

# Stavitelný senzorový držák

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení:	Frnka	Jméno: Daniel	Osobní číslo: 459530
Fakulta/ústav:	Fakulta strojní		
Zadávající katedra/ústav:	Ústav přístrojové a řídicí techniky		
Studijní program:	Automatizační a přístrojová technika		
Specializace:	Automatizace a průmyslová informatika		

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Stavitelný senzorový držák**

Název diplomové práce anglicky:

**Adjustable sensor holder**

Pokyny pro vypracování:

Rešere stavitelných držáků - posuvné i rotační pohyby. Analýza potřebných pohybů, jejich vazeb a rozsahů vzhledem k zadání práce (zadavatel automotive). Návrh konstrukčního řešení pro jeden typ senzoru. Experimentální ověření funkce na prototypu.

Seznam doporučené literatury:

Glézl Š., Kamarád J., Slimák I.: Přesná mechanika, Alfa Bratislava, 1992  
Yoder P. R.: Opto-mechanical Design, Marcel Dekker, 1993  
Hall T. A.: Optical Methods in Engineering Metrology, Chapman&Hall, 1993

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

**Ing. Bc. Šárka Němcová, Ph.D. odbor přesné mechaniky a optiky FS**

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

**Ing. Pavel Krsek, Ph.D. robotické vnímání CIIRC**

Datum zadání diplomové práce: **27.10.2022** Termín odevzdání diplomové práce: **26.01.2023**

Platnost zadání diplomové práce: \_\_\_\_\_

Ing. Bc. Šárka Němcová, Ph.D. podpis vedoucí(ho) práce      doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc. 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

# Abstrakt

Cílem mé práce je sestavit polohovatelný držák na základě požadavků zadavatele zabývající se senzory v oblasti automotive. Požadavkem je nízká hmotnost, variabilita upnutí parkovacích senzorů a možnost jejich zaměření v prostoru pomocí laserového souřadnicového přístroje. Instalace polohovatelného držáku v prostoru má být s rozlišením alespoň 0,5 mm. K tomu mi dopomohlo rozdělení celku na dvě části. Pro první část jsem provedl rešerši známých řešení a vybral nejvhodnější. Druhou část jsem navrhl a vytiskl. Jednotlivé prototypy jsem tiskl na tiskárnách typu FFF, SLA, SLS. Pro vývoj prototypů jsem použil testy na bázi pádových zkoušek, uživatelského komfortu a vibračních zatíženích simulujících vlivy působené jízdou po vozovce. Prototyp 2 byl úspěšně odprezentován zadavateli. Finální Prototyp 3 vyřešil nedostatky Prototypu 2 a prošel úspěšně vibračními testy. Podařilo se mi splnit cíle mé práce.

**Klíčová slova:** držák, víceosé polohování, 3D tisk

The goal of my work is to build a positionable holder based on the requirements of the client dealing with sensors in the automotive. The requirements are low weight, variability of attaching parking sensors and the possibility of targeting them in space using a laser coordinate device. The installation of the unit in the space should be with a resolution of at least 0.5 mm. Dividing the concept into two parts helped me with this. For the first part, I searched for known solutions and selected the most suitable one. I designed and printed the second part. I printed individual prototypes on FFF, SLA, SLS types of printers. For the development of the prototypes, I used tests based on drop tests, user comfort and vibration loads simulating the effects of driving on the road. Prototype 2 was successfully presented to the client. The final Prototype 3 solved the shortcomings of Prototype 2 and passed vibration tests successfully. I managed to achieve the targets of my work.

**KeyWords:** holder, multi-axis positioning, 3D printing

# Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně s tím, že její výsledky mohou být dále použity podle uvážení vedoucího diplomové práce jako jejího spoluautora. Souhlasím také s případnou publikací výsledků diplomové práce, nebo její podstatné části, pokud budu uveden jako její spoluautor.

V Praze 2023

.....

Daniel Frnka

# Poděkování

Za podnětné a cenné rady při zpracování této diplomové práce děkuji svým vedoucím Ing. Bc. Šárce Němcové, Ph.D. a Ing. Pavlu Krskovi, Ph.D. Za poskytnutí možnosti realizace této práce děkuji prof. Ing. Václavu Hlaváčovi, CSc.

Dále děkuji své rodině za podporu při studiu, zvláště pak své sestře Mgr. Haně Kusé.

# Seznam zkratek

- ADM – metoda měření vzdálenosti. 10
- SMR – koutové odražeče. 10
- .stl – formát pro 3D model. 29
- FFF – filamentový typ 3D tiskárny. 3, 29, 30, 32, 33, 35, 36, 46, 49, 59, 60, 61, 76, 102, 103
- SLA – resinový typ 3D tiskárny. 3, 28, 30, 34, 36, 72, 76, 78, 80, 102
- MSLA-resinový typ 3D tiskárny. 31
- SLS – spékací typ 3D tiskárny. 3, 28, 32, 36, 46, 47, 48, 76, 102
- UV – ultrafialové záření. 29
- LED – elektroluminiscenční dioda. 31
- LCD – Displej z tekutých krystalů. 31
- PLA - Polylactic Acid. 33, 34, 35, 49
- PETG - Polyethylene Terephthalate Glycol. 33, 34
- ASA - Acrylonitrile styrene acrylate. 33, 34
- ABS - Acrylonitrile butadiene styrene. 33, 34, 35
- FLEX – flexibilní filament. 33, 34
- PVA – Polyvinylalkohol. 33, 35
- BVOH - Butenediol vinyl alcohol copolymer. 33,35
- HIPS - High Impact Polystyrene. 35
- PP – Polypropylene. 33, 35
- PA12 – Polyamid. 47, 48

# Seznam tabulek

Tabulka 1 srovnání materiálu pro tisk metodou FFF [74] .....	35
Tabulka 2 přehled typů resinu a vlastnosti [65] .....	36
Tabulka 3 známkování dosažitelnosti přesností Prototypu 2 .....	93
Tabulka 4 známkování dosažitelnosti přesností Prototypu 3 .....	94
Tabulka 5 přehled průběhu vibračního Testu 1 .....	97
Tabulka 6 přehled průběhů vibračního Testu 2 .....	100

# Seznam obrázků

Obrázek 1 obecná skica poskytnutého senzoru.....	5
Obrázek 2 pracovní prostor, pohyby senzoru.....	5
Obrázek 3 pohled z couvací kamery [2] .....	6
Obrázek 4 - umístění couvací kamery [1] .....	6
Obrázek 5 predikce směru parkování [2] .....	7
Obrázek 6 plán parkovacího asistentu [9].....	8
Obrázek 7 Leica Absolute Tracker [18] .....	10
Obrázek 8 odrazy paprsku koutového odražeče [19] .....	11
Obrázek 9 první typ koutového odražeče [20].....	11
Obrázek 10 druhý typ koutového odražeče [21] .....	12
Obrázek 11 diagram posloupnosti a kinematické schéma zaměření polohy.....	12
Obrázek 12 interpretace změn polohy při zaměřování .....	13
Obrázek 13 laboratorní stojan [23] .....	15
Obrázek 14 kinematické schéma laboratorního stojanu.....	15
Obrázek 15 pohyby cage systému [24] .....	16
Obrázek 16 laserový celek z přesné techniky [25] .....	16
Obrázek 17 příklady profilových konstrukcí [30] .....	17
Obrázek 18 celek sestavený z profilových konstrukcí [31].....	17
Obrázek 19 spojovací materiál profilových konstrukcí [32].....	17
Obrázek 20 model spojovacího prvku [34] .....	17
Obrázek 21 kinematické schéma spojovacího prvku .....	17
Obrázek 22 držák monitoru značky SmallRig [36] .....	18
Obrázek 23 kinematické schéma držáku monitoru.....	18
Obrázek 24 kulová hlava Novoflex Ball 19 [89] .....	19
Obrázek 25 kinematické schéma Novoflex Ball.....	19
Obrázek 26 videohlava MH293D3-Q2 [39] .....	20
Obrázek 27 kinematické schéma MH293D3-Q2 .....	20
Obrázek 28 videohlava KH-6710 [38].....	20
Obrázek 29 hlava 056 Junior [40] .....	20
Obrázek 30 kinematické schéma 056 Junior .....	20
Obrázek 31 hlava 234RC [41] .....	21
Obrázek 32 flexibilní rameno [42].....	21



Obrázek 33 Moza Aircross 2 [44] .....	22
Obrázek 34 kinematické schéma Moza Aircross 2 .....	22
Obrázek 35 Syrp Pan Tilt konzole [43] .....	22
Obrázek 36 Rollei Panoramic Head 200 Mark [46] .....	23
Obrázek 37 makrosáňky FC-1 II [47] .....	23
Obrázek 38 4směrový kloub [48] .....	24
Obrázek 39 držák na řídítka [50] .....	24
Obrázek 40 Terronic Basic UH-400 [51] .....	24
Obrázek 41 kinematické schéma UH-400 .....	24
Obrázek 42 VCT-AMK1 [52] .....	24
Obrázek 43 rameno Sirui HA-77 [54] .....	25
Obrázek 44 kinematické schéma Sirui HA-77 .....	25
Obrázek 45 jeřáb PROAIM 14ft [53] .....	26
Obrázek 46 zaměřovač MUM.....	26
Obrázek 47 kinematické schéma MUM .....	26
Obrázek 48 zaměřovač MPM-44.....	27
Obrázek 49 držák MTM7609FM [57] .....	27
Obrázek 50 iPad Wheelchair Mount [58].....	27
Obrázek 51 stolní lampa [59].....	28
Obrázek 52 popis tiskárny typu FFF [61].....	30
Obrázek 53 popis tiskárny typu SLA [65] .....	31
Obrázek 54 popis SLS technologie [65].....	32
Obrázek 55 promítnutí tří os rotací v jednom bodě .....	38
Obrázek 56 rameno Sirui HA-77 [54] .....	39
Obrázek 57 vyznačení pohybů Nosiče [54] .....	39
Obrázek 58 kinematický rozbor pohybů a rozsahů Nosiče.....	39
Obrázek 59 popis držáku na řídítka [50] .....	42
Obrázek 60 vyznačení pravoúhlého dílu .....	42
Obrázek 61 sestava Prototypu 1 .....	43
Obrázek 62 Základna Prototypu 1 .....	44
Obrázek 63 Středový díl Prototypu 1.....	45
Obrázek 64 Koncový díl Prototypu 1 .....	46
Obrázek 65 oblasti propadu výtisků metodou SLS .....	47

Obrázek 66 Detail A.....	48
Obrázek 67 Detail C .....	48
Obrázek 68 Detail B.....	48
Obrázek 69 celek sestavy Prototypu 2 .....	50
Obrázek 70 protnutí tří rotačních os.....	51
Obrázek 71 kinematické schéma Prototypu 2.....	51
Obrázek 72 Základna-P2.....	52
Obrázek 73 Držák odrazky, polohou na Základně P-3.....	53
Obrázek 74 L-profil 1 .....	53
Obrázek 75 L-Profil 2.....	54
Obrázek 76 držák odrazky, situovaný na dílu L-profil 2.....	54
Obrázek 77 Zakončení.....	54
Obrázek 78 držák odrazky 3.....	55
Obrázek 79 Ráho .....	55
Obrázek 80 pojištění matice proti prokluzu.....	56
Obrázek 81 madlo k utahování šroubového spoje [45] .....	56
Obrázek 82 madlo pro lepší polohování .....	56
Obrázek 83 stěžejní rozměry pro určení polohy .....	57
Obrázek 84 stěžejní rozměr pro určení polohy.....	57
Obrázek 85 kontrola protnutí os dílů .....	58
Obrázek 86 pohyb filamentových vrstev.....	59
Obrázek 87 křižující se filamentové vrstvy .....	59
Obrázek 88 křižující se filamentové vrstvy s nízkým úhlem.....	60
Obrázek 89 sestava Prototypu 3 .....	62
Obrázek 90 Základna-P3.....	63
Obrázek 91 lůžko kabeláže na Základně-P3 .....	64
Obrázek 92 L-Profil-A-P3 .....	64
Obrázek 93 L-Profil-B-P3 .....	65
Obrázek 94 řez dílem L-Profil-B-P3, otvor pro stahovací pásek.....	66
Obrázek 95 stahovací pásek [80].....	66
Obrázek 96 Zakončení-P3.....	66
Obrázek 97 U-profil-P3.....	67
Obrázek 98 Držák odrazky Zakončení-P3 .....	67
Obrázek 99 Držák odrazky Tubusu-P3.....	67
Obrázek 100 kontrola rozlišení úhlu koutového odražeče .....	68

Obrázek 101 rozměry pro výpočet Prototypu 3.....	68
Obrázek 102 rozměr pro výpočet Prototypu 3 .....	68
Obrázek 103 řez pouzdem krytky a krytkou.....	70
Obrázek 104 sestava druhé krytky.....	71
Obrázek 105 UHU Super Glue [82].....	73
Obrázek 106 Pettex 100 [83].....	73
Obrázek 107 UHU POR [84] .....	74
Obrázek 108 UHU All Plastic [85] .....	74
Obrázek 109 ukázka nabízeného barevného provedení [87] .....	76
Obrázek 110 vlastnosti resinu - eSUN hard tough resin.....	77
Obrázek 111 demonstrace žebrového spojení .....	78
Obrázek 112 Část A žebrového spoje.....	79
Obrázek 113 Část B žebrového spoje.....	79
Obrázek 114 nastavení žeber vůči sobě .....	80
Obrázek 115 možnosti realizace kabeláže .....	82
Obrázek 116 smyčky kabeláže .....	83
Obrázek 117 zjednodušený model Nosiče a Prototypu 3.....	84
Obrázek 118 schéma pro výčet.....	87
Obrázek 119 schéma – půdorys pro výpočet.....	87
Obrázek 120 definice pro výpočet.....	88
Obrázek 121 definice 2 pro výpočet .....	88
Obrázek 122 Základna-P2+držák odrazky 1, L-Profil-2+držák odrazky 2, Zakončení.....	90
Obrázek 123 prasklina Základny P3.....	91
Obrázek 124 prasklina na modelu Základny .....	91
Obrázek 125 deformace po pádové zkoušce dílu Základna-P3-V2.....	92
Obrázek 126 shaker V830-355 [88] .....	96
Obrázek 127 instalace celku na shakeru.....	97
Obrázek 128 polohy před testováním a po testování Části A.....	98
Obrázek 129 deformace při vibracích.....	98
Obrázek 130 srovnání Základny-P3 a Základny-P3V2.....	99
Obrázek 131 instalace celku na shakeru – Test 2 .....	100
Obrázek 133 sestavení celku – Nosič a Prototyp 3 .....	101
Obrázek 134 detail sestavení celku – Nosič a Prototyp 3.....	101



