Horní část rukověti je svařena z bezešvé trubky o průměru 36 mm a tloušťce stěny 3 mm, ve které jsou vrtané díry v rozteči 55 mm o průměru 8 mm pro případné zajištění čepem. K trubce je přivařen ohýbaný díl, který spojuje trubku s madlem. Madlo je opět trubka o průměru 20 mm a tloušťce stěny 3 mm. Při dokončovacích operacích by bylo vhodné madlo poplastovat, aby byl úchop příjemnější. Horní svařovaná sestava rukověti je zobrazena na Obr. 66.



Obr. 66 Horní svařovaná sestava rukověti

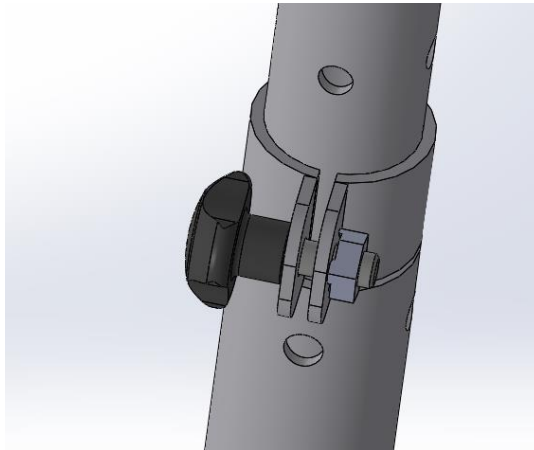
Dolní svařovaná sestava rukověti (Obr. 67) je svařena z trubky o průměru 42 mm a tloušťce stěny 3 mm. Jsou v ní vyvrtané díry o průměru 8 mm pro případný pojistný čep. V horní části svařované sestavy jsou navařené díly pro svěrný spoj včetně navařovací matice. Ve spodní části svařené sestavy jsou připojovací a ustavovací díly k uchycení k rámu. Ustavení rukověti je možné ve čtyřech polohách naklopení.



Obr. 67 Dolní svařovaná sestava rukověti

Svěrný spoj (Obr. 68) umožňuje nastavení výšky a pootočení madla. Jeho nosnost je však omezená. Svěrná síla je vyvolána pomocí šroubu a přivařené matice.

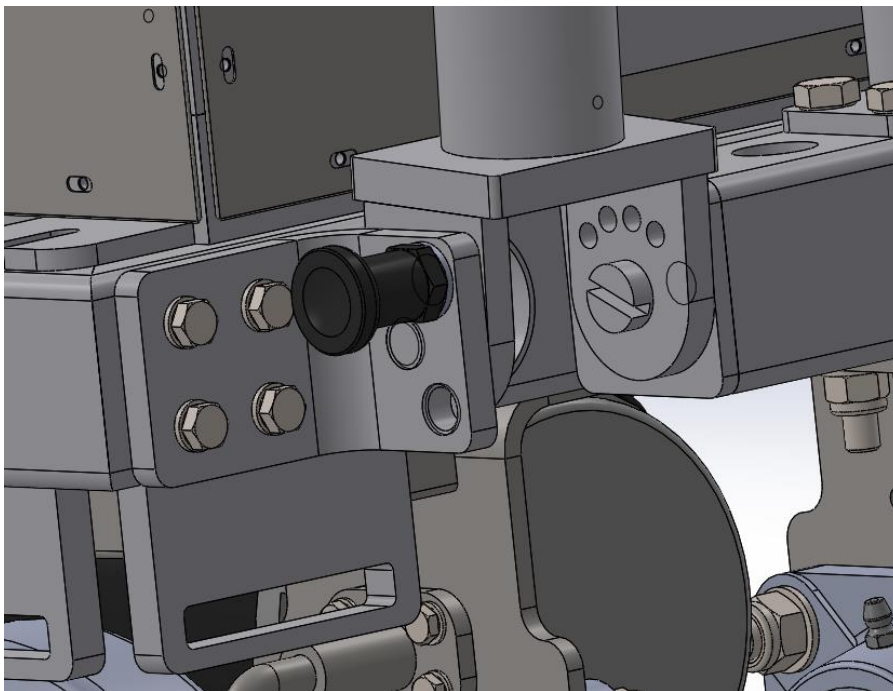
V případě potřeby vyšší nosnosti spoje horní a dolní sestavy rukověti je možné ve vybraných polohách spojit tyto dvě sestavy pomocí pojistného čepu. Vybrané polohy jsou dány rastrem děr v horní svařované sestavě. Výškové nastavení vysunutí madla je po 55 mm. Nastavení pootočení madla je po 45°.



Obr. 68 Svěrný spoj konstrukce rukověti

9.6.2. Uchycení rukověti k rámu

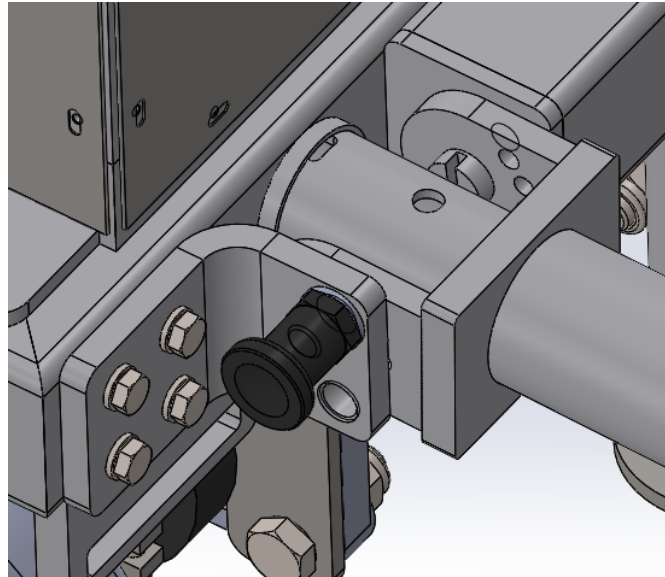
Uchycení rukověti k rámu (Obr. 69) je řešeno pomocí dvou čepů se závitem. Jeden čep je přišroubován přímo k rámu, druhý do ohýbaného plechu tl. 8 mm. Tento ohýbaný plech je uchycen k rámu pomocí čtyř šroubových spojů. Zajištění polohování rukověti je pomocí pružného pístu.



Obr. 69 Uchycení rukověti k rámu

9.6.3. Rukověti jako madla pro manipulaci

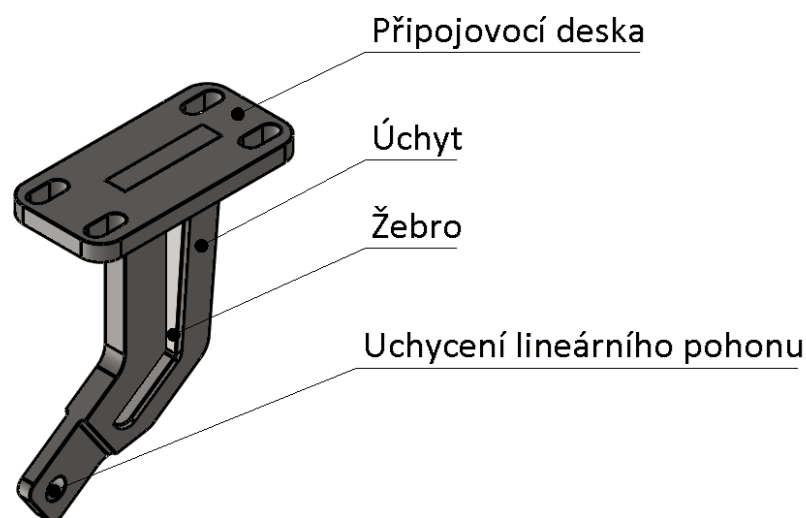
Rukověti lze také použít pro přenos měřícího celku (Obr. 70). Teleskopické rukověti je nutné naklopit do vodorovné polohy a horní části rukověti zasunout do trubek v rámu (Trubky pro polohování rukověti na Obr. 46). Tuto polohu je třeba zajistit čepy mezi horními a dolními částmi rukověti viz kapitola 9.6.1. Konstrukce rukověti.