## Obsah

Stavitelný sensorový držák .....	i
Abstrakt.....	iii
Prohlášení .....	iv
Poděkování .....	v
Seznam zkratk .....	vi
Seznam tabulek.....	vii
Seznam obrázků.....	viii
1. Úvod .....	3
2. Požadavky zadavatele .....	4
2.1. Předpokládané využití senzorů .....	6
2.2. Plánovaná aplikace držáku .....	8
2.3. Důležitost přesného polohování .....	9
3. Typy konstrukcí .....	14
3.1. Laboratorní technika .....	14
3.2. Profilové konstrukce .....	16
3.3. Filmová aparatura .....	18
3.4. Ostatní.....	26
3.5. Důvod vzniku tiskáren typu – rapid prototyping.....	28
3.6. Materiály .....	33
4. Experimentální prototypy .....	37
4.1. Rozdělení držáku na dvě části .....	37
4.2. Návrh Prototypu 1.....	41
4.3. Návrh Prototypu 2.....	49
4.4. Návrh Prototypu 3.....	61
5. Testování .....	72
5.1. Lepidla .....	72

5.2.	Výběr metody tisku Prototypu 3 .....	76
5.3.	Rozměry tisku .....	77
5.4.	Reálné zaměření polohy .....	83
5.5.	Pádové zkoušky .....	90
5.6.	Pádové zkoušky Prototypu 3 .....	91
5.7.	Uživatelské testování Prototypů .....	92
5.8.	Vibrační testy.....	94
5.9.	Skutečná podoba spojení Nosiče a Prototypu 3.....	100
6.	Závěr .....	102
	Zdroje .....	104
	Seznam příloh.....	112

# 1. Úvod

Tato práce se zabývá navrhnutím a následným sestrojením polohovatelného držáku dle pokynu zadavatele působícího v automotive. Držák má být polohovatelný s dostatečným rozlišením alespoň 0,5 mm. Držák by měl být lehký, intuitivně ovládaný a s možností upnutí různých druhů senzorů. Zadavatel vyvíjí parkovací senzory. Nejčastěji využívá kamerové, radarové a ultrazvukové. Předpokládá se využití v laboratorních podmínkách na obecném pojzdovém zařízení simulující část automobilu. Je zde požadavek na polohování ve více osách. Senzor by měl být upnutý na konci držáku a jeho rotační pohyb by měl být kolem tří os. Je důležité, aby tyto pohyby byly na sobě nezávislé a šly jednotlivě polohovat. Tento požadavek vychází z předpokládaného umístění senzorů v praxi. Pokud by to bylo možné, zadavatel uvítá již kombinaci s některým z funkčních komerčních řešeních. Přesná poloha se bude zaměřovat pomocí laserového souřadnicového přístroje Leica a koutových odražečů. Je nezbytné, aby výsledná konstrukce umožňovala tuto aplikaci.

K dosažení těchto cílů provádím kompletní rešerši v rámci nejrůznějších typů řešení, co již existují, u nejdůležitějších z nich i kinematický rozbor. Jsou to například laboratorní stojany, profilové konstrukce a filmová aparatura. Popíši zde typy a úskalí typů 3D tiskáren, jsou to FFF, SLA nebo méně známá SLS. Pro co nejlepší dosažení žádané polohy koncového senzoru, rozdělím celek na Nosič a Prototyp. Nosič realizuje velké pohyby a prototyp následně umožňuje přesné polohování. Mnou navržené jednotlivé díly prototypů jsou vytištěny na 3D tiskárnách. Během vývoje prototypů jsem uskutečnil tisk na všech třech metodikách 3D tisku. Zhodnocuji přínos jednotlivých metod 3D tisku pro jejich eventuální další využití. Popisuji principy výpočtů pro určení přesné polohy celku v prostoru, které jsou nutné pro zaměřování laserovým souřadnicovým přístrojem.

Mnou navržené Prototypy testuji v rámci samotné realizace sestavení, uživatelského komfortu použití, pádových zkoušek a aplikací vibračního zatížení.

## 2. Požadavky zadavatele

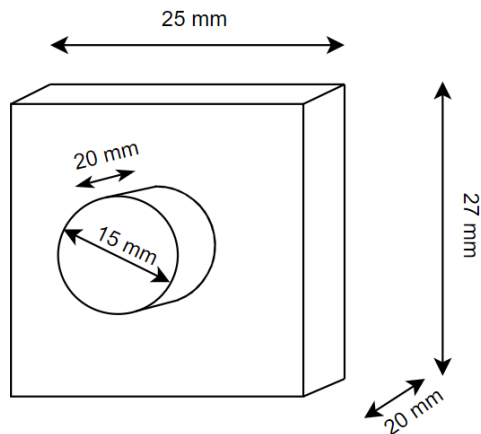
Zadavatel přišel s požadavkem na vytvoření polohovatelného držáku senzorů. Držák by měl sloužit v automotive při vývoji a testování v laboratorních podmínkách. Tento držák by měl být koncipován na tři typy senzorů. Jsou to kamerové, radarové a ultrazvukové. Polohování by mělo být dostatečně intuitivní a mělo by probíhat bez větší nutnosti používání dodatečných nástrojů. Je nutné, aby si držák po uvedení do správné polohy tuto instalaci ponechal, neměnil svůj tvar a polohu senzoru (například při pojezdech od vibrací). Intuitivní ovládání je výhodou.

Z předpokládaného nasazení držáku plyne požadavek na lehkou a případně malou konstrukci. Při navrhování má být snaha o vyvarování se rámovým konstrukcím, přijatelná je například u úchyty k pomyslné základně. Cílem je využít některé prodávané celky, vylepšit je vlastními nápady a vytvořit tak variabilní stavebnicový systém. Tato variabilnost tkví v možnosti uchycení různě tvarovaných senzorů na držák. Bylo by vhodné navrhnout takový systém, který by na základě předpokládaného použití senzorů dovozoval ubrat nebo přidat části konstrukce. Například není nutné polohovat tři osy rotace, pokud bude testována pouze jedna osa. V tomto případě by některé části konstrukce mohly být odstraněny, a to bez velké ztráty funkčnosti držáku. Konstrukce by měla být relativně jednoduchá, aby zadavatel případně mohl snadno vytvořit své vlastní díly na bázi tohoto návrhu.

Firma preferuje co nejvíc volného prostoru okolo senzoru. Tato potřeba plyne ze zkušeností s používáním senzorů. Souvisí to také s jednoduchostí konstrukce. Například radarové senzory vytvářejí částečně po stranách elektromagnetické pole a v těchto směrech by mohlo dojít k případnému nežádoucímu rušení radaru. Zároveň se používají kamery typu rybí oko, kdy snímaná oblast může různě převyšovat polokouli. Bylo by tedy vhodné užití takové konstrukce mající co nejjednodušší uchycení senzoru z jednoho směru. Po napolohování držáku by měla být snaha nemít okolo zbytečné velké nevyužité konstrukční prvky. Hmotnost senzorů bývá nízká, senzory ale mívají doprovodnou techniku, se kterou častokrát tvoří jeden celek. Tento celek nabývá hmotnosti zpravidla do 150 g, extrémně až téměř 400 g.

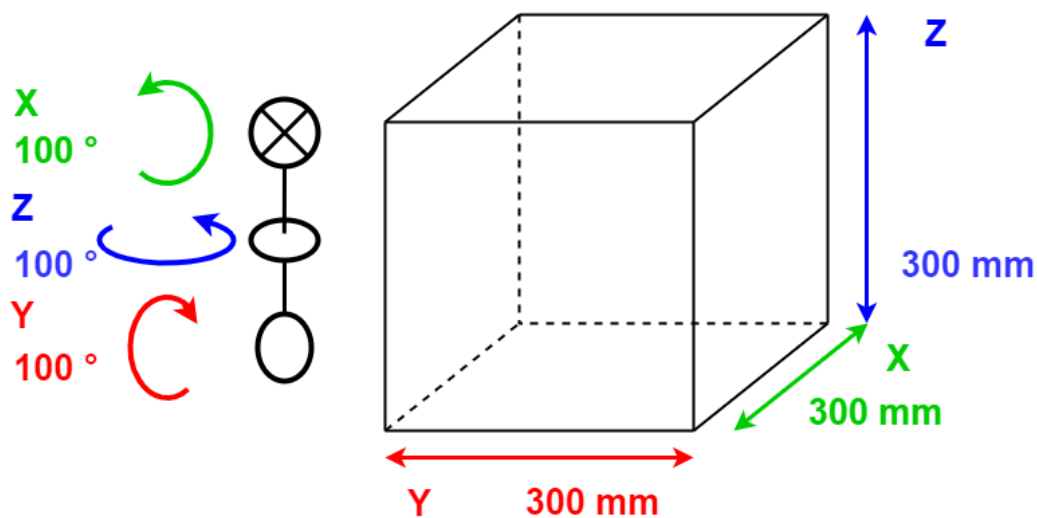
Firma poskytla jeden z vlastních senzorů. Je to kamera s výpočetní elektronikou a prostorem pro kabeláž. Tento celek pak umožňuje regulovat výstupy dat a jejich konfiguraci pro vývoj požadovaných systémů, například parkovacích asistentů. Celek bez kabelů dosahuje hmotnosti 26 g.





Obrázek 1 obecná skica poskytnutého senzoru

Rozsah pracovního prostoru je podobného tvaru jako krychle o rozměrech okolo 300x300x300 mm. Tvar krychle nemusí být striktně dodržen, akceptovatelný tvar může být i obecná sféra nabývající obdobného prostoru. Větší pracovní rozsah je výhodou. V tomto pracovním prostoru by měl být umístěn senzor, u kterého lze měnit jeho natočení v jedné ose zhruba okolo 100°. Větší rozsah a více polohovatelných os je výhodou. Přesnost ručního nastavení držáku by měla být co nejvyšší, avšak alespoň 0,5 mm. Senzory by se ideálně měly být schopny naklánět na konci držáku. Zadavatel nedokázal blíže specifikovat požadované rozlišení úhlové.



Obrázek 2 pracovní prostor, pohyby senzoru

Tento držák by měl mít možnost být napolohovatelný za pomoci laserového zaměřovače polohy v prostoru.

## 2.1. Předpokládané využití senzorů

Zadavatel předpokládá použití tří typů senzorů. Jsou to kamerové optické, radarové a ultrazvukové. Tyto senzory se hodí například pro vývoj parkovacích senzorů a asistentů.

Konkrétní typy jednotlivých výrobků z uvedených skupin jsou firemním know-how. Stejně tak jako tvary. Přesný tvar se odvíjí od funkce senzorů a také od místa použití. Zadavatel tak má mnoho tvarových variací. Týká se to uchycení senzoru, kabeláže a celkového tvaru. Zadavatel působí ve vývoji u automotive, takže u celku senzoru se může vyskytovat i případná různorodá výpočetní technika.

### 2.1.1. Kamerové systémy

Nejčastěji se v této firmě používají videokamery, které snímají více než 180 ° horizontálně i vertikálně. Jsou známé také pod pojmem rybí oko. Signál z těchto kamer se často zpracovává a uživateli pak promítá obraz. Obraz tak může být doplněn o vyznačené čáry, které například symbolizují tloušťku vlastního auta nebo odstupňovanou vzdálenost od konce zadní či přední části auta.



Obrázek 3 pohled z couvací kamery [2] Obrázek 4 - umístění couvací kamery [1]

### 2.1.2. Radarové systémy

Tyto systémy fungují na principu vyslání elektromagnetického vlnění, které se odrazí od objektů, tyto odražené vlny jsou následně detekovány přijímačem – v dnešní době je vysílač i přijímač v jednom sensorickém celku. Následně je pak tento signál zpracován a může být určena poloha z celkové doby trvání letu tohoto vlnění. V dnešní době je na trhu celá škála produktů, mnoho z nich je různě citlivá, případně necitlivá na různé materiály – například železo, kámen, dřevo, sklo, plast nebo rostliny. Radarové systémy tedy nebudou rušeny deštěm, sněhem nebo prachem, najde-li se příslušný senzor. Tyto senzory pracují nejčastěji s frekvencí 48, 58 a 68 kHz. [3][4][5]

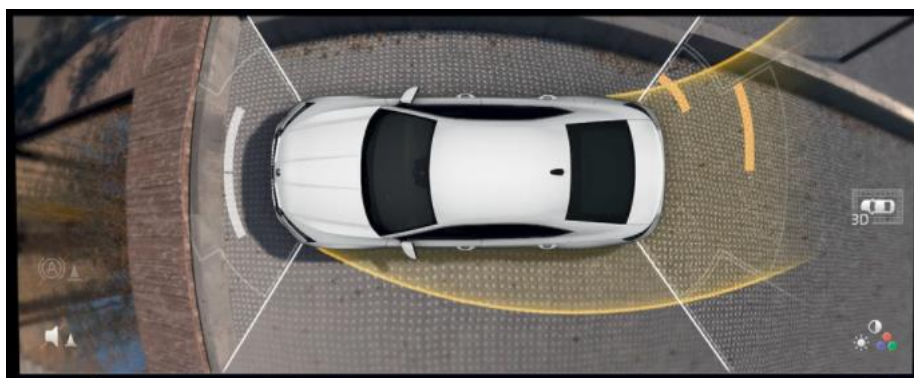
### 2.1.3. Ultrazvukové systémy

Ultrazvukové systémy fungují podobně jako radarové. Největší rozdíl je ve vzniku vlnění. Zatímco radar využívá elektromagnetické vlny, ultrazvuk využívá vlny na bázi zvukového vlnění. Což je rozkmitání neprázdného okolí. Ultrazvuk tedy nebude fungovat ve vakuu a může být rušen například prachem, deštěm a jinými povětrnostními vlivy. I přes tato omezení se hojně využívá. Stejně jako u radaru ultrazvukové senzory měří čas dráhy letu k překážce a zpět. [6][7][8]

### 2.1.4. Parkovací senzory a asistent

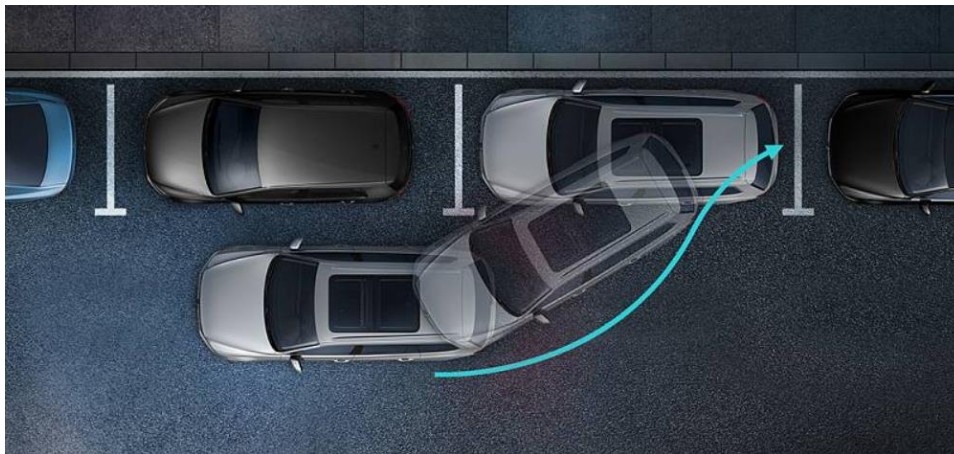
Účelem parkovacích senzorů je zlepšit povědomí řidiče o volném prostoru okolo auta. Ke své signalizaci využívají například zvukovou nebo obrazovou formu. K tomu slouží výše zmíněné skupiny senzorů. Je běžné, že se parkovací senzory vypínají nebo zapínají při určitých podmínkách. Zadní parkovací senzory se mohou zapínat při zařazení zpátečky. Kdežto přední parkovací senzory se budou vypínat při překročení 20 km/h rychlosti auta. Množství senzorů se může lišit, nejčastěji se umísťují v počtu čtyři, šest a osm na jednu stranu vozu. Dnes již není výjimkou, že se různé senzory dávají na strany auta, například nad nápravy, do oblasti blatníků. Také se mohou používat různé kombinace senzorů. Setkat se můžeme i s nočním viděním promítaným na přístrojovou desku auta. Další ze zajímavých funkcí je například sledování příjezdících aut při parkování a při couvání. Sledování probíhá na střední vzdálenost (řádově do jednotek metrů) a v případě potřeby auto dokonce zabrzdí, pokud systém vyhodnotí možnou srážku.

Parkovací senzory mohou při větším počtu v reálném čase řidiči zprostředkovat pohled na auto a jeho okolí jako z ptáčích perspektivy. Docílí tohoto efektu tak, že snímají kamerami celé okolí vozidla. V kombinaci s dalšími typy senzorů se tak tato funkce stává nesmírně důmyslnou při parkování. Řidič má naprostý přehled o objektech kolem auta a jejich vzdálenostech. Při přiblížení k objektům se spouští signalizace. [9][10]



Obrázek 5 predikce směru parkování [2]

Moderní technologie umožňují užívání parkovacích asistentů. Ty dokážou aktivně hledat místo na parkovišti a propočítávat mezeru mezi auty pomocí například bočních senzorů. Poté při parkování přeberou místo řidiče řízení, natáčení volantu a následně řidiče instruuje, jak má popojíždět. Díky přebrání funkce točení volantu řidič dokáže hravě popojet na místo. Zároveň je řidiči ponecháno řízení vozidla – jeho ježdění. Výrobci se tak distancují od případných škod. Vozidlo je stále řízeno řidičem pomocí ovládání pedálů, ač směr jízdy určuje asistent. Tato asistence je výhodná zejména při podélném parkování.



Obrázek 6 plán parkovacího asistentu [9]

Tyto všechny funkce zajišťují právě výše zmíněné senzory kolem auta. Dokážou tak řidiči ulehčit parkování, nebo ho dokonce vyvarovat srážky s autem. Bez senzorů by byl řidič odkázaný jen na své řidičské schopnosti. Stále se vyvíjející technologie v tomto směru tak přikládají těmto senzorům mnohem větší důležitost v běžném provozu.

## 2.2. Plánovaná aplikace držáku

Výše zmíněné senzory by měly být použity v kombinaci s mým držákem, připevněné na platformě. Tato platforma bude reprezentovat část automobilu. Bude tak možné simulovat reálné chování v různých polohách na vozidle. Například u zadních parkovacích systémů lze snadno měnit výšku, horizontální natočení či polohu. To umožňuje velmi rychle a snadno prověřovat různé benefity různých instalací senzorů. Obdobně lze simulovat instalaci v prostoru a následně vyhodnocovat detektor deště na čelním skle, kamerové systémy na předku vozidla sloužící k autonomní jízdě nebo pro systémy nouzového zastavení předcházející srážce s bočně jedoucimi vozidly.

Přínos budoucího držáku by měl spočívat ve snadné změně polohy a univerzálnosti použití. Jak pro rozdílné senzory, tak i pro simulaci rozdílných vozidel. Instalace senzoru v prostoru bude velmi přesná, díky zaměření laserovým souřadnicovým systémem.

## 2.3. Důležitost přesného polohování

Přesná instalace v pracovním prostoru s lepším rozlišením než milimetr, je důležité zejména ve vývoji samotných senzorů a s nimi spolupracujícího softwaru. Je výhodné odfiltrovat každou eventuální nepřesnost a rušení. Díky přesné poloze se mohou negativní vlivy redukovat na minimum při vývoji.

Aktuálním trendem v automotive jsou plastové materiály. Otvory a držáky pro senzory mají v dílu zpravidla poměrně velkou toleranci – někdy až jeden milimetr. Častokrát tak bývají vyrobené kvůli vzájemnému zapadnutí jednotlivých dílů do sebe. Jejich umístění tedy není nutně podmíněné přesnou polohou. Ovšem u vývoje je přesná poloha senzorů žádoucí.

### 2.3.1. Laserový souřadnicový měřicí přístroj, funkce koutových odražečů

Zadavatel i výzkumné oddělení v CIIRCu – Robotické a strojové vnímání disponuje laserovým zaměřovačem typu Leica. V oddělení je to konkrétně Leica Absolute Tracker AT403. Tento přístroj dokáže velmi přesně určit polohu v prostoru. Pracuje s přesností v desítkách mikrometrů. Tento přístroj bude použit pro přesné nastavení polohy v prostoru.

### 2.3.2. Popis funkce měření vzdálenosti

Obecně fungují tyto laserové dálkoměry na dvou principech měření, zpracování a vyhodnocování dat. Obě metody užívají emisi elektromagnetického impulsu ve formě laserového paprsku. Tento paprsek prochází skrze elektromagnetický obvod. Po odražení a navrácení paprsku přístroj zpracovává informace.

První z principů určování polohy je měření dvou úhlů a vzdálenosti. Přístroj vyšle paprsek laseru na objekt, kde je umístěn koutový odražeč. Tento odražeč pošle paprsek zpět do přístroje po své původní dráze. Posléze přístroj vypočte vzdálenosti dráhy od přístroje k odrazkám a zpět, na základě času. Ze série dat několika měření potom vyhodnotí metrologický software podklady a následně pak pomocí dalších výpočtů stanoví polohu X, Y a Z.

Druhý princip, někdy také nazýván ADM (absolute distance meter), je založen na změně fázového posuvu paprsku. Přístroj vyšle laserový paprsek se známou vlnovou délkou na odražeč. Odražeč pošle paprsek zpět do přístroje. U navraceného paprsku pak přístroj měří rozdíl ve fázi

paprsku. Tento rozdíl potom stanovuje vzdálenost polohy odražeče a přístroje. Následně jsou vyslány další paprsky, tentokrát s jinou vlnovou délkou. Přičemž se postupuje od delších vlnových délek ke kratším. Software tak vyhodnotí dostupná data a stanoví konečnou vzdálenost s velkou přesností. Dalo by se říct, že tyto série výpočtů jsou náročnější než u prvního principu. Moderní přístroje využívající tento princip dokáží z jednoho paprsku měřit také úhel, což eliminuje eventuální chyby a posuvy při použití dvoupraskové ADM technologie. [11][12][13][14][15][16]

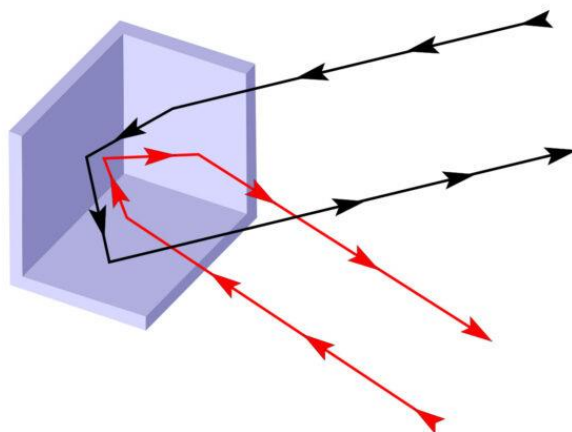
Používaný přístroj Leica Absolute Tracker AT403 používá první z popsaných principů měření vzdálenosti pomocí laseru. [17]



Obrázek 7 Leica Absolute Tracker [18]

### 2.3.3. Koutové odražeče – retro-reflektory (SMR)

Laserové souřadnicové přístroje využívají hlavně dva typy koutových odražečů (SMR spherically mounted retro-reflector). Tyto odražeče mají tvar koule s úsečí. Ve vnitřku této koule se nachází koutový odražeč v podobě hranolu tvořící tři na sebe kolmé roviny obdobné rohu krychle. Oba fungují na stejném principu. Odrazit paprsek zpět do svého zdroje. Využívají k tomu právě tři na sebe kolmé skleněné roviny.



Obrázek 8 odrazy paprsku koutového odražeče [19]

První typ má kovové pouzdro. Pracovní úhel reflektoru je  $\pm 30^\circ$ . Průměr koule činí 6,35 mm  $\pm 0,0025$  mm, hmotnost je 6 g. Je velmi kvalitně zpracován, odrazový střed je umístěn s přesností  $\pm 0,003$  mm. Díky tomu dokáže pracovat tento reflektor samostatně a naprosto přesně, protože známe polohu jeho středu a velikost pouzdra koule. Kamkoliv bude reflektor položen, lze zjistit přesnou polohu jeho středu, dále pak stačí jen přičíst rozdíl vzdálenosti středu reflektoru a okraje koule. Pořizovací náklady jsou okolo 1320,-€ za jeden koutový odražeč.



Obrázek 9 první typ koutového odražeče [20]

Druhý typ má hliníkové pouzdro. Dalo by se říct, že je „méně“ kvalitně zpracován, průměr koule je také 6,35 mm, hmotnost činí pouze 3 g. Pracovní úhel je v tomto případě malinko lepší, činí  $\pm 40^\circ$ . Pořizovací náklady jednoho odražeče činí pouze 293,-€. Tyto odražeče jsou, kvůli své „menší“ kvalitě, projektovány na fungování ve větším počtu. Ideálně alespoň ve třech. Pak již lze po zaměření všech reflektorů měřit polohu velice přesně. Obvykle se prodávají ve větším počtu.

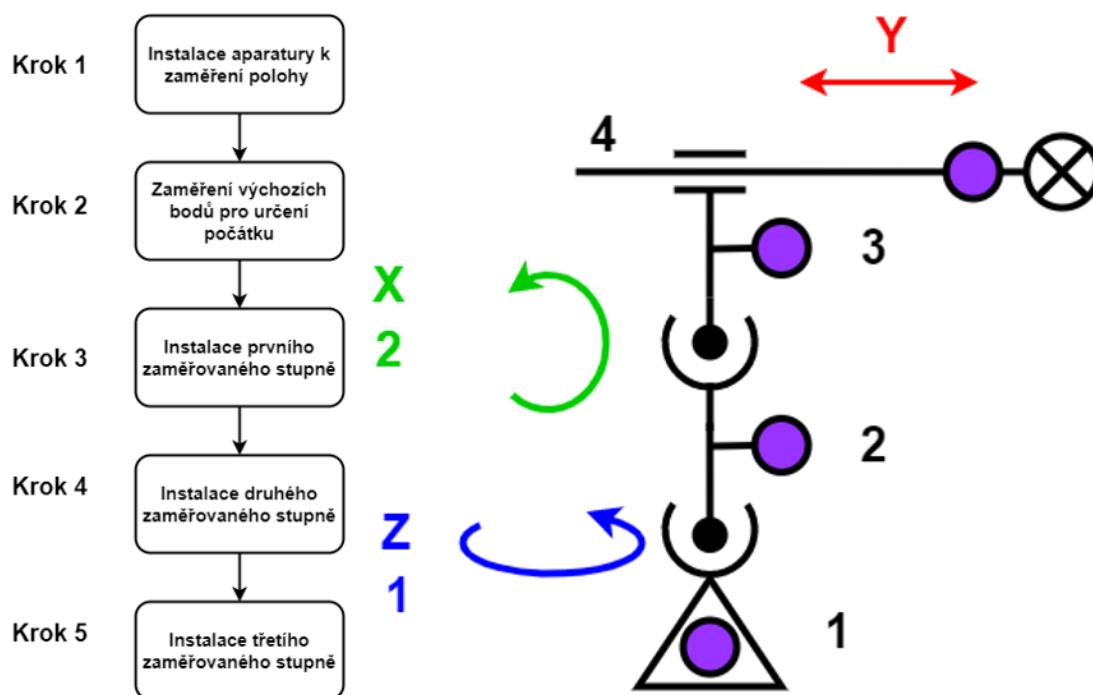


Obrázek 10 druhý typ koutového odražeče [21]

Pro účely měření bude využit druhý typ, tedy koutový odražeč s hliníkovým pouzdem. Vyplývá to z nutnosti zaměření více objektů, je tak pro tyto účely vhodnější.

### 2.3.4. Zaměřování polohy

Zaměřování polohy bude probíhat dle předpřipraveného programu v kooperaci se systémem Leica Absolute Tracker AT403. Využívána bude inverzní kinematika. Modelové měření uvedu v pěti na sobě navazujících krocích.