Obr. 70 Nastavení rukověti jako madlo pro manipulaci

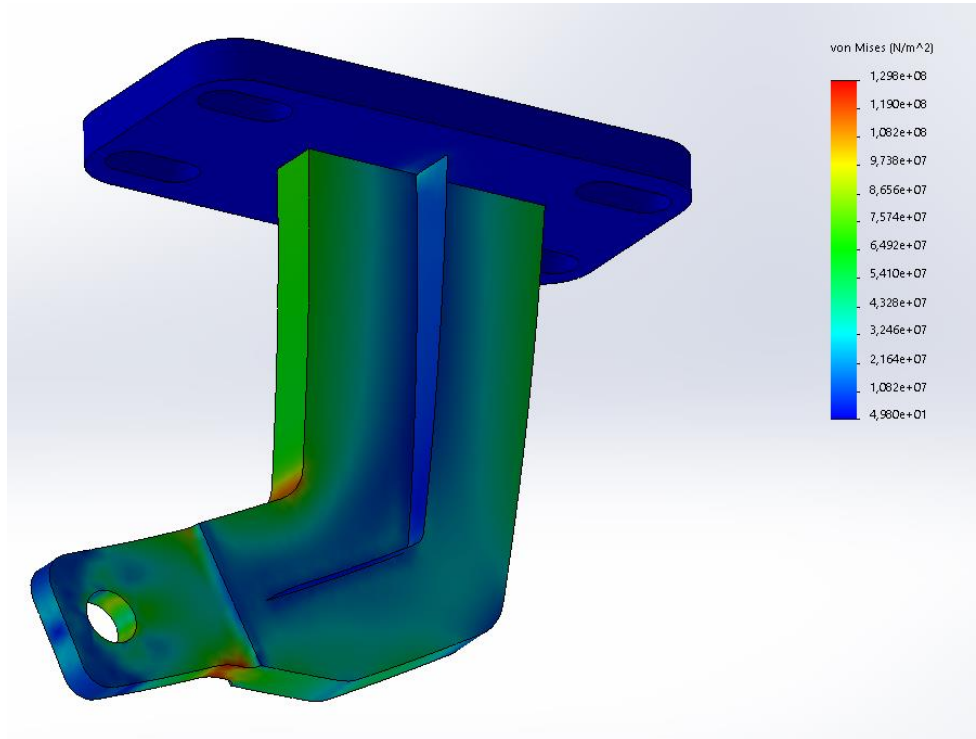
9.7. Úchyt lineárního pohonu

Úchyt lineárního pohonu je důležitým svařovaným dílem konstrukce měřícího celku pro fungování naklápění základny se zdviží, robotem a měřící hlaví. Je svařen z přípojovací desky, úchytu a na každé straně z jednoho žebra (Obr. 71). Materiál svařovaného dílu je nerez ocel ČSN 17 240.



Obr. 71 Úchyt lineárního pohonu

Jedná se o svařovaný díl, který je relativně hodně namáhaný. Proto jsem na tento díl provedl MKP analýzu v programu Solidworks viz Obr. 72. Z této analýzy vychází, že úchyt splňuje pevnostní požadavky s dostatečnou bezpečností. Maximální napětí v úchytu je cca 130 MPa, což je výrazně pod mezí kluzu.



Obr. 72 MKP analýza úchytu lineárního pohonu

9.8. Naklápění

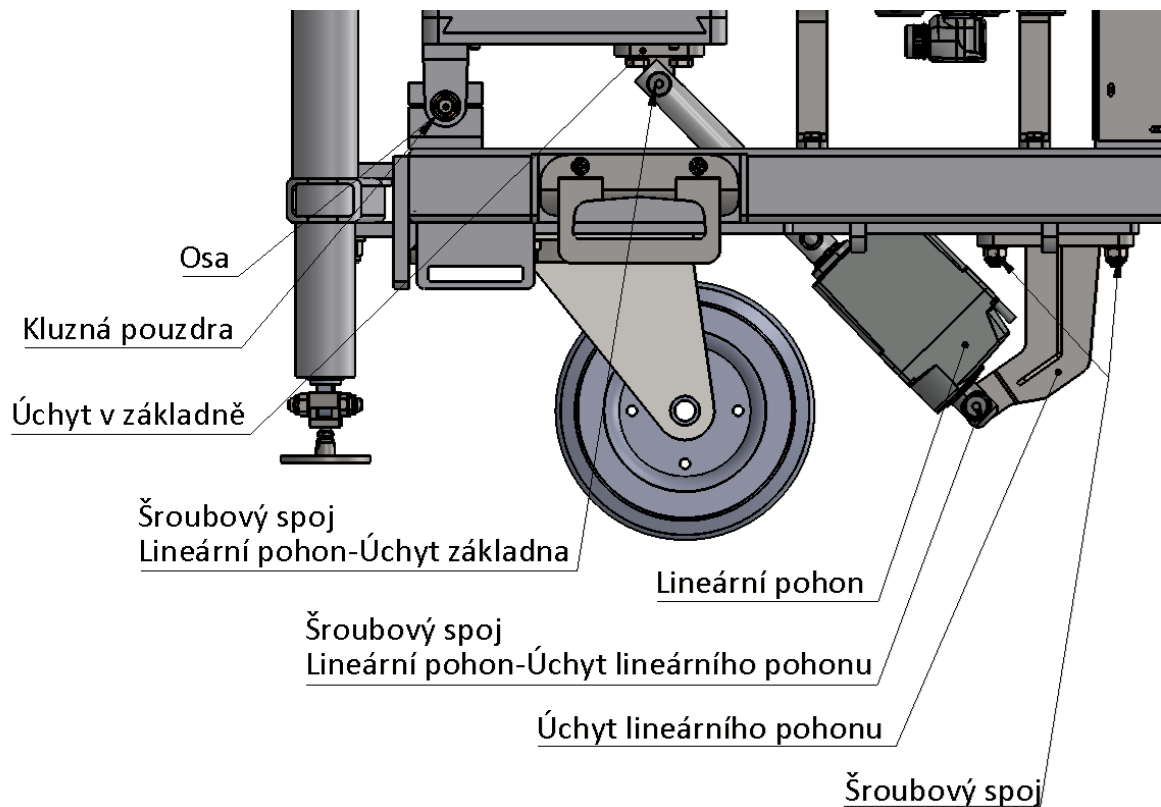
Naklápění základny se zdviží, robotem a měřicí hlavicí je část měřícího celku, která rozšiřuje rozsah měření. Tato konstrukční část navazuje na předchozí kapitoly, a to zejména na svařovaný rám a úchyt pro lineární pohon.

9.8.1. Lineární pohon

Lineární pohon je nezbytnou součástí pro fungování naklápění. S ohledem na použití zdviže od firmy Linak je vhodné, aby byl od této firmy i lineární pohon. Lineární pohon by měl být kvůli použité baterii napájen 24 V DC. Lineární pohon je umístěn pod základnu zdviže (případně robotu), to omezuje jeho velikost. Vhodnými typy lineárních pohonů od firmy Linak jsou s ohledem na malý zástavbový rozměr LA12, LA14 a LA23. Lineární pohony LA12 a LA14 dosahují maximální tažné / tlačné síly 750 N, což je pro naše využití nedostatečné. Model LA23 od firmy Linak dosahuje maximální tažné / tlačné síly 2500 N, což by mělo být pro naše využití dostačující. S ohledem na omezenou nabídku je tento model jediným vhodným kandidátem. Zvolený lineární pohon má třídu krytí IPX6 a pracovní teplotu -30 °C až +50 °C, což umožňuje jeho použití i ve venkovních podmínkách. Pro zdvih 180 mm je zástavbová délka lineárního pohonu LA23 s bezpečnostní maticí pro tah 302 mm.

9.8.2. Konstrukční řešení naklápění

Hnacím motorem naklápění je již vybraný lineární pohon Linak LA23. Lineární pohon je svou pevnou částí upevněn k úchytu lineárního pohonu pomocí lícovaného šroubu a samojistné matice. Tento úchyt je k rámu přichycen pomocí čtyř šroubových spojů (šroub – samojistná matice). Vysouvací část lineárního pohonu je uchycena k úchytu na spodní straně svařované základny pomocí lícovaného šroubu a samojistné matice. Osa otáčení je pevně uchycená k rámu. Ve svařované základně jsou nalisovaná kluzná pouzdra, která zlepšují chod celého naklápění. Konstrukční řešení naklápění je zobrazeno na Obr. 73.



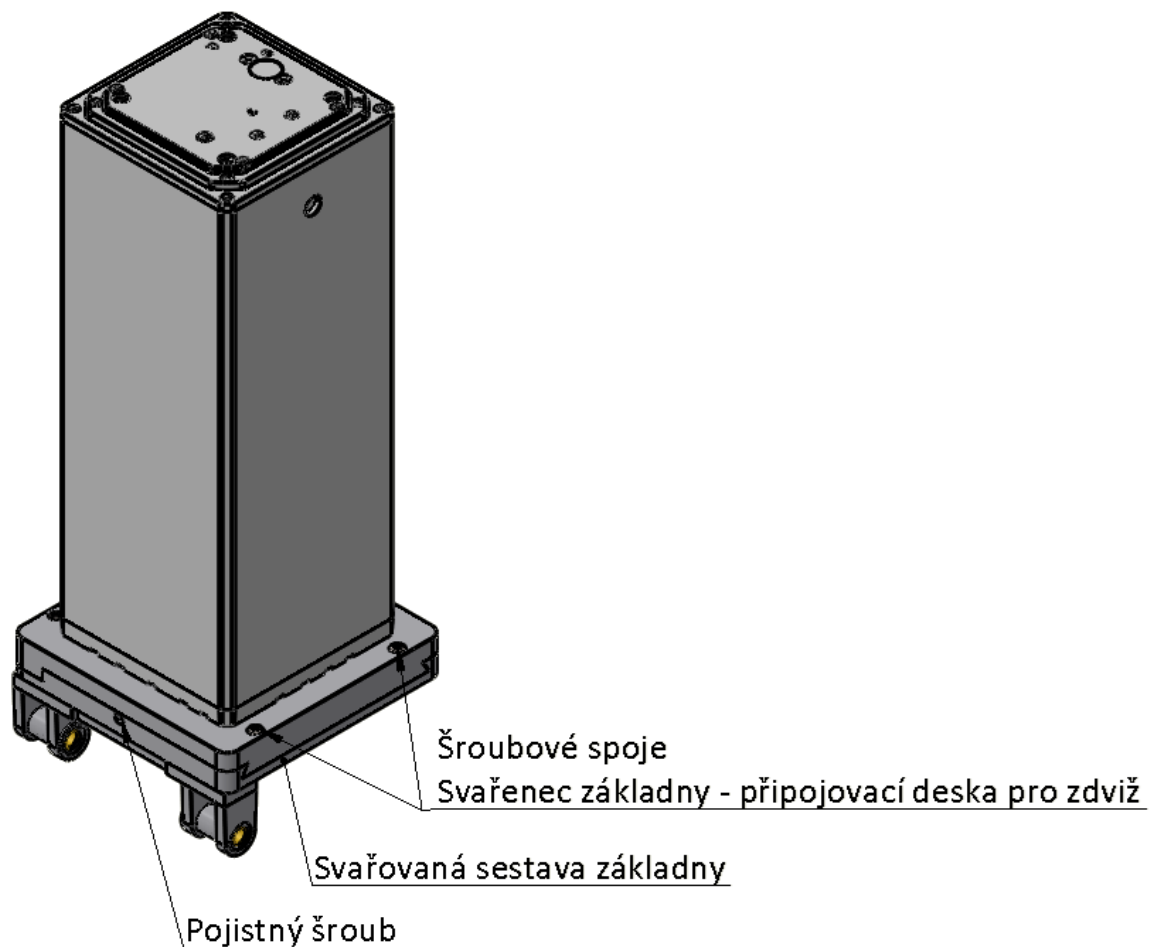
Obr. 73 Schéma konstrukčního řešení naklápění