Obrázek 11 diagram posloupnosti a kinematické schéma zaměření polohy

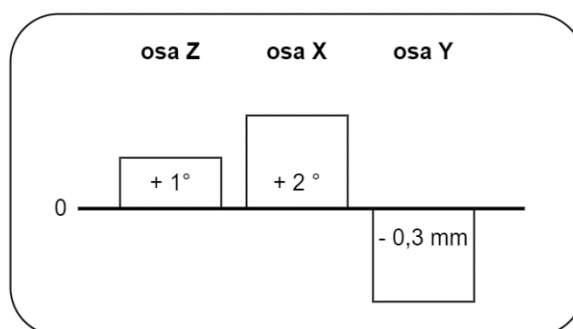
**Popis schématu:** Ve schématu jsou čtyři na sebe navazující tělesa, spojeny jsou dvěma rotačními vazbami a jednou posuvnou. Na konci tělesa 4 je umístěn senzor. Fialové kruhy reprezentují koutové odražeče. Rotace kolem osy Z je 360°, okolo osy X 90°, posuv je stanoven na 30 cm. Jednotlivé pohyby lze realizovat samostatně. Prostor, ve kterém se tedy může systém pohybovat, tvoří vrchní polokouli. Jednotlivé rozměry těles jsou známé.



Odražeče na tělesech 2 a 3 jsou vyoseny z důvodu korektního zaměření. Pokud by těleso 2 nemělo vyosen odražeč vůči ose rotace, stále by zaměřoval ten samý bod, i po natočení. Těleso 3 má osu otáčení ve společném kloubu těles 2 a 3. Principiálně by odražeč nemusel být vyosen, pro účely demonstrace ovšem je.

Díky známým rozměrům, přesnému umístění koutových odražečů na tělesech, lze stanovit polohu pomocí laserového zaměření. Cílem zaměření je se dostat co nejlíže k nule – tedy mít co nejmenší odchylku. Žádaná poloha pro jednu osu se stanovuje pomocí inverzní kinematiky a výpočtů.

Jedna z možných softwarových implementací má prostředí podobné tomu na schématu. Toto schéma je ukazováno například na monitoru v reálném čase. Jednotlivé zaměřované pohyby jsou odděleny. Vždy se zaměřuje pouze jeden pohyb. Udávané hodnoty ze schématu by znamenaly, že v ose Z je odchylka  $+ 1^\circ$  od žádané polohy, v ose X pak  $+ 2^\circ$  a odchylka v ose Y tvoří  $- 0,3$  mm.



Obrázek 12 interpretace změn polohy při zaměřování

**Instalace aparatury k zaměření polohy** je první z dílčích kroků. Souřadnicový měřicí přístroj musí provést výchozí iniciativu sama sebe v prostoru. Rotační hlava přístroje krouží horizontálně a diagonálně, přičemž se zaměřuje na jeden koutový odražeč – ten může být obecně umístěn v prostoru, nebo na aparatuře. Ověřuje se tak správná funkce vnitřních komponent a softwarové rozhraní pro výpočet vzdáleností a úhlové natočení rotační hlavy.

V tomto kroku je vhodné provést zaznamenání měřeného prostoru v rozsahu pohybů. Princip spočívá v zaměření koutového odražeče, který je napojen na aparaturu, se kterou je pohybováno. Pokud by pracovní prostor měl být vrchní polokoulí, zaměří se nejdříve promítнутý bližší půlkruh. Dále pak pod jiným úhlem další půlkruh. Toto iniciační měření slouží k ověření správné funkčnosti a zvolení počátku. Je nutné mít na paměti že souřadnicový přístroj zaměřuje v rádech mikrometrů.

**Zaměření výchozího bodů pro určení počátku** je dalším z dílčích kroků. V mém případě se bude zaměřovat poloha na základnu první části aparatury – těleso 1, kde je umístěn koutový odražeč. Toto bude sloužit jako budoucí absolutní nula v prostoru. Od tohoto bodu se bude dále dopočítávat změna poloh.

**Instalace prvního zaměřovaného stupně** probíhá tak, že měříme úhlové natočení tělesa 2 od tělesa 1, v ose Z. Zaměřování probíhá pomocí programu, který ukazuje aktuální odchylku z již vypočtené žádané polohy. Po dosažení vyhovující polohy se tato osa uzamkne a bude možné provádět další měření.

**Instalace druhého zaměřovaného stupně** probíhá obdobně jako v předchozím případě. Zaměřuje se úhlové natočení tělesa 2 vůči tělesu 3 v ose X pomocí koutového odražeče. Snahou je se co nejvíce přiblížit spočtenému úhlovému natočení. Po instalaci se osa uzamkne pro nastavení další osy.

**Instalace třetího zaměřovacího stupně** – v tomto případě bude instalována poloha tělesa 4 vůči tělesu 3. Pohyb bude translační po jedné pevně dané přímce v prostoru. Snahou zaměření je se dostat na spočtenou polohu v prostoru. Tato poloha je již finální.

## 3. Typy konstrukcí

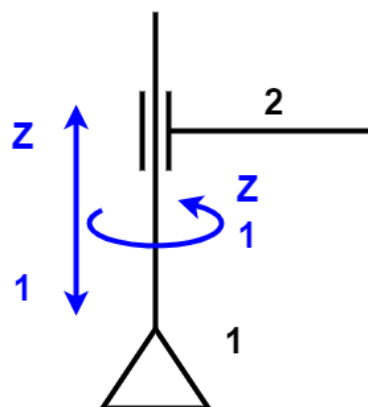
### 3.1. Laboratorní technika

#### 3.1.1. Stojany

V laboratorní technice se pro zajištění a polohování jednotlivých aparatur nejčastěji využívá jednoduchého konceptu. Tento koncept spočívá v jednoduché a hmotnostně výrazné horizontální základně, vertikální kovové tyči, na které jsou dvě spojené objímky. Jedna objímka je přichycena k vertikální tyči, kde je její poloha zajištěna šroubem. Druhá objímka je pevně spojena s tou první a upíná k sobě horizontální tyč. Často se vyskytuje i varianta, kde je druhá horizontální tyč, již z výroby, pevně zapuštěna do jediné objímky, která se upíná na vertikální tyč. Na konec horizontální tyče se pak přichycuje vše potřebné. Nejčastěji se využívá k uchycení laboratorní aparatury, optických zařízení, zdrojů světla, upevnění hořáků atd. V menším provedení se používá také v metrologii ve spojení třeba s úchylkoměrem. Robustnost je v závislosti na velikosti stojanu proměnlivá. U malých stojanů je relativně nízká, vzhledem k použitým spojovacím prvkům a jejich plochám upínání. [22]



Obrázek 13 laboratorní stojan [23]



Obrázek 14 kinematické schéma laboratorního stojanu

Na Obrázku 13 se nachází ukázka jednoho stojanu z nabídky laboratorní techniky. Napravo vidíme kinematické schéma znázorňující jednotlivé komponenty a návaznost pohybů.

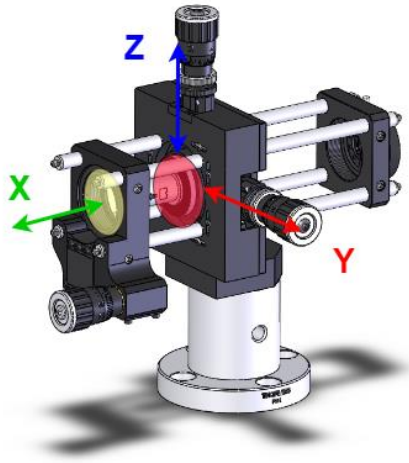
Problém však vychází ze samotné konstrukce, jak je uvedeno výše na schématu. Pokud povolíme, případně odšroubujeme, jistící šroub, vykoná těleso dva pohyby – translační a rotační kolem osy Z s tendencí činit to zároveň. Tyto dva pohyby nebývají odděleny. Jinými slovy se velmi těžko bude seřizovat výška a natočení.

Kvůli nemožnosti oddělení jednotlivých pohybů, nelze tento princip v této podobě uplatnit.

### 3.1.2. Upínací přípravky pro přesnou optiku

Existuje skupina přípravků určená pro upnutí například laserů, čoček, lup, mikroskopů. Souhrnně pro přesnou optiku. Tyto přípravky jsou často velice robustní, vyrobené z pevných slitin. Dají se i velmi přesně nastavovat, ať už se jedná o jejich polohu, nebo polohu v nich upnutých zařízení. Patří sem také posuvné polohovací stolky a základny, nebo polohovací cage systémy. Tyto systémy jsou tvořeny nejčastěji čtyřmi tyčemi, na jejichž koncích jsou dvě základny. Po přidání dalších, jiných polohovacích úseků, lze snadno systém obohatit o jednotlivé pohyby. Lze pohybovat celou klecí, nebo – po přidání základen umožňujících pohyb – pohybovat středy upevněné techniky, například laseru. Všechny tyto prvky jdou polohovat přesně, řádově až mikrometry. Rozsah pohybu je ale častokrát malý při této přesnosti, nejčastěji desítky milimetrů. Předpokládá se velmi pevné uchycení těchto prvků, ať se jedná o upínací, či polohovací základnu. Jsou koncipovány nejčastěji na základně pevného upínacího stolu. Takto přesné komponenty se zpravidla mají malé vyložení, ale je snaha je držet co nejblíže upínacímu

stolu nebo desce. Pokud však je konstrukce dlouhá, bývá také hmotnostně výrazná. Alespoň v řádu jednotek až desítek kilogramů. Je to cena za vysokou přesnost. [24] [25] [26] [27] [28] [29] [63]



Obrázek 15 pohyby cage systému [24]



Obrázek 16 laserový celek z přesné techniky [25]

Obrázek 15 zobrazuje možné pohyby středů základen, které umožňují upevnit například lasery a čočky. Samozřejmě lze pohybovat i samotnou klecí (čtyři tyče spojené na konci dvěma základnami).

- Důvody, proč nelze využít toto řešení i přes vynikající nastavitelnost polohy, jsou příliš velká hmotnost a prostorová výraznost. Dalším aspektem je vysoká cena, hlavně u polohovatelných základen.

### 3.2. Profilové konstrukce

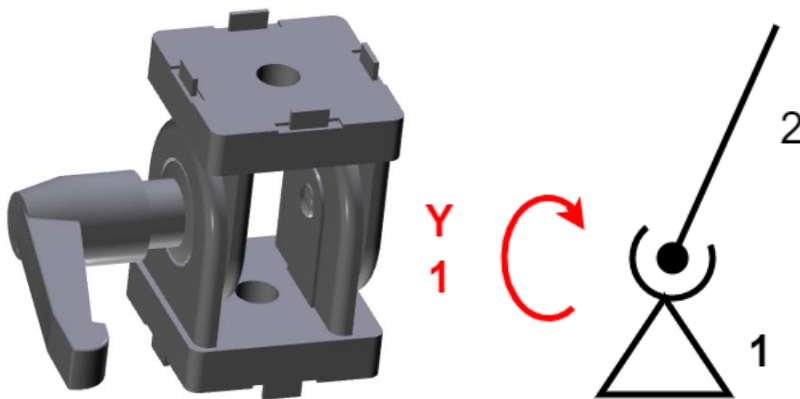
Existuje velké množství profilových konstrukcí. Vyskytuje se u nich velká rozměrová variabilita. Nejčastěji jsou vyrobeny z hliníku a jeho slitin. Spojení jednotlivých konstrukcí je ve velké většině případů zajišťováno šrouby a přípravky. Tyto přípravky povětšinou neumožňují velkou tvarovou variaci. Výrobci preferují jednoduché úhly a profily jsou zajištěny ideálně z obou konců. Tato forma řešení je výhodná díky svojí robustnosti, protože sestavy jsou koncipovány jako uzavřená statická rámová konstrukce. Vyrábí se profily s rozměry 20x20 mm, ovšem musí se zde počítat s omezením spojovacích prvků. Spojovací prvky jsou zpravidla vytvořeny z několika drobných dílků. Tyto profilové celky nebyly projektovány na přesné polohování a eventuální zasahování do profilu. I přes malé rozměry profilů, je poměr mezi hmotností a délkou nepříznivý. Musíme také připočítat hmotnost spojovacího materiálu, který je nejčastěji tvořen ocelí pro šrouby a matice. Spojovací komponenty se vyrábí například ze zinkové slitiny. [30][31][32][33]



Obrázek 17 příklady profilových konstrukcí [30] Obrázek 18 celek sestavený z profilových konstrukcí [31]



Obrázek 19 spojovací materiál profilových konstrukcí [32]



Obrázek 20 model spojovacího prvku [34] Obrázek 21 kinematické schéma spojovacího prvku

- Pokud bych zvolil profilovou konstrukci jako základ ke svému návrhu držáku, musel bych akceptovat vyšší hmotnost. Zejména pak kvůli nutnosti vytvoření spojovacích prvků, nabízené mají vysokou hmotnost. Komerčním nebo vlastním řešením spojovacích prvků hmotnost nesrazím. Například pro modul 30 (hliníkový profil o šířce jedné strany 30 mm) existuje nastavitelný kloub ze zinkové slitiny Obrázek 20, ten má hmotnost 156 g, rozměry 30x30x40 mm a to bez povolovací páky. Bylo by

tedy velmi nevýhodné použití tohoto řešení, zvláště kvůli váze a velké velikosti, pokud budu brát v potaz umístění celku na rameno do prostoru. [32][33][34][35]

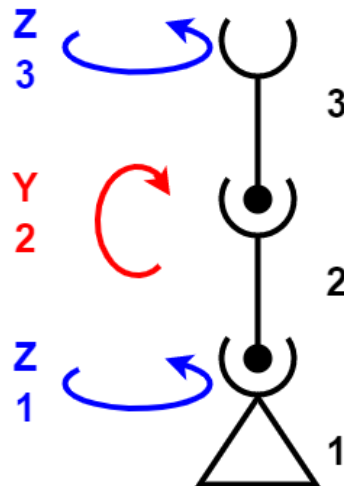
### 3.3. Filmová aparatura

Nejrozmanitější polohovací prvky najdeme v oblasti v příslušenství filmové aparatury filmové techniky. Je zde nabízena široká škála výrobků s různými způsoby uchycení kamer a fotoaparátů. Existují i mnohé varianty pro stabilizaci a upnutí filmové techniky. Způsoby spojení mezi například stativem a fotoaparátem jsou realizovány produkty, které vynikají svojí malou velikostí. Tento nabízený sortiment se cenově pohybuje od stovek do milionů korun. Nabídka je široká a určená amatérskému i profesionálnímu využití. Pozornost budu věnovat potenciálně použitelné technice. Nebudu tedy rozebírat drahou profesionální stabilizující techniku a jim podobné.

#### 3.3.1. Nízkorozměrová upínací technika

Jako například Obrázek 22 - uvedený držák monitoru od firmy SmallRig. Na výšku ani šířku nepřesahuje 50 mm. Rotace okolo osy Z je  $360^\circ$  a rotace kolem osy Y je  $170^\circ$ . Vyniká i svou nízkou hmotností – 76 g. Nosnost má do 1,5 kg. [36]

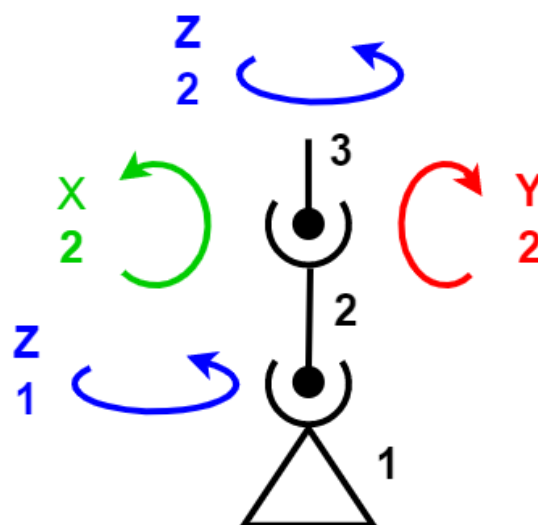
- Tento výrobek – SmallRig byl podroben manuálnímu testování ovladatelnosti a funkčnosti. Bohužel se ukázal jako nevhodný. Zvláště kvůli omezenému manipulačnímu prostoru a nutnosti dalšího nářadí k polohování. Obdobně jsou na tom výrobky s kulovou hlavou zajištěné šroubem. [36]



Obrázek 22 držák monitoru značky SmallRig [36] Obrázek 23 kinematické schéma držáku monitoru



Obrázek 24 kulová hlava Novoflex Ball 19 [89]



Obrázek 25 kinematické schéma Novoflex Ball

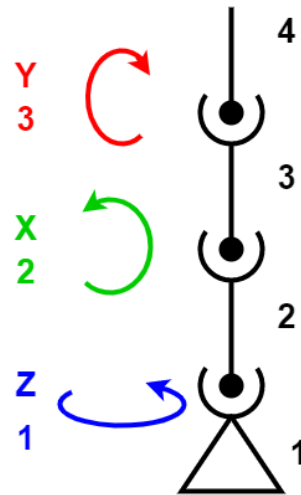
- Často lze nalézt tyto typy s univerzální kulovou hlavou. Ta je zajišťována šroubem, jako je tomu například u Novoflex Ball 19. Tento výrobek byl otestován. Tato metodika zajišťování byla zhodnocena jako nevhodná pro další využití. Stalo se tak na základě nemožnosti oddělitelnosti polohování jednotlivých os. Jakmile se povolí kulová hlava, jen stěží lze polohovat pouze jednu rotaci. V drtivé většině případů se rotuje i s dalšími osami.

### 3.3.2. Stativové hlavy

O něco větší jsou malé stativové hlavy. U těchto produktů, konkrétně Manfrotto MH293D3-Q2 a Videohlava KH-6710, je kladen důraz na dobrý přístup a ruční polohování. Systémy mají hmotnosti nejčastěji od 300 g do 1,8 kg. Kvůli požadavkům na hmotnost budou uvažovat jen ty lehké jako například Manfrotto 056 Junior nebo Manfrotto 234RC. Přes svou nízkou hmotnost mají vyhovující robustnost. [38][39][40][41]



Obrázek 26 videohlava MH293D3-Q2 [39]



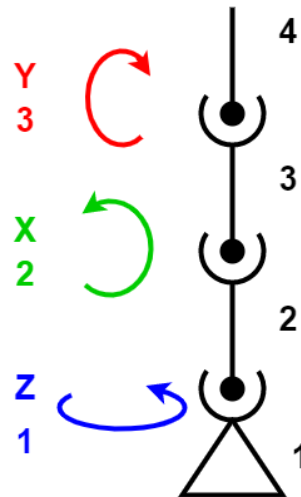
Obrázek 27 kinematické schéma MH293D3-Q2



Obrázek 28 videohlava KH-6710 [38]



Obrázek 29 hlava 056 Junior [40]



Obrázek 30 kinematické schéma 056 Junior





Obrázek 31 hlava 234RC [41]

- Po zvážení této skupiny výrobků jsem je přesto označil jako nevhodné. Nevhodnými se staly například kvůli malým možnostem náklonu, nemožnosti snadných úprav jednotlivých komponentů nebo proto, že polohovací páky byly příliš velké. Což by mohlo být problematické v souvislosti v širším kontextu s předpokládaným využitím. [38][39][40][41]

### 3.3.3. Flexibilní rameno

Pod názvem flexibilní rameno (též „husí krk“) se nachází tento různě polohovatelný systém. Využívá principu do sebe zapadajících částí, které jsou do jisté míry samosvorné. Jejich možnosti natočení v prostoru se odvíjí od polohování jednotlivých prvků. [42]



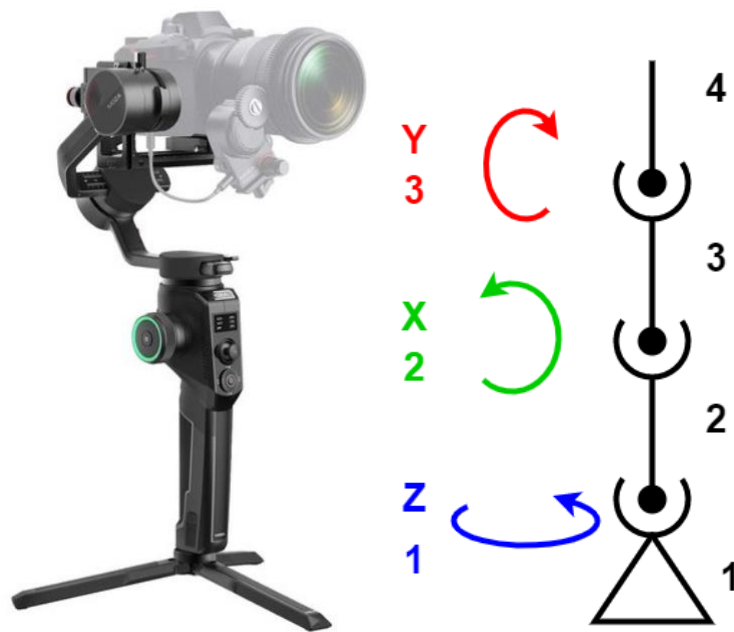
Obrázek 32 flexibilní rameno [42]

- Kvůli nemožnosti samostatného polohování jednotlivých os nejsou vhodná tato flexibilní ramena.

### 3.3.4. Pan tilt

Konstrukce mají měřicí zařízení uprostřed a systém ramen je okolo. Mívají ramena buď z jedné strany, nebo z obou stran a tvoří tak obrácené písmeno U. Tyto konstrukce jsou typické pro gimbal, což jsou motorizované stabilizátory pro kamery, nejčastěji využívající ramena pouze na jedné straně. Systém upnutí měřicí aparatury také nedovoluje ve většině případů otočit

polohu případného senzoru. Setkat se můžeme i s variantami, kde je využit kolejnicový systém formou rybinové drážky, které umožňují vícero způsobů. [43][44][45]



Obrázek 33 Moza Aircross 2 [44] Obrázek 34 kinematické schéma Moza Aircross 2



Obrázek 35 Syrp Pan Tilt konzole [43]

Na schématu vlevo lze vidět možnosti polohování jednotlivých částí produktu nesoucí název Rollei Panoramic Head 200 Mark. Lze si povšimnout dvou rotací – v ose Z na základně a osy Y v pravém horním rohu. Dále tu jsou tři posuvné osy, jedna blízko základny – osa Y a dvě osy X blízko fotoaparátu. První posuvná osa X má za úkol uchytit fotoaparát co nejbližší jeho těžišti a druhá posuvná osa X potom samotné polohování v prostoru. [46] [47]



Obrázek 36 Rollei Panoramic Head 200 Mark [46]



Obrázek 37 makrosáňky FC-1 II [47]

- I přes slibné možnosti instalace celků, oba tyto koncepty nevyhovují kvůli požadavkům zadavatele – snaha vyvarovat se umístění konstrukce okolo senzoru. Zároveň kolejnice se v prostoru budou vždy nacházet, potenciálně znemožňují druhému tomuto celku se senzory, aby byl vedle nebo případně, aby směřoval dále do prostoru. U skupiny s kolejnicovým posuvem je hmotnost od 0,5 kg výše, a to při omezených možnostech pohybu.

### 3.3.5. GoPro příslušenství

Produkty označované jako GoPro jsou malé kompaktní kamery, často využívané pro adrenalinové sporty. Pro tyto potřeby jsou různé, rozměrově malé, polohovatelné komponentní stativy. Zde jsou jednotlivé části na sebe napojeny tak, že komponenty do sebe navzájem zapadají pomocí žeber, na jedné straně tři a na druhé straně dvě. Každý článek je na dvou stranách pojištěn šroubem a maticí. Setkáváme se i s variantami, které obsahují také otočná madla pro lepší polohování. Variabilnost uchycení k různým povrchům je poměrně velká. Ať se již jedná o kolo, ruku, přilbu, nebo předek motorového člunu. Jednotlivé komponenty do sebe navzájem zapadají pomocí žeber, na jedné straně tři a na druhé straně dvě. [48][49][50]



Obrázek 38 4směrový kloub [48]

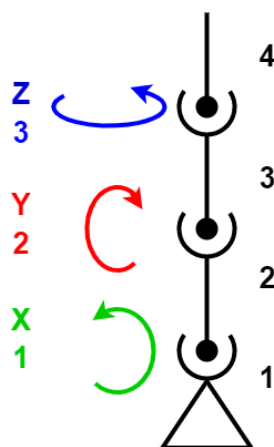


Obrázek 39 držák na říditka [50]

Podobné konstrukce, tedy žeber zaklenutých do sebe se zajištěním šroubem a maticí, využívají i jiní výrobci například v produktech Terronic Basic UH – 400 nebo Sony rameno VCT-AMK1 pro Action Cam. [51][52]



Obrázek 40 Terronic Basic UH-400 [51]



Obrázek 41 kinematické schéma UH-400



Obrázek 42 VCT-AMK1 [52]

- Díky rozsáhlé možnosti využití, konfigurace, nízké hmotnosti a vysoké pevnosti konstrukce využiju tuto tezi, nebo ji obdobné. Velmi vhodné je také oddělení polohování jednotlivých os s možností nezávislé aretace těchto os na ostatních. V budoucnu otestuji možné využití prodáváných celků a pokud neuspějí v testování, modifikuji jejich rozměry, abych vykompenzoval případné nedostatky.

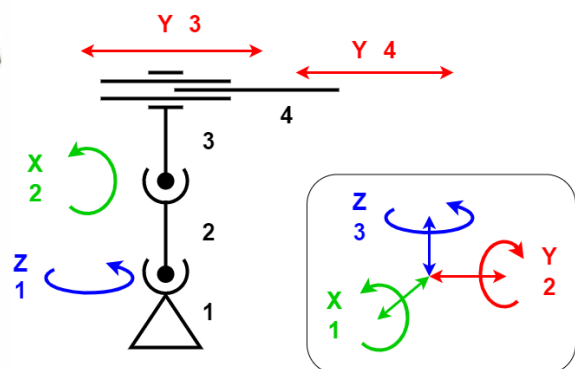
### 3.3.6. Kamerové jeřáby/ramena

Tento typ konstrukce využívá většinou dvou rotačních a jednoho translačního pohybu v prostoru. Některé jeřáby mají opravdu dlouhý dosah, například 7,3 m. Ve větších vzdálenostech pracují s protihmotností. Konstrukce je nejčastěji vyrobena z hliníkové slitiny. Může se vyskytnout i stabilizační prvek v podobě ocelového lanka a podpory uprostřed, který napomáhá nést konstrukci kvůli prohýbání, podobně jako most Golden Gate. [53]

Existují ale i menší, elegantnější varianty. Jako je například Sirui HA-77 horizontální Boom rameno. Tento výrobek disponuje dvěma rotačními osami a jednou translační. Rotační osy jsou zajištěny šroubem a maticí, pro větší stabilitu je jedna rotační osa zajištěna v přípravku s podporou. Translační pohyb je zajištěn pomocí vysouvacího tubusu. První část tubusu se dá posouvat na objímce v rozmezí 300 mm, druhá vnitřní se dá vysouvat až do 270 mm. Má hmotnost 1,2 kg. Pohybuje se rotačně okolo osy Z v rozmezí 360 °, okolo osy X to činí 180 °. Pracovní prostor tohoto ramene tak tvoří polokouli o průměru zhruba 80 cm. [54]



Obrázek 43 rameno Sirui HA-77 [54]



Obrázek 44 kinematické schéma Sirui HA-77



Obrázek 45 jeřáb PROAIM 14ft [53]

- Horizontální Boom rameno má velmi výhodné nastavení v prostoru i ovládání jednotlivých pohybů. Nosnost celku v poměru s rozměry je příznivá. Budu se snažit využít tento prodáváný produkt. Zvláště kvůli rozsáhlé možnosti instalace v pracovním prostoru.