9.9. Spoj zdviž - naklápění

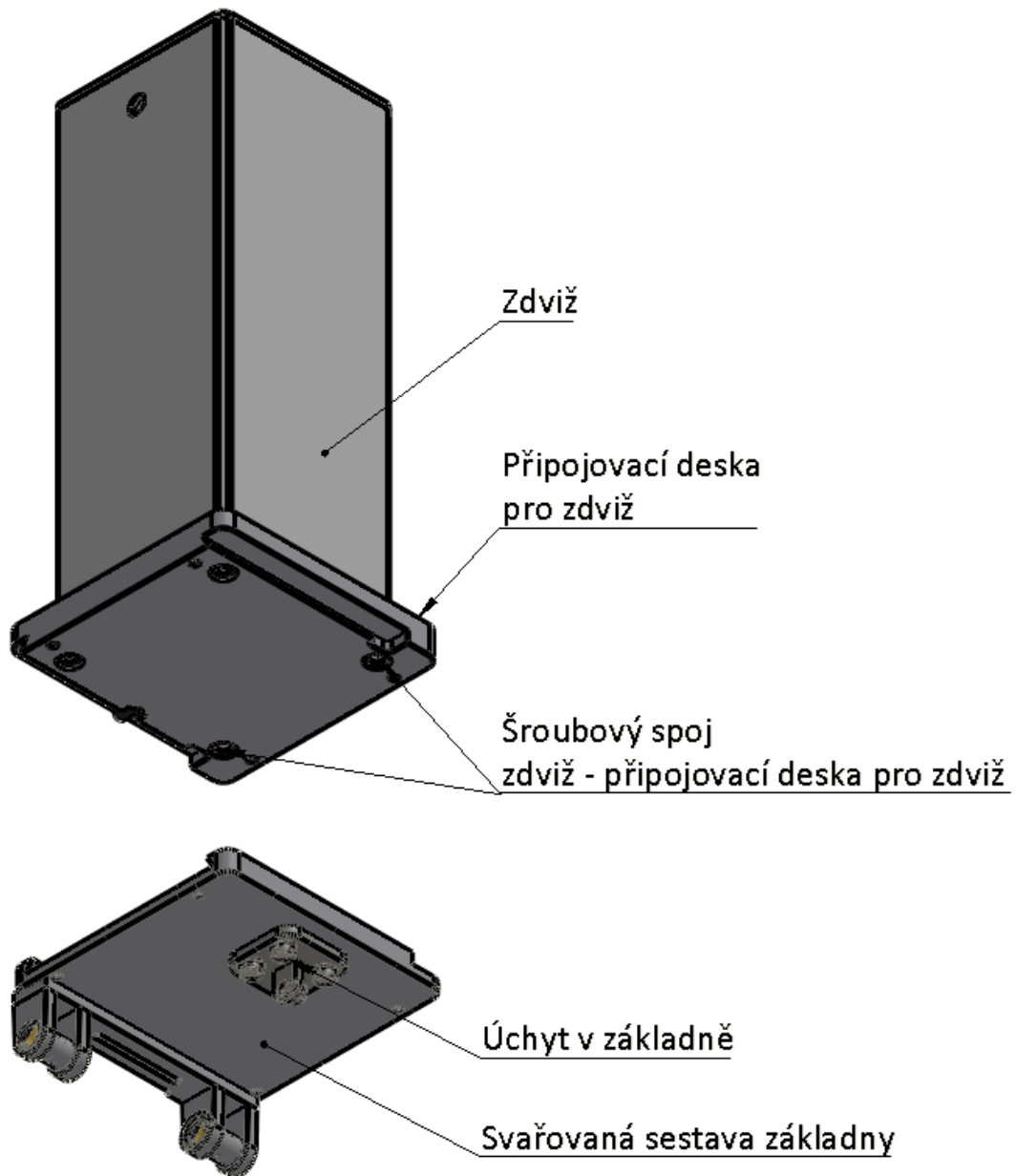
V předchozí kapitole 9.8. je rozebráno řešení naklápění základny se zdviží, robotem a měřicí hlavou. Na svařované sestavě základny, ke kterému je přišroubován úchyt pro lineární pohon, je nutné uchytnout zdviž LC3 od firmy Linak, případně přímo robot. Z toho plyne, že spoj zdviž - naklápění a robot - zdviž musí být kompatibilní. Celý spoj musí být snadno rozebíratelný, ale také dostatečně tuhý, aby nedocházelo ke vzniku chvění.

9.9.1. Technické provedení spoje zdviž - naklápění

Zdviž je s naklápěním spojena pomocí tvarového spoje mezi dvěma deskami. Zdviž je přišroubována k desce. Zástavbové rozměry zdviže na její spodní straně jsou dány čtyřmi závitovými dírami M10 v čtvercové rozteči $146 \pm 0,5$. V připojovací desce pro zdviž je vyfrézovaný tvar pro spoj. Druhá část tvarového spoje je vyfrézována ve svařované sestavě základny. Celý spoj je pojištěn čtyřmi šroubovými spoji (šroub – vnitřní závit ve svařované sestavě základny). Eliminace vůle tvarového spoje je zajištěna pojistným šroubem. Materiál svařované sestavy a desky je opět slitina hliníku EN AW – 6082 - T6. Spoj zdviž – naklápění je zobrazena na Obr. 74 a Obr. 75.