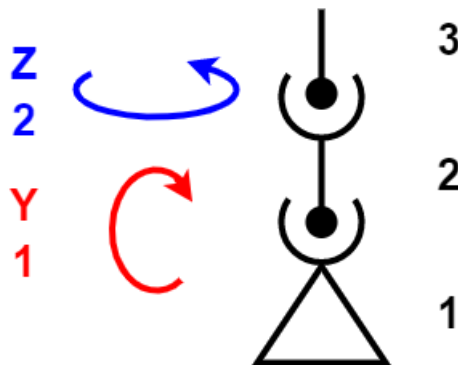
### 3.4. Ostatní

#### 3.4.1. Vojenská zaměřovací technika

Jedná se zejména o dělostřelecké zaměřovače. Mají polohovatelné rotační osy, často i uzamykatelné proti pohybu. Mývají optické komponenty. Vzhledově, velikostně a tím pádem i hmotnostně se od sebe mohou velice lišit. Je třeba si uvědomit enormní robustnost. Je to zvláště u os a optických komponentů, které musí vydržet ohromné rázy. Uvedu zde dva minometné zaměřovače, které se liší svou velikostí. Jeden menší má označení MUM. Druhý větší, který má uzamykatelné osy, má označení MPM-44. [55][56]



Obrázek 46 zaměřovač MUM



Obrázek 47 kinematické schéma MUM



Obrázek 48 zaměřovač MPM-44

- Bylo by nemožné ji bez výrobce modifikovat. Přesto díky možnostem, kterými disponuje, zvláště uzamykání os, stojí za zmínku. Bohužel kvůli obtížné modifikaci, nutnosti použití kovových slitin, s tím spojené vysoké hmotnosti a nízké variabilnosti pohybů v prostoru, tento koncept nevyužiji.

### 3.4.2. Ramenové systémy

Jednou z velice využívaných skupin jsou ramenové systémy. Princip spočívá v několika ramenech, které jsou zajištěny například šroubovým spojením. Mohou být aretovány ale i formou tlačítka, nebo mohou být samosvorné. Příklady spojení pomocí šroubového spoje mohou být držáky panelů pro operátory výroby, nebo pomůcky pro hendikepované. Pomocí aretačního tlačítka, šroubu nebo páky se uvolní ramena a dovolí tak se soustavě pohybovat. Samosvorné jsou například držáky televizorů a monitorů, hravě unesou hmotnost i 30 kg. Samosvornosti využívají také držáky zdrojů světla, často v kombinaci s pružinou, ty však unesou hmotnost do kilogramu. Kromě samosvornosti se dají i zafixovat ve zvolené poloze. [57][58][59]



Obrázek 49 držák MTM7609FM [57]

Obrázek 50 iPpad Wheelchair Mount [58]



Obrázek 51 stolní lampa [59]

- Držáky monitorů a televizorů jsou příliš jednoúčelové, mají omezenější rozsah a jsou konstruovány na zatížení pouze v jedné ose. Také jsou relativně těžké a spousta z nich se nedá pevně zaaretovat. Ramenové držáky světelného zdroje nejsou dostatečně robustní. U držáku panelů i pomůcek pro hendikepované chybí pevné koncové uložení. Koncepty jsou náchylné na změnu své vlastní polohy při existující síle. Pro účel původního použití to ničemu nevádí, je to dokonce i vítané. Z těchto důvodů však toto řešení nevyhovuje pro můj návrh. [57][58][59]

### 3.5. Důvod vzniku tiskáren typu – rapid prototyping

Hlavním důvodem vzniku tiskáren bylo snížení nákladů a zkrácení doby ke zhotovení výrobku v prvotní fázi – prototypu. V průmyslu se klasicky využívá řada složitých a náročných technologií, nákladných jak časově, tak finančně. Prototyp tedy mohl snadno vyjít řádově na desítky tisíc korun kvůli všem pomocným a jednoúčelovým přípravkům, které musely být kvalitní. Nemluvě o práci a energii. Přesto u velkých výrobních linek se tak ušetřily stovky tisíc korun. Bylo nasnadě vyvinout technologii, která by vynikala svou rychlostí vytváření výrobku a jeho nízkou cenou. Zvláště pokud vezmeme v potaz širokou, tvarově variabilní škálu výrobku.

#### 3.5.1. Technologie tisku

V současné době jsou nejrozšířenější tři typy plastových tiskáren. Dělí se dle použité technologie. Jsou to FFF (Fused Filament Fabrication) – vrstvené pokládání roztavených filament, SLA – stereolithografie, SLS (Selective Laser Sintering) - selektivní laserové spékání. [65]

K tiskárnám neodmyslitelně patří i softwarová podpora. Jednak program, ve kterém lze vytvořit model pro tisk (například FreeCad, Autodesk, Solidworks). Také ale program, který zpracuje správné nastavení a komunikaci mezi uživatelem a tiskárnou (PrusaSlicer, Simplify3D, Cura).



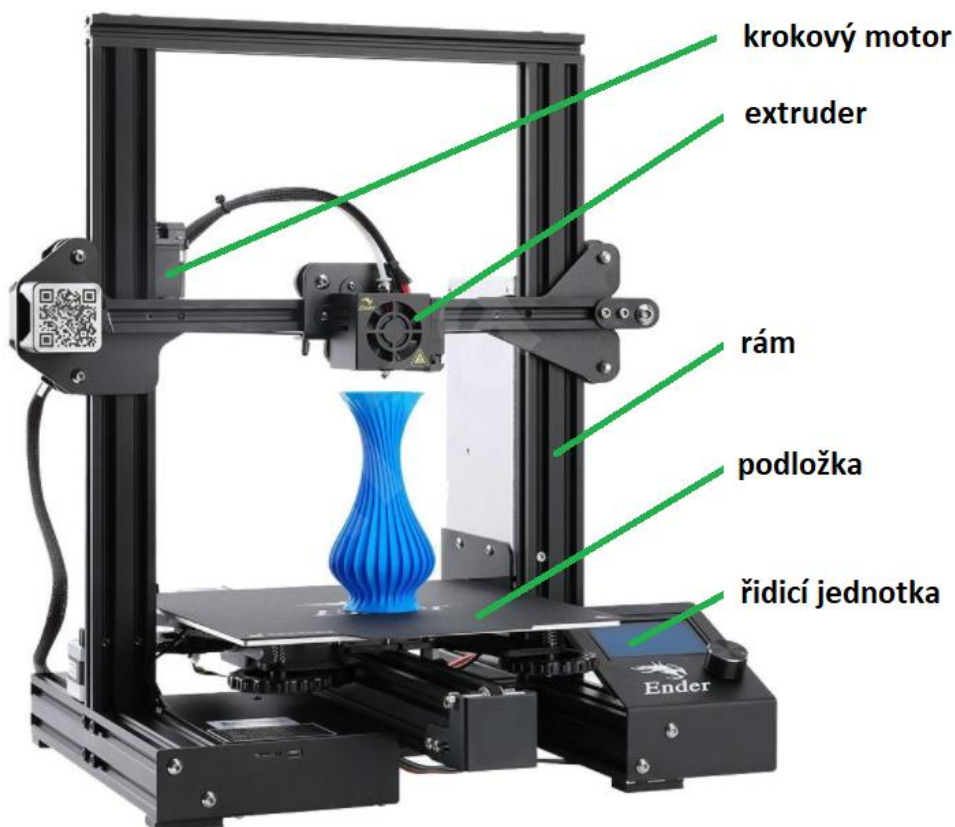
Modely je vhodné převést do formátu „.stl“ (Standard Triangle Language). Popisují hlavně trojrozměrnou geometrii povrchu modelu. Děje se tak za pomoci celistvé trojúhelníkové sítě. Výhodou jsou sjednocené geometrie, vzdálenosti a univerzálnost. Modelovací programy vytvářejí často modely se svou vlastní specifickou příponou, kterou ale nepodporují konkurenční výrobci. Soubor „.stl“ ale podporuje většina. [60]

Když je model hotový, je třeba ho připravit k tisku. To zajišťuje například PrusaSlicer, který je open source. Zpracovává slicování – což je rozřezání modelu na jednotlivé vrstvy pro tisk. Dále pak v něm lze upravovat celou řadu parametrů a funkcí. Zde je výčet několika z nejdůležitějších: změna rozměrů, změna polohy, otáčení, výpočet času tisku, výpočet materiálu potřebného ke zpracování, nastavení tloušťky tištěné vrstvy, délku osvitu UV, vytápění podložky, korekce tisku v jednotlivých osách, rychlosti pojezdů, nastavení kvality tisku flexibilní tloušťkou vrstev, generování podpěr, zobrazení náhledů pomocí řezů v jednotlivých vrstvách, u FFF také promítnutí vnitřní struktury objektu. Díky všem těmto možnostem a mnohým dalším lze velmi ovlivňovat kvalitu povrchu, materiálových vlastností a únosností. Dá se využívat různá kombinace materiálu v jednom tisku za předpokladu, že to umožňuje technologie, použitelné materiály a tím pádem i vlastnosti výtisku.

### 3.5.2. FFF technologie

Tato technologie patří v současnosti k nejnámější a nejoblíbenější. Tohoto věhlasu se dočkala díky jednoduchosti své konstrukce, snadné variabilnosti, ovládání dostupnými krokovými motory. Princip spočívá v natavení plastového drátu, kterému se říká filament, a následnému vytlačení filamenty tryskou. Filamenty se skládají vedle sebe. Jakmile je vrstva hotova, pokročí se k tisku další vrstvy. Tiskne se směrem vzhůru. Pokud má vytištěný objekt prasknout, praská nejčastěji po vrstvách filamentů.

Nejčastějšími komponenty uvedené technologie jsou krokové motory, extruder, rám, podložka, řídicí jednotka. Pojem extruder se označuje celá tisková hlava obsahující zejména filament natavující komponenty, ventilátor a trysku.



Obrázek 52 popis tiskárny typu FFF [61]

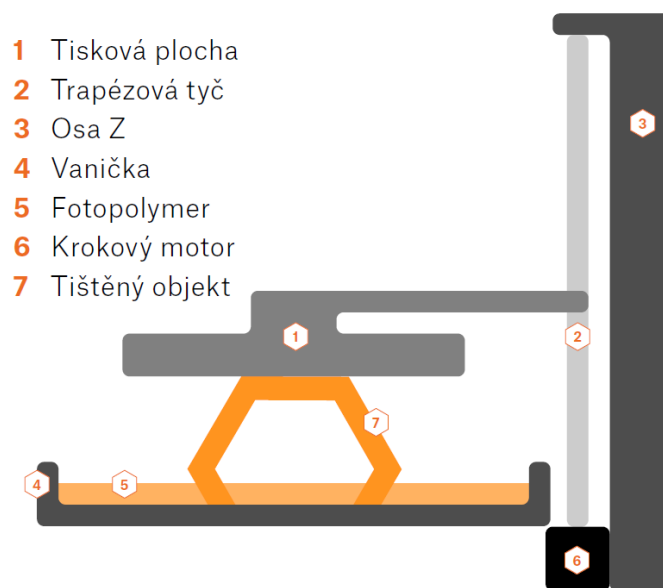
Největšími výhodami FFF technologie jsou rychlost tisku, dostupnost, bezpečnost, variabilita. Výhodou tvoří různé materiály – jejich kombinace variabilita vnitřní struktury, materiálové vlastnosti a cenová dostupnost. Další výhodou je také velká amatérská i profesionální podpora obsahující množství tipů, jak zkvalitnit tisk, která vznikla rozšířením tiskáren s touto technologií mezi širokou veřejnost. Nevýhodou může být kvalita povrchu, případné užívání podpěr a omezení tvarů v závislosti na směru tisku.

Kvalita tisku může být ovlivněna například flexibilní tloušťkou, velikostí trysky, vhodnou orientací, zkorigování rychlosti pojezdů, regulací a stabilizací teploty v pracovním prostoru, dotažením nastavujících komponent a komponent zajišťujících pohyb, umístění podpěr a dokončujícími pracemi. Dokončující práce mohou být: odřezávání a broušení zbytků podpěr, umístění výtisku do acetonu na 5-10 sekund, nebo vystavení výtisku působení acetonových par. [62] [65]

### 3.5.3. SLA technologie

Jedná se o jednu z nejstarších a teoreticky nejpřesnějších technologií. Její počátek se datuje okolo roku 1985 v Japonsku. Technologie využívá fotocitlivého polymeru označovaného

jako resin – pryskyřice ve formě kapaliny, která pod účinky UV záření mění své skupenství z kapalného na tuhé – polymerizuje. Pryskyřice se nachází ve vaničce, která mění vertikálně svou polohu pro další ozařování. Tímto způsobem se vytváří jednotlivé vrstvy. Jako zdroj záření jsou používány UV LED diody stíněné poloprůhlednou LCD maskou, nebo UV lasery. Používají se tři nejběžnější typy této technologie. SLA – užívá k osvětlení laser, který projíždí vrstvou osvitou. DLP (Digital Light Processing) – vrstva je osvětlována digitálním projektorem, promítá pixelově. MSLA (Mask Stereolithography) - vytvrzování probíhá během osvětlování UV led diodou, která je stíněna poloprůhlednou LCD maskou, tím pádem osvětluje také pixelově. Pokud dojde k deformaci vytištěného objektu, chová se v tomto ohledu jako sklo. [62][63][65]



Obrázek 53 popis tiskárny typu SLA [65]

Výhodami jsou: velmi kvalitní povrchové možnosti, možnosti velmi přesných rozměrů a výtisku malých detailních komponent.