Obr. 74 Spoj zdviž - naklápění



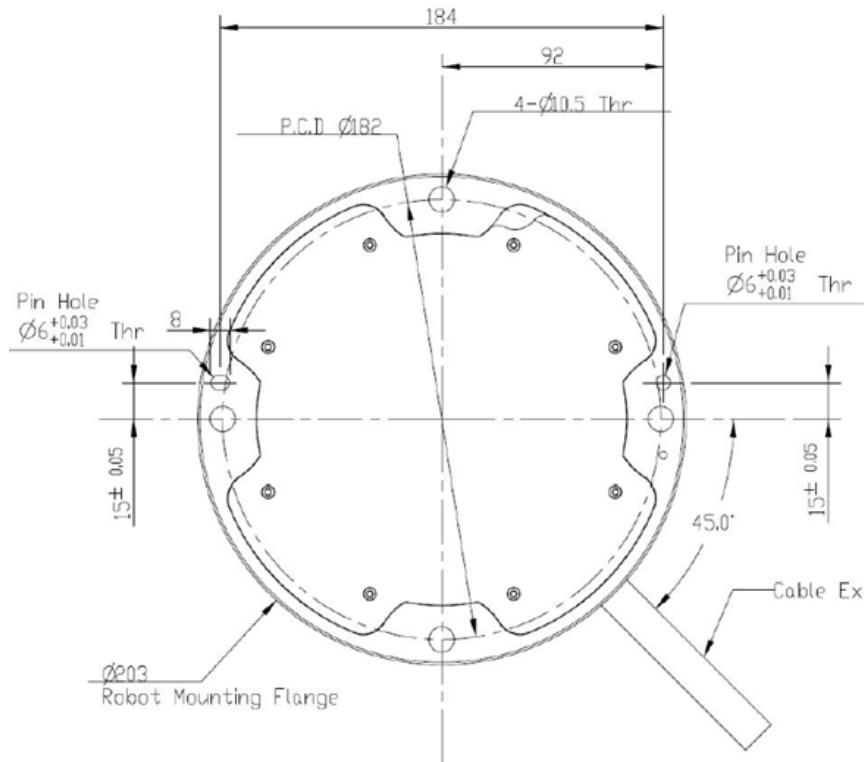
Obr. 75 Spoj zdviž - naklápění

9.10. Spoj robot - zdviž

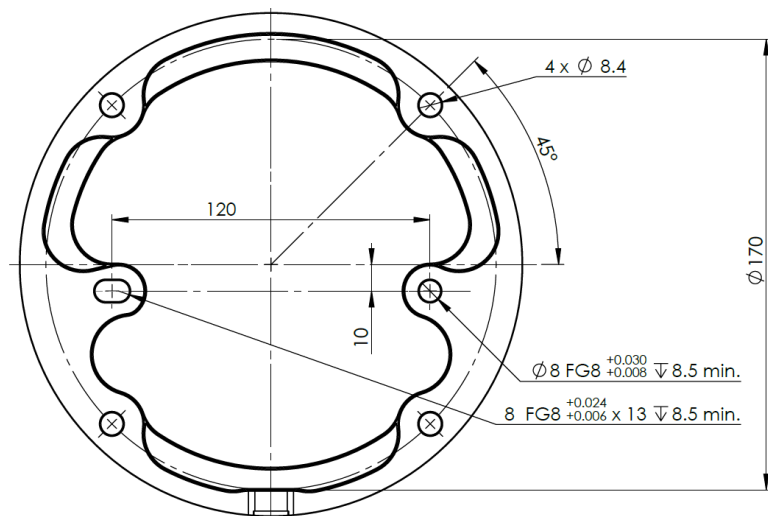
Zdvíž LC3 od firmy Linak a robot Universal robots UR 16E, případně OMRON TECHMAN TM14X, jsou opět spojeny pomocí tvarového spoje mezi dvěma deskami. Jak bylo uvedeno v předešlé kapitole (9.9. Spoj zdviž - naklápění), spoj zdviž - naklápění a spoj robot - zdviž jsou kompatibilní a to z důvodu možného vynechání zdviže v sestavě měřícího celku.

9.10.1. Připojovací rozměry robotů

Připojovací rozměry robotů jsou rozdílné, jsou dány výrobcem. Připojovací rozměry vybraných robotů jsou okótovány na Obr. 76 a Obr. 77.



Obr. 76 Připojovací rozměry robotu OMRON TECHMAN TM14X [11]



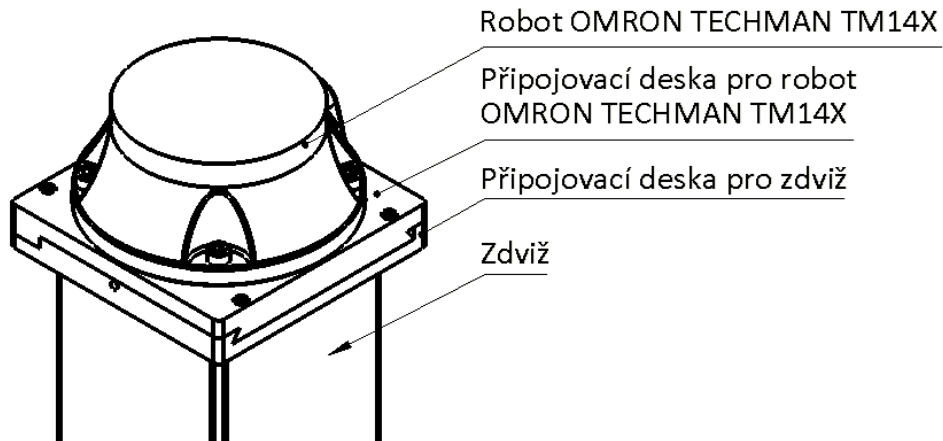
Obr. 77 Připojovací rozměry robotu Universal robots UR 16E [10]

9.10.2. Připojovací rozměry zdviže

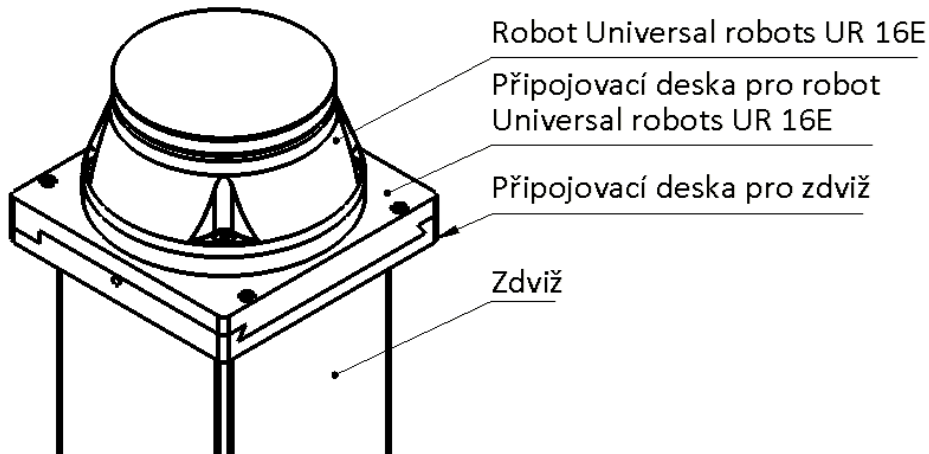
Zástavbové rozměry zdviže na její vrchní straně jsou dány čtyřmi závitovými dírami M10 v čtvercové rozteči $101 \pm 0,5$. [21]

9.10.3. Technické provedení spoje robot - zdviž

V předchozích kapitolách byly předvybrány dva roboty. Není však známo, který bude pro měřící celek použit. Z důvodu průniku připojovacích děr robotů není možné optimálně vyrobit jednu připojovací desku pro oba roboty. Je tak nutné konstrukčně vytvořit dvě konfigurace připojovacích desek pro roboty. Na Obr. 78 je zobrazen spoj robotu OMRON TECHMAN TM14X se zdviž. Na Obr. 79 je zobrazen spoj robotu Universal robots UR 16E se zdviž.

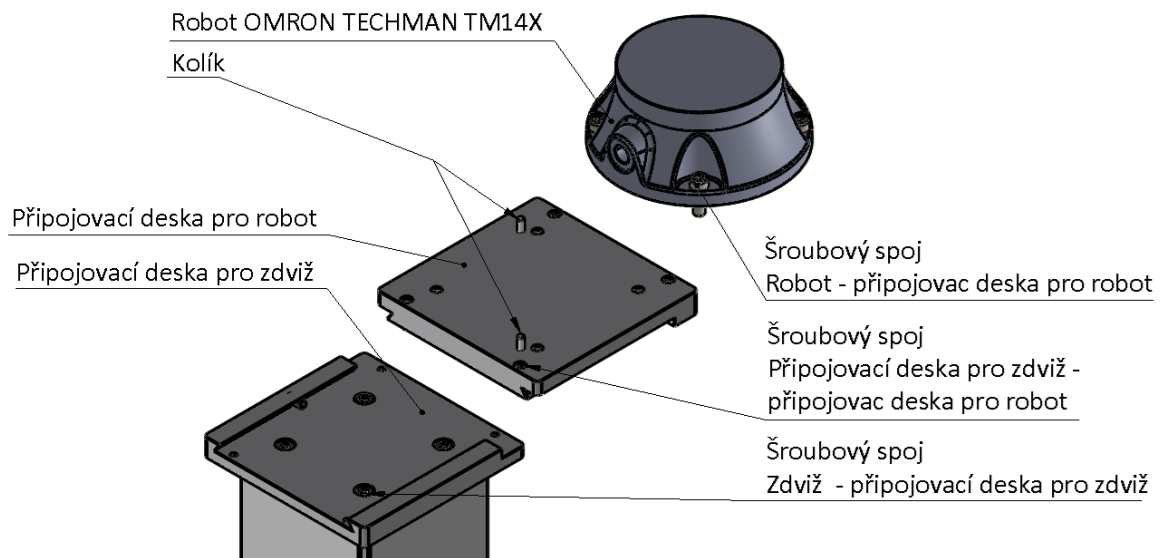


Obr. 78 Spoj robot OMRON TECHMAN TM14X – zdviž

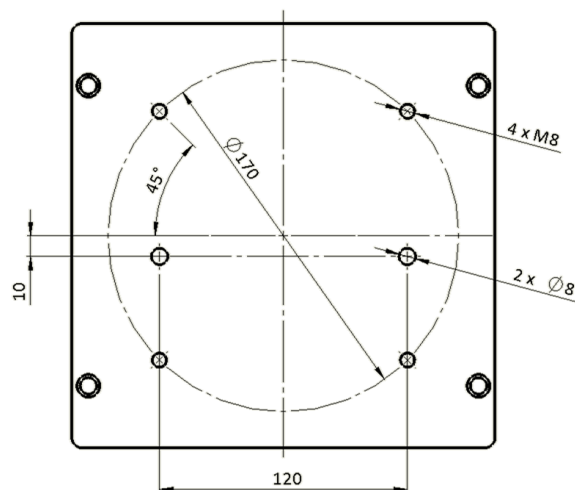


Obr. 79 Spoj robot Universal robots UR 16E - zdviž

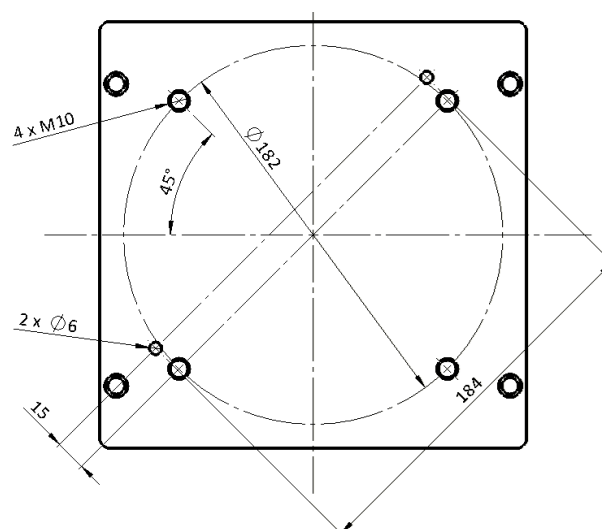
Zdviž je s robotem spojena pomocí tvarového spoje mezi dvěma deskami (deska dle zvolného robotu) – viz Obr. 80. Zdviž je přišroubována k desce. V připojovací desce pro zdviž je vyfrézovaný tvar pro spoj. Druhá část tvarového spoje je vyfrézována v připojovací desce pro robot Universal robots UR 16E (Obr. 81) nebo pro robot OMRON TECHMAN TM14X (Obr. 82). Připojovací deska pro robot je připojena k robotu pomocí čtyř šroubových spojů (šroub – vnitřní závit v desce pro robot). Tvarový spoj mezi dvěma deskami je pojištěn čtyřmi šroubovými spoji (šroub – vnitřní závit v desce pro zdviž). Eliminace vůle tvarového spoje je zajištěna pojistným šroubem. Materiál desek je slitina hliníku EN AW – 6082 - T6.



Obr. 80 Schéma spoje robot - zdviž



Obr. 81 Připojovací deska pro robot Universal robots UR 16E



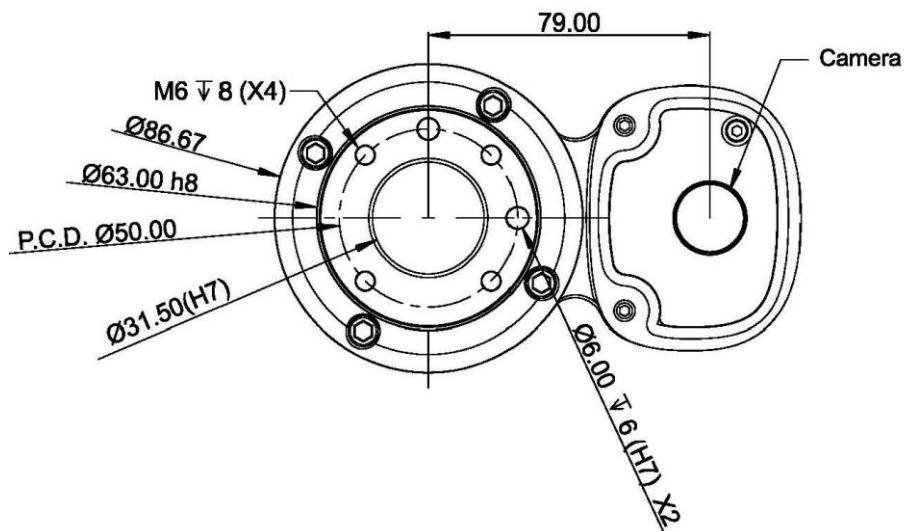
Obr. 82 Připojovací deska pro robot OMRON TECHMAN TM14X

9.11. Spoj měřicí jednotka - robot

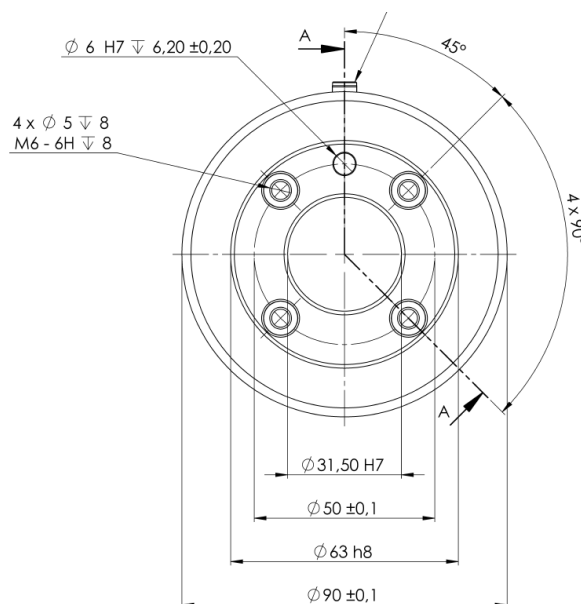
Tento spoj by měl být co nejmenší a nejlehčí, aby nedocházelo ke zbytečnému zatěžování robotu. Měřicí jednotka by měla být co nejbližší k připojovací ploše robotu.

9.11.1. Připojovací rozměry měřicí jednotka - robot

Měřicí jednotka a její připojovací rozměry jsou pevně dané (konstrukce doc. Ing. Jan Hošek, Ph.D.). Připojovací rozměr měřicí jednotky vychází z dvanácti závitových děr M5 na roztečné kružnici o průměru 80 mm. Připojovací rozměry robotů jsou pevně dané výrobcem a jsou zobrazeny na Obr. 83 (robot OMRON TECHMAN TM14X) a Obr. 84 (robot Universal robots UR 16E). Připojovací rozměry obou robotů jsou stejné. Robot OMRON TECHMAN TM 14X má oproti robotu Universal robots UR 16E o jednu díru pro kolík navíc.



Obr. 83 Připojovací rozměry hlavy robotu OMRON TECHMAN TM14X [11]



Obr. 84 Připojovací rozměry hlavy robotu Universal robots UR 16E [10]

9.11.2. Technické provedení spojení měřicí jednotky s robotem

Robot je s měřicí jednotkou spojen pomocí tvarového spoje mezi dvěma přírubami (Obr. 85). Robot je přišroubován pomocí čtyř šroubových spojů a jednoho či dvou kolíků (dle typu použitého robotu) k připojovací přírubě robotu. V této přírubě je vyfrézován tvar pro spoj. Druhá část tvarového spoje je vyfrézována v připojovací přírubě pro měřicí jednotku. Připojovací příruba pro měřicí jednotku je uchycena k měřicí jednotce pomocí dvanácti šroubových spojů (šroub – vnitřní závit v měřicí jednotce). Eliminace vůle a pojištění tvarového spoje je zajištěno pojistným šroubem. Materiál pro obě příruby je slitina hliníku EN AW – 6082 - T6.

Robot Universal robots UR 16E /
Robot OMRON TECHMAN TM14X

Připojovací příruba robotu

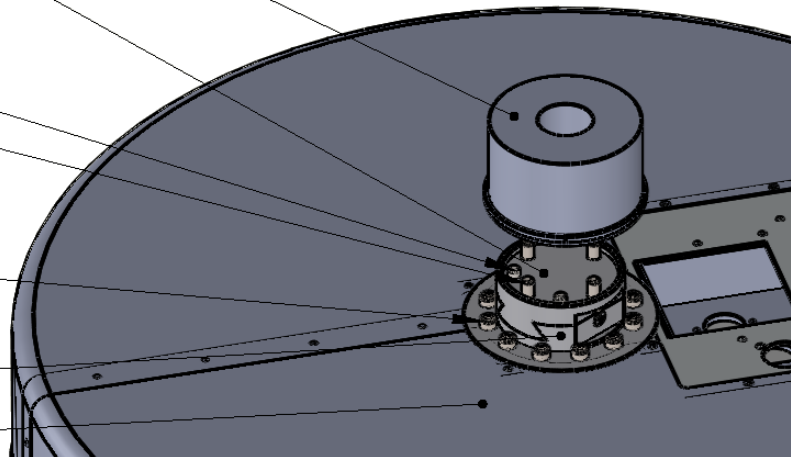
Kolík

Šroubový spoj
robot - příruba pro robot

Šroubový spoj
měřicí jednotka -
příruba pro měřicí jednotku

Připojovací příruba
měřicí jednotky

Měřicí jednotka



Obr. 85 Schéma spoje měřicí jednotka - robot

10. Závěr

Práce obsahuje konstrukční návrh mobilní platformy pro robotické polohování měřicího přístroje. V první části byla vypracována rešerše na průmyslové roboty. Na stručný seznam předvybraných robotů navázala analýza výběru robotu pro polohování s měřicím přístrojem. Z této analýzy vyšli dva vhodní kandidáti - robot Universal robots UR 16E a OMRON TECHMAN TM14X. U těchto robotů byla následně vypracována analýza dostupnosti a řešení bezkolizní manipulace. Před samotným řešením konstrukce měřicího celku byl proveden výběr důležitých prvků, jako jsou zdviž a baterie. V konstrukční části byl řešen celkový návrh pojízdné platformy. Byl detailněji popsán koncept jednotlivých konstrukčních uzlů. V návrhu bylo uvažováno s možnými úpravami dle výběru robotu Universal robots UR 16E či robotu OMRON TECHMAN TM14X. Výstupem návrhu pojízdné platformy je 3D model, výkres sestavy a tato textová část.

11. Seznam kupovaných dílů na konstrukční části vozíku

V této kapitole je uveden výpis nevyráběných dílů pro konstrukci měřicího celku. Kapitola neobsahuje elektronické součásti, obsahuje pouze díly nutné ke zhotovení konstrukce.

11.1. Kupované díly pro skládanou baterii

Není zde uvedený spojovací materiál pro uchycení elektronických prvků v boxu. Je zde uveden pouze spojovací materiál pro uchycení krytů.