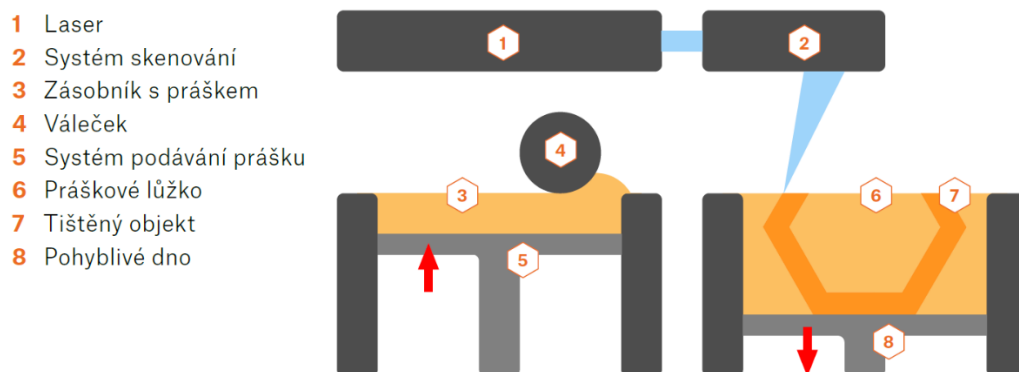
Nevýhody pak plynou z vlastností resinu – toxicita samotné látky a jejích výparů. Dále chemikálií použitých při procesu. Následují pracné dokončovací práce – omytí v isopropylalkoholu, vytvrzování pod UV zářením. Jako nevýhodné také hodnotím omezení rozměrů a v závislosti na směru tisku i případnou délku. Může dojít také k poškození výtisku při odstraňování nevytvrzeného výtisku z podložky. Poškozené komponenty je nutné vždy nahradit, například FEP fólií (tvoří dno vaničky). Variabilita materiálu je omezená. V neposlední řadě i pořizovací náklady a cena tisku není příliš příznivá. Náklady se pohybují v řádu desítek tisíc korun a výše. Tisk tak snadno dosáhne stovek korun. [62][63][65]

Kvalita tisku může být ovlivněna použitím jiného druhu pryskyřice, zmenšením vrstvy tisku, správnou orientací tisku, použitím podpěr, neoddalováním provedení dokončovacích prací, vhodnou délkou vytvrzování, případně příměsí do resinu a zavedením antialiasingu – dle tiskárny. Zmiňovaný antialiasing je v tomto případě funkce programu a tiskárny, ovlivňující vyhlazení hran vrstvy tištěného objektu. [62][63][64][65]

Jednou z příměsí může být i přidání flexibilního resinu do klasického. Cílem je pak zlepšit mechanické vlastnosti výtisku. [64]

### 3.5.4. SLS technologie

Prozatím méně využívaná technologie založená na principu spékání prášku. Celý proces je následující. Do pracovní plochy se nanese prášek, který je sintrován (spékán bez změny skupenství) pomocí laseru. Pracovní plocha se vzdálí a je nanesena nová vrstva prášku, vybrané části vrstvy jsou opět sintrovány. Tato technologie se využívá často výrobu kovových výtisků, které tak dosáhnou pozoruhodných pravidelných kovových struktur. Odpad je zde minimální. [65]



Obrázek 54 popis SLS technologie [65]

Výhody jsou následující. Není nutné používat podpory. Obecně používaný materiál má dobré chemické a pevnostní vlastnosti. Možnost povrchových úprav.

Nejběžnější nevýhody jsou potom tyto. Povrch je často podobný sametu a má póry. Je tedy nutná povrchová úprava. Nízká variabilita použitelných materiálů. Smršťování materiálu při chladnutí. Doba výtisku je dlouhá, zvláště kvůli nutnosti chladnutí, které si žádají zhruba 8 hodin. Aktuálně se používá výhradně ve firmách, proto podpora (profesionální, technická amatérská) ve srovnání s FFF technologií prakticky neexistuje. Největší nevýhodou však tvoří cena. Cena materiálu, tisku, čištění stroje od prášku i cena pořizovací je velmi vysoká. Pořizovací náklady činí několik milionů korun, cena tisku pak až desítky tisíc korun. [68]

### 3.5.5. Typy souřadnicových systémů tiskáren

Při tisku se využívají zároveň různé souřadnicové systémy. Jedná se zejména o jednotlivé pohyby dílčích celků komponent, které se využívají pro tisk. Největší variabilitnost souřadnicových systémů se projevuje u technologie FFF. [66][69]

#### **Kartézský souřadnicový systém**

Tiskárny využívající tento systém mají charakteristický pohyb ve třech translačních osách. Pohyb je zajištěn krokovými motorky. Pohybuje se buď extender, nebo celá pracovní plocha – podložka, na které se tiskne. V současnosti se jedná o nejrozšířenější využití u tiskáren typu FFF, zvláště pak u těch určených pro domácí použití. [66]

#### **Delta tiskárny**

Zde je pracovní plocha statická. Změna polohy extenderu je zajišťována pomocí tří ramen na třech vertikálních podpěrách. Tiskárny obecně mají spíše vyšší rychlosti, kvůli tomu jsou méně přesné oproti tiskárnám využívajícím kartézský souřadnicový systém. Výpočty pro polohování komponent pro tisk jsou náročné. [66]

#### **Polar tiskárny**

Jak název napovídá, je v tomto případě využíván polární souřadnicový systém. Jednotlivé body jsou definovány na obloucích (oproti kartézskému, který je definován v pravouhlém systému přímek). Pracovní plocha se otáčí, zatímco extender se pohybuje ve dvou translačních osách. Implementace této celé soustavy bývá obtížnější, než kdyby tiskárna využívala kartézský systém. [66]

## 3.6. Materiály

### 3.6.1. Materiály pro technologii FFF

Jedná se nejčastěji o cívky s namotaným tavitelným drátem – filamentem. Existují různé druhy, lišící se materiálovými vlastnostmi a možnostmi využití v prostředí. Nejrozšířenější druhy tohoto materiálu jsou PLA, PETG a ASA/ABS. Tyto varianty jsou levné a vhodné jen do začátků tisku. Při pokročilých aplikacích již jsou jejich materiálové vlastnosti nedostatečné. Pokročilé materiály pak jsou FLEX, kompozitní materiály, podpůrné materiály PVA, BVOH a ostatní, do nichž lze zařadit například PP nebo Nylon. [65][74]

### **A) PLA (Polylactic Acid)**

Nejspíše nejpoužívanější materiál k tisku metodou SLA. Povrch výtisku je kvalitní, respektuje velké převisy a podpěry – tyto faktory neberou kvalitě výsledného tisku. Detaily a malé objekty jsou dobře tisknutelné. Má nízkou teplotní roztažnost, při tisku nevznikají výpary a cenově se řadí mezi nejlevnější materiály. Nabízí se také v mnoha barevných provedení.

Mezi největší zápory se řadí křehkost, nízká– pružnost, nízká teplotní odolnost, nejmenší abrazivní odolnost vůči venkovním elementům. [65][74]

### **B) PETG (Polyethylene Terephthalate Glycol)**

Oproti PLA mají příznivější vlastnosti například v pružnosti, nebo při mechanickém namáhání. Cena za lepší vlastnosti je ale komplikovanější tisk, který je náročnější na nastavení. PETG má lesklejší povrch než PLA. [65][74]

### **C) ASA/ABS (Acrylonitrile styrene acrylate, Acrylonitrile butadiene styrene)**

ASA další vývojový krok po ABS. Tyto materiály mají také příznivější vlastnosti například v pružnosti, dále při mechanickém namáhání vůči PLA. ASA je UV stabilnější a má menší teplotní roztažnost než ABS, tisk je tedy uživatelsky přívětivější. Materiály ASA a ABS se dají naleptávat acetonem a díky tomu se dají jednotlivé filamentové vrstvy vyhlazovat, nebo se dají acetonem lepit vytištěné celky. [65][74]

### **D) FLEX – flexibilní filamenty**

Vlastnosti tohoto materiálu vynikají v tom, že svým chováním připomínají gumu. Nepraskají, ale ohnou se. Výrobci je nabízena řada stupňů tvrdosti. Tento tisk se dá označit jako uživatelsky náročný. Je vhodný například na tisk silentbloků, imitací kol u modelů aut, nebo obalů na mobil. [65][74]

### **E) Kompozitní materiály**

Na trhu je celá řada kompozitních materiálů, nejběžnější z nich jsou woodfill, copperfill, bronzefill, karbonový kompozit atd. Jejich složení se vyznačuje dvěma základními složkami. Primární plastová složka a sekundární složka, která má konzistenci prachu. Tento materiál se využívá hlavně kvůli finálnímu vzhledu povrchu. Nevýhody pak pramení právě ze sekundární složky, která je abrazivní. Hrozí tedy ucpaní komponent tiskárny a případnou abrazi, nejčastěji se projevující na trysce. [65][74]

## F) Podpůrné materiály PVA/BVOH, HIPS (Polyvinylalkohol, Butenediol vinyl alcohol copolymer)

Využívání podpěr při 3D tisku se snaží každý technolog vyhnout, pokud to lze. Úskalí tví v nutnosti odtržení a případném zvlnění struktury tištěného objektu. Tyto nedostatky mohou řešit právě podpůrné materiály. Jejich největší prioritou je rozpustnost, ať již ve vodě nebo v případě materiálu HIPS v lemonsolu. PVA a BVOH mají podobnou teplotu tisku jako PLA, proto se využívají zejména jako podpora tohoto materiálu. HIPS je vhodný pro ABS. Tyto materiály se dají označit jako velmi specifické, do toho se také odráží jejich vysoká cena. Tyto materiály je nutné tisknout na tiskárnách, které umožňují použití více tištěných materiálů zároveň. Největší rozdíl mezi PVA a BVOH je pořizovací cena a tisknutelnost. [65][74]

## G) PP (Polypropylene), Nylon

PP vyniká v porovnání s ABS a PLA vyšší teplotní odolností, pružností a odolností vůči chemikáliím. Výhoda nylonu spočívá odolností, pevností a vysoké adhezi ve vnitřní struktuře mezi vrstvami. V porovnání s ostatními materiály je více odolný vůči tření. Tím pádem je vhodným kandidátem pro výrobu mechanických dílů. Největší nevýhodou je hygroskopie, která se nepříznivě projevuje při tisku. [65][74]

Pro přehlednost uvedu tabulku hodnot jednotlivých materiálů. V tabulce je uvedena tuhost, odolnost a tisknutelnost v datovém formátu X/10. Je obtížné zvolit jiný datový formát, například koeficient tisknutelnosti. Tyto hodnoty tedy reprezentují pouze jakousi známku. Ceny uvedené v dolarech je nutné brát orientačně. Zejména kvůli rozšířenosti materiálů, dostupnosti prodejců a měnící se ekonomické situaci. [65][74]

Vlastnosti \ Materiály	PLA	PETG	ASA	FLEX	PVA	HIPS	PP	Nylon
Mez pevnosti v tahu	65 MPa	53 Mpa	55 Mpa	26-43 Mpa	78 Mpa	32 Mpa	32 Mpa	40-85 Mpa
Max. provozní teplota	52 °C	73 °C	95 °C	60-74 °C	75 °C	100 °C	100 °C	80-95 °C
Hustota g/cm <sup>3</sup>	1,24	1,23	1,07	1,21	1,23	1,03	0,9	1,1
Koeficient tepelné roztažnosti [μm/m-°C]	68	60	98	157	85	80	150	95
Pořizovací náklady	10-40 \$	20-60 \$	38-40 \$	30-70 \$	40-110 \$	24-32 \$	60-120 \$	25-65 \$
Tuhost	7,5/10	5/10	5/10	1/10	3/10	10/10	4/10	5/10
Odolnost	4/10	8/10	10/10	9/10	7/10	7/10	9/10	10/10
Tisknutelnost	9/10	9/10	7/10	6/10	5/10	6/10	4/10	8/10

Tabulka 1 srovnání materiálu pro tisk metodou FFF [74]

### 3.6.2. Materiály pro technologii SLA

Tyto materiály se souhrnně označují jako resiny, fotopolymery nebo světlocitlivá pryskyřice. Výchozí skupenství pro tisk je tekuté. Následně je měněno dopadajícími světelnými paprsky na skupenství pevné. Cenová škála se pohybuje od stovek korun českých za litr až po deset tisíc korun za litr. Výtisky technologii SLA bývají křehčí v porovnání s metodou FFF. Jejich případná deformace je podobná jako u skla. Resiny obsahují tři základní složky. Je to jádro pryskyřice – monomery a oligomery, fotoiniciátory – molekuly reagující na UV záření způsobující vytvrzování a přísady. Přísadami lze měnit materiálové či povrchové vlastnosti, tyto přísady tvoří jako jediné hlavní rozdíly mezi jednotlivými typy resinů. Rozdělení resinů je dle způsobu předpokládané aplikace. [64][65]

Typ resinu	Charakteristiky
Standardní resin	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊕ hladký a detailní povrch</li> <li>⊖ křehký</li> <li>⊖ není vhodný pro mechanické díly</li> </ul>
Clear resin	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊕ částečně transparentní</li> <li>⊖ po dodatečném opracování je na pohled téměř čistý</li> </ul>
Odlévací resin	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊕ detailní povrch</li> <li>⊕ vhodný pro vytváření odlévacích forem</li> <li>⊕ po vyhoření zůstává naprosté minimum popela</li> </ul>
Tvrdé a odolné resiny	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊕ vlastnostmi podobné materiálu ABS či PP</li> <li>⊕ částečně pružné</li> <li>⊕ vhodné pro mechanické díly</li> <li>⊖ nízká teplotní odolnost</li> </ul>
Teplotně odolný resin	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊕ vysoká teplotní odolnost</li> <li>⊕ používá se na vstřikovací formy</li> <li>⊖ vysoká cena</li> </ul>
Dentální resin	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊕ zdravotně nezávadný</li> <li>⊕ vhodný pro tvorbu zubních implantátů</li> <li>⊕ vysoce odolný otěru</li> <li>⊖ vysoká cena</li> </ul>
Flexibilní resin	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊕ vlastnostmi podobný gumě (tvrdost 70A)</li> <li>⊖ menší rozměrová přesnost výtisku</li> </ul>

Tabulka 2 přehled typů resinu a vlastnosti [65]

### 3.6.3. Materiály pro technologii SLS

Souhrnně se dají tyto materiály rozdělit na plasty a kovy. Případně i jejich kombinace – například materiál zvaný Alumid, což je plast s 50% příměsí hliníkového prášku.

Tato technologie stále není běžně dostupná. Existují firmy, které se na tisk touto metodou specializují, tyto podniky si ovšem drží poměrně úzké rozpětí používaných materiálů a jsou to zakázkové tisky. Například firma ONE3D nabízí zakázkovou výrobu z osmi plastových materiálů



třech kovových. V porovnání s konvenčním obráběním je tato nabídka omezená. Konkrétní rozdělení však není možné. Je to z důvodu vysoké specializace této technologie a tím pádem i vysoké ceně. Jak technologie, tak využívané materiály pro tisk jsou stále v počátcích svého vývoje. [76][77][78]

## 4. Experimentální prototypy

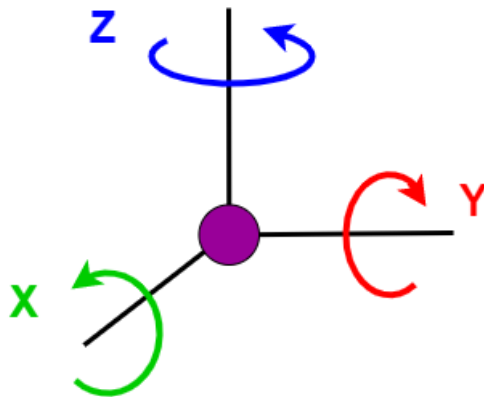
### 4.1. Rozdělení držáku na dvě části

K maximálnímu využití potenciálu pohybu v prostoru jsem zvolil přístup, který rozdělí držák na dvě hlavní samostatné části. První z nich by měla vykonávat největší pohyby v pracovním prostoru. Samozřejmě za splnění požadavků zadavatele. Zmíněné požadavky jsou hlavně jednoduchost konstrukce a relativní lehkost. U této první části by bylo vhodné zajistit dostatečnou robustnost. Případná větší hmotnost nebude činit problém, protože je předpokládán úchyt první části k pevné základně. Bylo by výhodné, aby těžiště první části držáku bylo umístěno co nejbližší k základně. Eliminují se tak případné negativní vlivy od velkého momentu vzhledem ke vzdálenosti a váze aparatury. Podobný princip rozdělování na celky se využívá běžně v robotice.