Šroubovací madla GN 427-12-100-SR 2 ks <https://www.elesa-ganter.cz/cs/cze/produkty/madla--1002/Madla--Madla--GN427#sortby=0&facetvalue=-700000000000002552494848>

Hliníková větrací mřížka 200 x 200 mm 3ks <https://www.palmat.cz/vetraci-mrizka-hlinik-200x200-mm-mvm200s-al/>

Šrouby pro uchycení madel 4 ks – Šroub se šestihrannou hlavou ISO 4017 Ocel Pozinkované 8.8 M5 x10 (spoj pojistit lepidlem „loctite“)

Šrouby pro uchycení krytů 60 ks – Šroub se šestihrannou hlavou ISO 4017 Ocel Pozinkované 8.8 M3 x 8

Podložka plochá 60 ks – Podložka plochá DIN 125A M3 / 3,2

Podložka pružná 60 ks – Podložka pružná DIN 127B M3 / 3,1 pozink

Nýty pro uchycení hliníkové mřížky 8 ks – Nýt klempířský pozinkovaný 3 x 8

11.2. Kupované díly pro spoj robotu s měřicí hlavou

Válcový kolík 2 ks – Kolík válcový kalený DIN 6325 6x10

Šroub válcová hlava 12 ks – Šroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem ISO 4762 Ocel Pozinkované 8.8 M5 x 10

Šroub válcová hlava 4 ks – Šroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem ISO 4762 Ocel Pozinkované 8.8 M6 x 12

Odpružený šroub 1x – Odpružený šroub GN 615-KN M8 - <https://www.elesa-ganter.cz/cs/cze/Zaji%C5%A1%C5%A5ovaci-prvky--Odpru%C5%BEene-%C5%A1rouby--GN615-KKS>

11.3. Kupované díly pro spoj robotu se zdviží

11.3.1. Pro spoj s robotem Universal robots UR 16E

Odpružený šroub 1x – Odpružený šroub GN 615-KN M8 - <https://www.elesa-ganter.cz/cs/cze/Zaji%C5%A1%C5%A5ovaci-prvky--Odpru%C5%BEene-%C5%A1rouby--GN615-KKS>

Šroub válcová hlava 4 ks – Šroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem ISO 4762 Ocel Pozinkované 8.8 M8 x 30

Válcový kolík 2 ks – Kolík válcový kalený DIN 6325 8x16

Šroub válcová hlava 4 ks – Šroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem ISO 4762 Ocel Pozinkované 8.8 M6 x 25

Šroub válcová hlava 4 ks – Šroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem ISO 7984 Ocel Pozinkované 8.8 M10 x 25

11.3.2. Pro spoj s robotem OMRON TECHMAN TM14X

Odpružený šroub 1x – Odpružený šroub GN 615-KN M8 - <https://www.elesa-ganter.cz/cs/cze/Zaji%C5%A1%C5%A5ovaci-prvky--Odpru%C5%BEene-%C5%A1rouby--GN615-KKS>
Šroub válcová hlava 4 ks – Šroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem ISO 4762 Ocel
Pozinkované 8.8 M10 x 30

Válcový kolík 2 ks – Kolík válcový kalený DIN 6325 6x16

Šroub válcová hlava 4 ks – Šroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem ISO 4762 Ocel
Pozinkované 8.8 M6 x 25

Šroub válcová hlava 4 ks – Šroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem ISO 7984 Ocel
Pozinkované 8.8 M10 x 25

11.4. Kupované díly pro spoj robotu s měřicí hlavou

Odpružený šroub 1x – Odpružený šroub GN 615-KN M8 (<https://www.elesa-ganter.cz/cs/cze/Zaji%C5%A1%C5%A5ovaci-prvky--Odpru%C5%BEene-%C5%A1rouby--GN615-KKS>)

Šroub válcová hlava 12 ks – Šroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem ISO 4762 Ocel
Pozinkované 8.8 M5 x 10

Šroub válcová hlava 4 ks – Šroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem ISO 4762 Ocel
Pozinkované 8.8 M6 x 12

Válcový kolík 2 ks – Kolík válcový kalený DIN 6325 6x10

11.5. Kupované díly pro spoj úchytu ke svařované sestavě základny

Šroub šestihranný 4 ks – Šroub se šestihrannou hlavou a závitem k hlavě ISO 4018 Ocel
Pozinkované 8.8 M8 x 16

Podložka plochá 4 ks – Podložka plochá DIN 125A M8 / 8,4

11.6. Kupované díly pro úchyt osy k rámu a kluzných ložisek k ose

Šroub válcová hlava 4 ks – Šroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem ISO 4762 Ocel
Pozinkované 8.8 M10 x 25

Kluzná ložiska 4 ks – A 12x16x10 B70 pouzdro kluzné, samomazné pórovité, spékaný bronz

11.7. Kupované díly pro úchyt lineárního pohonu LA 23

Matice samojistná 2 ks – Matice samojistná vysoká ISO 4070 Ocel Pozinkované 8.8 M8

Podložka plochá 2 ks – Podložka plochá DIN 125A M8 / 8,4

Lícovaný šroub 2 ks – Lícovaný šroub ISO 7379 Ocel Pozinkované 8.8 M8 – 25

11.8. Kupované díly pro přední ustavovací nohy a jejich uchycení

Pružinový píst 2 ks – GN 607-6-A-ST (<https://www.elesa-ganter.cz/cs/cze/Zaji%C5%A1%C5%A5ovaci-prvky--Pru%C5%BEinove-pistky--GN607>)

Závlačka 2 ks - ZÁVLAČKA JEDNODUCHÁ DIN 11024 3.2 , NEREZ A2

Šroub s kloubem 2 ks – (<https://www.halder.com/cz/Produkty/Normovane-dily/Strojni-a-zajistovaci-prvky/Stavitelne-nohy-Srouby-s-kloubem/Srouby-s-kloubem>)

Šroub válcová hlava 4 ks – Šroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem ISO 4762 Ocel Pozinkované 8.8 M4 x 8

Šroub šestihranný 2 ks – Šroub se šestihrannou hlavou a závitem k hlavě ISO 4018 Ocel Pozinkované 8.8 M8 x 35

Podložka plochá 2 ks – Podložka plochá DIN 125A M8 / 8,4

Podložka plochá 2 ks – Podložka plochá DIN 125A M12 / 12,4

Matice samojistná 2 ks – Matice samojistná vysoká ISO 4070 Ocel Pozinkované 8.8 M8

Matice samojistná 2 ks – Matice samojistná vysoká ISO 4070 Ocel Pozinkované 8.8 M12

11.9. Kupované díly pro přední kola a jejich uchycení

Kolo 2 ks – (<https://www.zabi.cz/pneumaticke-kolo-175-mm-otocna-vidlice-1752m>)

Šroub šestihranný 8 ks – Šroub se šestihrannou hlavou a závitem k hlavě ISO 4018 Ocel Pozinkované 8.8 M10 x 30

Matice samojistná 8 ks – Matice samojistná vysoká ISO 4070 Ocel Pozinkované 8.8 M10

Podložka plochá 2 ks – Podložka plochá DIN 125A M10 / 10,4

11.10. Kupované díly pro madla v rámu

Madla 3x – (<https://www.elesa-ganter.cz/cs/cze/Madla--Madla-sklopna--MPE>)

Šroub se zápusťnou hlavou 6 x - Šroub se zápusťnou hlavou s křížovou drážkou ISO 7046-1 Ocel Bez PU 8.8 M6 x 35

11.11. Kupované díly pro úchyt lineárního pohonu

Podložka plochá 4 ks – Podložka plochá DIN 125A M12 / 12,4

Šroub šestihranný 4 ks – Šroub se šestihrannou hlavou a závitem k hlavě ISO 4018 Ocel Pozinkované 8.8 M8 x 30

Matice samojistná 4 ks – Matice samojistná vysoká ISO 4070 Ocel Pozinkované 8.8 M8

11.12. Kupované díly pro uchycení řídicí jednotky robotu

Podložka plochá 4 ks – Podložka plochá DIN 125A M6 / 6,4

Šroub šestihranný 4 ks – Šroub se šestihrannou hlavou a závitem k hlavě ISO 4018 Ocel Pozinkované 8.8 M6 x 20

11.13. Kupované díly pro uchycení baterie

Podložka plochá 4 ks – Podložka plochá DIN 125A M8 / 8,4

Šroub šestihranný 4 ks – Šroub se šestihrannou hlavou a závitem k hlavě ISO 4018 Ocel Pozinkované 8.8 M8 x 20

11.14. Kupované díly pro uchycení bezpečnostního tlačítka

Podložka plochá 4 ks – Podložka plochá DIN 125A M4 / 4,4

Šroub šestihranný 4 ks – Šroub se šestihrannou hlavou a závitem k hlavě ISO 4017 Ocel Pozinkované 8.8 M4 x 16

11.15. Kupované díly pro hnací část

Ložisková jednotka 1ks - SKF FY 12 TF Ložisková jednotka
Těsné pero 1 ks – Těsné pero 5 x 5 x 20 DIN6885A
Těsné pero 1 ks – Těsné pero 5 x 5 x 45 DIN6885A
KM matice 1 ks – Matice válcová se zářezy KM 2 M15x1
Podložka MB 1 ks – Podložka MB 2
Podložka plochá 4 ks – Podložka plochá DIN 125A M10 / 10,4
Podložka plochá 6 ks – Podložka plochá DIN 125A M8 / 8,4
Podložka plochá 4 ks – Podložka plochá DIN 125A M6 / 6,4
Šroub šestihranný 4 ks – Šroub se šestihrannou hlavou a závitem k hlavě ISO 4018 Ocel
Pozinkované 8.8 M10 x 35
Šroub šestihranný 4 ks – Šroub se šestihrannou hlavou a závitem k hlavě ISO 4018 Ocel
Pozinkované 8.8 M8 x 70
Šroub šestihranný 2 ks – Šroub se šestihrannou hlavou a závitem k hlavě ISO 4018 Ocel
Pozinkované 8.8 M8 x 30
Šroub šestihranný 4 ks – Šroub se šestihrannou hlavou a závitem k hlavě ISO 4018 Ocel
Pozinkované 8.8 M6 x 30
Šroub válcová hlava 2 ks – Šroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem ISO 4762 Ocel
Pozinkované 8.8 M6 x 45
Šroub válcová hlava 2 ks – Šroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem ISO 4762 Ocel
Pozinkované 8.8 M6 x 35
Matice samojistná 4 ks – Matice samojistná vysoká ISO 4070 Ocel Pozinkované 8.8 M10
Matice samojistná 4 ks – Matice samojistná vysoká ISO 4070 Ocel Pozinkované 8.8 M8
Matice samojistná 4 ks – Matice samojistná vysoká ISO 4070 Ocel Pozinkované 8.8 M6

11.16. Kupované díly pro uchycení spodních krytů

Podložka plochá 10 ks – Podložka plochá DIN 125A M6 / 6,4
Šroub válcová hlava 10 ks – Šroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem ISO 4762 Ocel
Pozinkované 8.8 M6 x 20

11.17. Kupované díly pro zadní nápravu

Těsné pero 2 ks – Těsné pero 5 x 5 x 45 DIN6885A
Těsné pero 4 ks – Těsné pero 6 x 6 x 25 DIN6885A
Pojistný kroužek 2 ks – Pojistný kroužek na hřídel DIN 471 20 x 1,75
Ložisková jednotka 2ks – SKF FY 30 FM Ložisková jednotka
Kolo 2 ks – (<https://www.zabi.cz/pneumaticke-kolo-175-mm-otocna-vidlice-1752m>)
Řetěz – Řetěz 08B L=850 mm
Podložka plochá 12 ks – Podložka plochá DIN 125A M5 / 5,4
Podložka plochá 16 ks – Podložka plochá DIN 125A M6 / 6,4
Podložka plochá 2 ks – Podložka plochá DIN 9021 8,4
Podložka plochá 12 ks – Podložka plochá DIN 125A M10 / 10,4
Matice samojistná 4 ks – Matice samojistná vysoká ISO 4070 Ocel Pozinkované 8.8 M5
Matice samojistná 12 ks – Matice samojistná vysoká ISO 4070 Ocel Pozinkované 8.8 M10
Matice samojistná 2 ks – Matice samojistná vysoká ISO 4070 Ocel Pozinkované 8.8 M12
Šroub válcová hlava 8 ks – Šroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem ISO 4762 Ocel
Pozinkované 8.8 M5 x 10

Šroub válcová hlava 4 ks – Šroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem ISO 4762 Ocel Pozinkované 8.8 M5 x 25

Šroub šestihranný 16 ks – Šroub se šestihrannou hlavou a závitem k hlavě ISO 4018 Ocel Pozinkované 8.8 M6 x 12

Šroub šestihranný 8 ks – Šroub se šestihrannou hlavou a závitem k hlavě ISO 4018 Ocel Pozinkované 8.8 M10 x 35

Šroub šestihranný 4 ks – Šroub se šestihrannou hlavou a závitem k hlavě ISO 4018 Ocel Pozinkované 8.8 M10 x 25

11.18. Kupované díly pro rukověti

Pružinový píst 2 ks – GN 607-6-A-ST

(<https://www.elesa-ganter.cz/cs/cze/Zaji%C5%A1%C5%A5ovaci-prvky--Pru%C5%BEinove-pistky--GN607>)

Šroub s rukověti 2 ks – šroub M8 x 20 (<https://www.elesa-ganter.cz/cs/cze/Utahovaci-kolecka--Rucni-kolecka-s-plnym-tvarem--VTT-p>)

Šroub šestihranný 8 ks – Šroub se šestihrannou hlavou a závitem k hlavě ISO 4018 Ocel Pozinkované 8.8 M6 x 25

Podložka plochá 8ks – Podložka plochá DIN 125A M6 / 6,4

11.19. Kupované díly pro zadní ustavení

Pružinový píst 1 ks – GN 607-6-A-ST

(<https://www.elesa-ganter.cz/cs/cze/Zaji%C5%A1%C5%A5ovaci-prvky--Pru%C5%BEinove-pistky--GN607>)

Závlačka 1 ks - ZÁVLAČKA JEDNODUCHÁ DIN 11024 3.2 , NEREZ A2

Šrouby s kloubem 1 ks – (<https://www.halder.com/cz/Produkty/Normovane-dily/Strojni-a-zajistovaci-prvky/Stavitelne-nohy-Srouby-s-kloubem/Srouby-s-kloubem>)

Šroub šestihranný 4 ks – Šroub se šestihrannou hlavou a závitem k hlavě ISO 4018 Ocel Pozinkované 8.8 M8 x 80

Šroub šestihranný 4 ks – Šroub se šestihrannou hlavou a závitem k hlavě ISO 4018 Ocel Pozinkované 8.8 M8 x 30

Podložka plochá 5 ks – Podložka plochá DIN 125A M8 / 8,4

Matice samojistná 5 ks – Matice samojistná vysoká ISO 4070 Ocel Pozinkované 8.8 M8

11.20. Nýtovací matice pro rám

Katalog: <https://www.sbcomp.cz/attachment/files/katalogovy-list-al-zh-hlinikove-matice-se-zapustenou-hlavou-90.pdf>

Nýtovací matice 4ks – Nýtovací matice M4

Nýtovací matice 32ks – Nýtovací matice M6

Nýtovací matice 2ks – Nýtovací matice M8

Nýtovací matice 2ks – Nýtovací matice M10

12. Seznam použité literatury a zdrojů

[1] Mars Exploration Rovers - NASA Mars. NASA's Mars Exploration Program [online]. Dostupné z: <https://mars.nasa.gov/mer/>

[2] National Center for Biotechnology Information [online]. Dostupné z: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/core/lw/2.0/html/tileshop_pmc/tileshop_pmc_inline.html?title=Click%20on%20image%20to%20zoom&p=PMC3&id=5375714_sensors-17-00423-g004.jpg

[3] http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/PRM/Text/Skripta_PRaM.pdf

[4] Druhy průmyslových robotů. FactoryAutomation.cz | Časopis o automatizaci a robotice [online]. Copyright © [cit. 07.03.2020]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/prumyslove-roboty-jake-jsou-jejich-druhy/>

[5] Spájkovací robot 250x250 - 3 osi. ESD shop [online]. Copyright © Copyright 2018 [cit. 08.03.2020]. Dostupné z: <https://www.esdshop.sk/catalog/product/2149-Spajkovaci-robot-250x250-3-osi/>

[5] 06 Základy Priemyselnej robotiky- SCARA roboty - DailyAutomation. Priemyselná automatizácia - on-line magazín www.DailyAutomation.sk [online]. Copyright © Copyright 2013 [cit. 08.03.2020]. Dostupné z: <https://www.dailyautomation.sk/scara-roboty/>

[6] AUBO i5 | Aubo. Neúnavný parťák do výroby | Aubo [online]. Copyright © 2020 Kinalisoft s.r.o. [cit. 08.03.2020]. Dostupné z: <https://www.aubo.cz/produkty/aubo-i5/>

[7] Kloubové roboty Comau | Regulační pohony - Berger Positec. Úvod | Regulační pohony - Berger Positec [online]. Dostupné z: <https://www.regulacni-pohony.cz/rubrika/kloubove-roboty/>

[8] Barron's - Financial Investment News - Stock Investing News - Investment News [online]. Copyright ©2020 Dow Jones [cit. 08.03.2020]. Dostupné z: <https://www.barrons.com/articles/rise-of-the-robot-stocks-1497675257>

[9] FANUC | The Factory Automation Company - Fanuc. Object moved [online]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs>

[10] Kolaborativní robotická ramena pro průmyslové použití | Kolaborativní roboti od společnosti Universal Robots. Collaborative robotic automation | Cobots from Universal Robots [online]. Copyright © Universal Robots 2020 [cit. 08.03.2020]. Dostupné z: <https://www.universal-robots.com/cs/>

[11] OMRON Industrial Automation. OMRON Industrial Automation [online]. Copyright © Copyright OMRON Corporation 2007 [cit. 08.03.2020]. Dostupné z: <http://www.ia.omron.com/>

[12] industrial intelligence 4.0_beyond automation | KUKA AG. industrial intelligence 4.0_beyond automation | KUKA AG [online]. Copyright © KUKA AG 2020 [cit. 11.03.2020]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/>

[13] FANUC | The Factory Automation Company - Fanuc. Object moved [online]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs>

[14] Mitsubishi Electric Factory Automation - Czech Republic. Mitsubishi Electric Factory Automation - Czech Republic [online]. Dostupné z: <https://cz3a.mitsubishielectric.com/fa/cs/>

- [15] Průmyslová automatizace v oblasti konektorů, robotiky a textilního strojírenství - Staubli. 301 Moved Permanently [online]. Dostupné z: <https://www.staubli.com/cs-cz/>
- [16] YETI 3000 LITHIUM | GoalZero. GoalZero [online]. Copyright © 2020 [cit. 25.06.2020]. Dostupné z: <https://www.goalzero.cz/produkty/power-packs/yeti-3000-lithium/>
- [17] Ecoprodukt.cz-Ekologické produkty, šetření energie. Ecoprodukt.cz-Ekologické produkty, šetření energie [online]. Copyright ©2011 [cit. 25.06.2020]. Dostupné z: <https://www.ecoprodukt.cz/>
- [18] VÝPOČET ŘETĚZOVÝCH PŘEVODŮ ČSN - PDF [online]. Copyright © DocPlayer.cz [cit. 29.07.2020]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/8527793-Vypocet-retezovych-prevodu-csn-01-4809.html>
- [19] Ložiskový komplet UCP - CNCShop.cz. CNCShop.cz [online]. Dostupné z: <http://www.cncshop.cz/loziskovy-komplet-ucp>
- [20] ZABI CZECH s.r.o - Pojezdová kola, kladky a posuvné brány. ZABI CZECH s.r.o - Pojezdová kola, kladky a posuvné brány [online]. Copyright © 2012 [cit. 29.07.2020]. Dostupné z: <https://www.zabi.cz/>
- [21] LINAK – systémy s technologií elektrických lineárních pohonů pro pohyb. LINAK – systémy s technologií elektrických lineárních pohonů pro pohyb [online]. Dostupné z: <https://www.linak.cz/>
- [22] X2 Technology | We lift you! | Lifting columns and linear slides to medical, ergonomical and industrial equipments. X2 Technology | We lift you! | Lifting columns and linear slides to medical, ergonomical and industrial equipments [online]. Dostupné z: <http://www.x2technology.se/en/>
- [23] Profil firmy - TROMA-MACH s.r.o.. Profil firmy - TROMA-MACH s.r.o. [online]. Copyright © [cit. 30.07.2020]. Dostupné z: <http://www.troma-mach.cz/>
- [24] PAN elektro | Požární odvětrání, dálkové ovládání oken. PAN elektro | Požární odvětrání, dálkové ovládání oken [online]. Dostupné z: <http://panelektro.cz/>

13. Seznam obrázků

Obr. 1 Mars rover [1]	1
Obr. 2 Měřicí jednotka s řídicí jednotkou [2].....	2
Obr. 3 Schéma měřicího celku	3
Obr. 4 Průmyslový robot	4
Obr. 5 Portálový robot [5]	6
Obr. 6 SCARA robot [6].....	6
Obr. 7 Kloubový robot [6].....	6
Obr. 8 Dual-arm robot [8].....	7
Obr. 9 Delta robot [9].....	7
Obr. 10 Universal robots UR16E	9
Obr. 11 OMRON TECHMAN TM14X	10
Obr. 12 KUKA LBR iiwa 14 R820.....	11
Obr. 13 FANUC CR-14iA/L.....	12
Obr. 14 Mitsubishi RV-20F.....	13
Obr. 15 Staubli TX2-90	14
Obr. 16 Rozsah robotu Universal robots UR 16E	19
Obr. 17 Díly robotu Universal robots UR 16E [10]	20
Obr. 18 Osy rotací robotu Universal robots UR 16E.....	20
Obr. 19 Zavedené úhly robotu Universal robots UR 16E.....	21
Obr. 20 Maximální úhel alfa a beta robotu Universal robots UR 16E	21
Obr. 21 Rozsah měření s robotem Universal robots UR 16E	22
Obr. 22 Krajní poloha měření s robotem Universal robots UR 16E.....	23
Obr. 23 Rozsah robotu OMRON TECHMAN TM14X	24
Obr. 24 Osy otáčení robotu OMRON TECHMAN TM14X.....	24
Obr. 25 Zavedené úhly robotu OMRON TECHMAN TM14X.....	25
Obr. 26 Maximální úhel alfa a beta robotu OMRON TECHMAN TM14X	25
Obr. 27 Rozsah měření s robotem OMRON TECHMAN TM14X	26
Obr. 28 Krajní poloha měření s robotem OMRON TECHMAN TM14X	27
Obr. 29 Baterie YETI 3000 LITHIUM	28
Obr. 30 Baterie Solarfam LiFeP04	29
Obr. 31 Nabíječka akumulátoru Victron Energy	29
Obr. 32 Sinusový měnič napětí CARCLEVER	30
Obr. 33 Měnič napětí Victron Energy.....	30
Obr. 34 Baterie z jednotlivých komponentů.....	31
Obr. 35 Konstrukce boxu baterie z jednotlivých komponentů	32
Obr. 36 Schéma zatížení měřicího celku nad základnou	34
Obr. 37 Půdorysné schéma baterie.....	36
Obr. 38 Půdorysné schéma řídicí jednotky robotu (kabinetu).....	36
Obr. 39 Půdorysné schéma podstavy pro zvedací sloup	37
Obr. 40 Půdorysné schéma řídicí jednotky k měření (ovládacího boxu)	37
Obr. 41 Půdorysné schéma rozložení – 1. varianta.....	37
Obr. 42 Půdorysné schéma rozložení – 2. varianta.....	38
Obr. 43 Půdorysné schéma rozložení – 3. varianta.....	38
Obr. 44 Konstrukční uzly měřicího celku	39
Obr. 45 Rám – horní pohled	41
Obr. 46 Rám – spodní pohled	41
Obr. 47 Přední kolo [20].....	42
Obr. 48 Zadní náprava – pohled, řez	43
Obr. 49 Zadní náprava.....	44
Obr. 50 Hřídel	44
Obr. 51 MKP analýza hřídele	45
Obr. 52 Ložiskový domek UCP [19]	45

Obr. 53 Ložiskový domek UCF - FY 30 FM [19]	45
Obr. 54 Zadní kolo [20].....	46
Obr. 55 Zástavba spojky	47
Obr. 56 Spojovací příruba.....	47
Obr. 57 Ovládání spojky	48
Obr. 58 Diagram pro volbu řetězu [18]	51
Obr. 59 Půdorys ustavení měřícího celku	52
Obr. 60 Lineární pohon PL-10 [24].....	52
Obr. 61 Svařovaná ustavovací noha.....	53
Obr. 62 Uchycení ustavovací nohy k rámu	53
Obr. 63 Svařená sestava úchytu lineárního pohonu	54
Obr. 64 Upevnění zadní ustavovací nohy k rámu	54
Obr. 65 Konstrukce rukověti.....	55
Obr. 66 Horní svařovaná konstrukce rukověti	56
Obr. 67 Dolní svařovaná konstrukce rukověti	56
Obr. 68 Svěrný spoj konstrukce rukověti	57
Obr. 69 Uchycení rukověti k rámu	57
Obr. 70 Nastavení rukověti jako madlo pro manipulaci	58
Obr. 71 Úchyt lineárního pohonu	58
Obr. 72 MKP analýza úchytu lineárního pohonu	59
Obr. 73 Schéma konstrukčního řešení naklápění.....	60
Obr. 74 Spoj zdviž - naklápění.....	61
Obr. 75 Spoj zdviž - naklápění.....	62
Obr. 76 Připojovací rozměry robotu OMRON TECHMAN TM14X [11]	63
Obr. 77 Připojovací rozměry robotu Universal robots UR 16E [10]	63
Obr. 78 Spoj robot OMRON TECHMAN TM14X – zdviž.....	64
Obr. 79 Spoj robot Universal robots UR 16E - zdviž.....	64
Obr. 80 Schéma spoje robot - zdviž	65
Obr. 81 Připojovací deska pro robot Universal robots UR 16E	65
Obr. 82 Připojovací deska pro robot OMRON TECHMAN TM14X.....	65
Obr. 83 Připojovací rozměry hlavy robotu OMRON TECHMAN TM14X [11]	66
Obr. 84 Připojovací rozměry hlavy robotu Universal robots UR 16E [10]	66
Obr. 85 Schéma spoje měřící jednotka - robot.....	67

14. Seznam tabulek

Tab. 1 Hodnocení zatížení robotu.....	15
Tab. 2 Hodnocení hmotnosti robotu.....	16
Tab. 3 Hodnocení hmotnosti řídicí jednotky robotu	16
Tab. 4 Hodnocení rozměru řídicí jednotky robotu.....	17
Tab. 5 Hodnocení rozsahu robotu.....	17
Tab. 6 Shrnutí parametrů robotů s hodnocením	18
Tab. 7 Body hodnocení.....	18
Tab. 8 Hodnocení robotů	19
Tab. 9 Zvedací sloupy Linak [21]	33
Tab. 10 Zatížení měřícího celku nad základnou	35
Tab. 11 Vyhodnocení zdviže	35
Tab. 12 Konstrukční části měřícího celku	39

15. Seznam příloh

Výkres sestavy (2x A2)