Zároveň by tato první část neměla zabírat v pracovním prostoru větší objem, než je nutné a neměla by zanechávat nevyužité části konstrukce ve směru předpokládaného uchycení senzoru. První část by tedy měla eventuálně umožňovat nastavení polohy držáku i do obtížněji přístupných míst. Nelze nezmínit i nosnost tohoto členu. Ta by měla být dostatečná z důvodu unesení dalších dílčích členů držáku stejně jako senzory a zaměřovací pomůcky. V tomto případě by se hodilo využít nějakého z komerčně nabízených produktů. Splnil by se tím pádem požadavek zadavatele na stavebnicový koncept a užití již otestovaných funkčních celků. Tato první část by se tak mohla snadno vynechat bez zasažení funkčnosti držáku.

Druhá část by měla mít možnost přesného polohování. Pokud by to bylo možné, bylo by vhodné najít takový produkt, který disponuje vlastnostmi stavebnicového systému. Znamená to zachování různé variabilnosti v konstrukci, přidávání a odebírání elementů. U zakoupeného produktu je ale třeba mít na paměti, že zde musí být možnost poměrně jednoduše modifikovat jednotlivé části konstrukce k dosažení určitých vlastností. Požadované vlastnosti jsou například vytvoření vlastních kompatibilních dílů, snadné umístění sférických retro-reflektorů. Je zde také nutnost vzít v potaz následné měření polohy laserem. V tomto směru je důležité, aby si konstrukce nekryla zbytečně odražeče a nebylo jich na jednom elementu více než jeden.

S odražeči se také pojí následný výpočet poloh při instalaci držáku v prostoru. Předpokládá se využití inverzní kinematiky k dosažení přesné polohy jednotlivých částí držáku. Z tohoto důvodu by bylo velmi přínosné zvolit konstrukci, kde by se jednotlivé rotační osy protínaly v jednom bodě. Podobně jako například u robotických rukou. Usnadnilo by to kinematické softwarové výpočty. Je třeba přiložit váhu k tomuto faktu, přestože softwarová stránka věci není obsahem mé práce.



Obrázek 55 promítnutí tří os rotací v jednom bodě

**POZNÁMKA** – tento aspekt přišel až v průběhu zpracování jednotlivých prototypů.

Při případném navrhování v pozdější fázi by bylo nasnadě si uvědomit také možnosti uchycení kabelových svazků různých velikostí. V dnešní době se samozřejmě dá komunikovat přes Wifi nebo Bluetooth. Pro účely vývoje je nezbytná možnost využití kabelových svazků. Držák tedy bude možné využít pro různé typy senzorů v rozličných polohách.

Toto rozdělení na dvě části plyne z vyzorovaných vlastností, jak přesné laboratorní techniky či stojanu s úchylkoměrem, tak i vlastního posuvu například u vojenské zaměřovací techniky. Velké posuvy se zde daly realizovat přes různé kolejnicové systémy nebo jimi otáčet při uvolnění páky. Případně jsou velké posuvy zprostředkovány přes uchycení do stolu obsahujícího předem předdefinované otvory pro šrouby. Následně jemné a přesné posuvy byly vykonávány například přes mikrometry, nebo jinými podobnými otočnými elementy. Tyto vlastnosti propůjčili aparatuře schopnost vykonávat velké pohyby dostatečně rychle a následně malé pohyby činit dostatečně jemně a velice přesně.

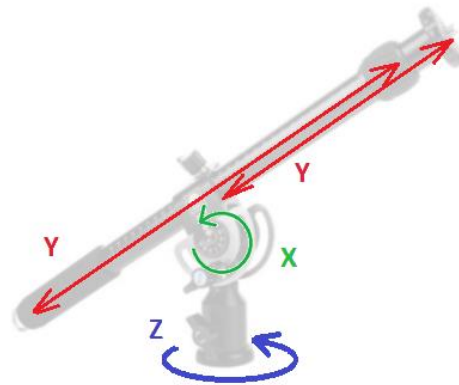
#### 4.1.1. První část – Nosič

Pro první část držáku se z dostupných variant jeví jako nejlepší varianta využití polohovacího ramena. Konkrétně pak výrobek s označením „Sirui HA-77 horizontální Boom rameno“. Kinematické schéma se nachází na Obrázku 58. Základní parametry udávané

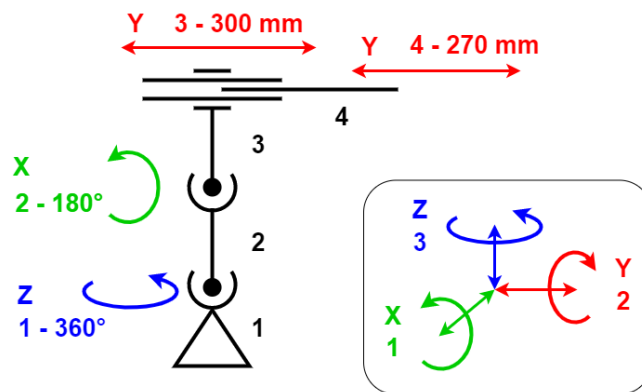
prodejcem jsou pro tento produkt následující. Maximální délka 770 mm, minimální délka 500 mm. Základna (v tomto případně netubusová část produktu) má délku 200 mm. Udávaná hmotnost činí 1,2 kg. Celek má nosnost 5 kg. Výrobce je firma Sirui. Cena je od pěti tisíc korun českých. Tento celek budu v práci označovat jako Nosič. [54]



Obrázek 56 rameno Sirui HA-77 [54]



Obrázek 57 vyznačení pohybů Nosiče [54]



Obrázek 58 kinematický rozbor pohybů a rozsahů Nosiče

Tento výrobek je rozdělen na dva funkční celky. První celek, prodejcem označovaná základna, umožňuje uchycení například ke stativu pomocí otvoru pro šroub 3/8". Pokud bych popisoval celek ve směru od tohoto spojení tak by první konstrukční prvek byl další šroub zapuštěný do tyče. Díky tomuto aspektu lze celým výrobkem pohybovat plynule rotačně v horizontálním směru, v rozmezí celých 360 °. Dále je tu vertikální rotační polohovatelná platforma, která využívá plechových podpěr z obou stran, patrně kvůli větší stabilitě. V tomto směru, vertikálním, ji lze otáčet ve 180 °. Na této platformě je pak umístěna objímka, díky které lze polohovat translační pohyb první tubusové části, také případný rotační pohyb tubusové části. Tento rotační pohyb nebudu uvažovat jako primární a cílený.

Pro lepší pochopení možností pohybu zde uvádím výše kinematické schéma a náznak pohybů na rameni Sirui HA-77. Krátká rekapitulace možných pohybů ramena: ve směru od spodu

výše – horizontální rotace 360 °, vertikální 180 °, vnější tubus na objímce má translační pohyb 300 mm, vnitřní tubus 270 mm, nosnost produktu 5 kg. Těleso 1 je část základny s horizontální rotací. Těleso 2 je část základny s vertikální rotací. Těleso 3 je vnější tubus. Těleso 4 je vnitřní tubus. Neuvažuji zde rotaci mezi objímkou od Tělesa 2 a Tělesem 3 – tubusem.

Druhý celek je dvoukusový tubus zajíždějící do sebe. První kus, vnější tubus, je ke konstrukci připojen pomocí objímky. Tato objímka zprostředkovává translační pohyb v rozmezí až 300 mm. Pro lepší přehlednost je zde centimetrová stupnice. Druhý kus, vnitřní tubus, má možnost translačního pohybu až 270 mm, také obsahuje centimetrovou stupnici. Poloha vnitřního tubusu je zajišťována otočným kroužkem umístěným na konci prvního tubusu.

Na jednom konci tubusového celku se nachází odnímatelné madlo s pěnovou úpravou, na konci madla je hák z drátu. Na druhém konci tubusového celku se nachází základna pro uchycení například fotoaparátů a jiných držáků. Uchycení funguje pomocí oboustranného šroubu se dvěma různými šroubeními. Funguje tak, že po uchycení objektu na konec tubusu na menší ze šroubení druhé šroubení zajistí doraz do vnitřní struktury. Druhé šroubení se pojistí rotačním pohybem základny. Tato celá skutečnost mi v minulosti tvořila vrásky. Snadno se stane, že například oboustranný šroub je vysunutý příliš, takže se neutáhne k tubusu. Nebo se při uchycení k objektu matkou začne matka protáčet. Chce to malinko trpělivosti, jakmile ovšem člověk pochopí sled událostí, funguje tento spoj bezproblémově.

Přínos tohoto ramene – Nosiče spočívá zejména v tom, že dramaticky zvyšuje pracovní rádius držáku. Zároveň má dostatečnou robustnost a velkou nosnost. Pracovním prostorem se tak stává většina polokoule o průměru 115 cm, za předpokladu, že uvažuji umístění například na zemi. Na stativu by bylo možné uvažovat prostor působení jako téměř celou kouli, ale bez kulové výseče.

#### 4.1.2. Druhá část

Druhá část držáku by měla mít možnost polohování konstrukce na základě jemnějších pohybů a pokud možno přesných. První část vykoná největší pohyb v prostoru, další jemné pohyby by mohly být díky velikosti konstrukce těžkopádné. První část také nelze snadno modifikovat. Druhá část držáku, jakožto konec, by tedy měla mít vlastnosti umožňující rotaci senzoru ve třech osách. To vyplývá z přání zadavatele. Měla by být snadno modifikovatelná a některé jednotlivé části by měly mít možnost být odebrány bez ztráty funkčnosti celku.

### **Závěr rozdělení:**

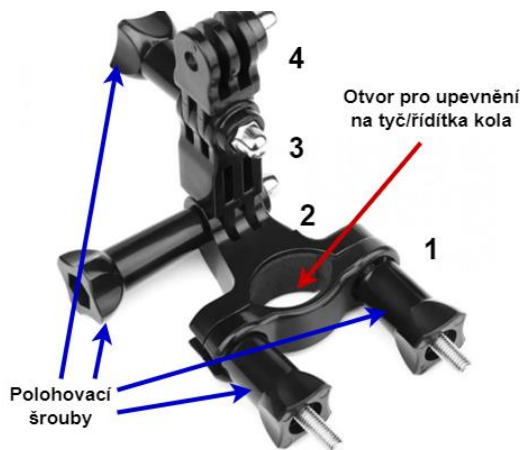
- Rozdělení celku na dva dílčí celky přináší hlavně možnost velkých hrubých posuvů (díky první části) v řádu desítek centimetrů a následně vzhledem k aplikaci druhé dílčí části, bude možné dopolohovat jemnými posuvy pozici senzorů na žádanou polohu. První dílčí část bude tvořena produktem Sirui HA-77. Druhou budu prototypově vytvářet.

## **4.2. Návrh Prototypu 1**

Pro účely zhotovení druhé části držáku jsem vybral stavebnicový systém GoPro. Rozhodl jsem se tak díky možnostem tohoto systému. Konstrukce GoPro je dostatečně malá. V základní konfiguraci produktu je možnost polohování již obsažena. Případné dopracování dalších kompatibilních dílů není problematické, konstrukce je jednoduchá. Má velké možnosti umístění těchto držáků na různé povrchy, ať se již jedná o nalepení, objímky nebo přísavky. Tvarová variace dílů je dostatečně zajímavá. Právě tento aspekt byl jedním z hlavních rozhodovacích faktorů, proč zvolit právě tuto značku proti konkurenčním. Konkurence sice také využívá podobných konstrukcí s žebrovým spojením, ale nemá tak rozsáhlé pole tvarového působení. Některé celky obsahují přípravky pro šrouby sloužící pro jejich lepší utahování. Daly by se nazvat páčkami, nebo madly. Tato madla by posloužila dobře při polohování – pokud budeme vyvíjet sílu otáčení dále od středu, budeme schopni toto natočení jemněji konfigurovat. Neobsahuje možné rozvětvení a napojení dalších dílů pro laserové odražeče. Přístupy a plochy pro nalepení sférických retro-reflexivních odražečů jsou žalostně nízké, ne-li nemožné.

Po mnohých konzultacích s vedoucími práce i zástupci firmy, bylo stanoveno jako řešení těchto nedostatků následující. Vytvoření dílů k otestování možností polohování systému GoPro s laserovým odražečem. Sférické retro-reflexivní odražeče by bylo vhodné umístit do konstrukce. Jejich umístění do bodu, kde se konstrukce setkává, nebo co nejbližší středům otáčení, bude výhodné. Díky tomuto umístění budou eventuální výpočty pro polohu a měření instalace přesnější.

Vybral jsem dva produkty. Jeden produkt s názvem „Držák na řídítka pro GoPro Hero 10/9/8/7/6/5/4/3 a SJCAM“ Druhý produkt již bohužel není v nabídce, patrně kvůli neoriginalitě. Druhý produkt se lišil hlavně tím, že neměl jen lineární spojení, ale obsahoval spojení do pravého úhlu. Tento díl jde dobře vidět Obrázku 60.



Obrázek 59 popis držáku na řídítka [50]



Obrázek 60 vyznačení pravouhlého dílu

Na fotce výše je dobře vidět sestavená konstrukce ze zakoupených produktů. Lze si povšimnout madel. Tato konstrukce ale neobsahovala možnost připojení například na stativ pomocí šroubu. Zároveň lze vidět, že plochy konstrukce nedovolují připevnění sférického retro-reflexivního odražeče.

Po dalších diskusích se zadavatelem a se sestaveným systémem GoPro jsem tedy byl schopen vytvořit první prototyp. Ten řešil několik aspektů. První díl řešil uchycení stavebnicového systému na stativ pomocí matice. Tento díl měl žebrový spoj pro další díly. Další díl řešil umístění odražeče doprostřed jednoho dílu. Nakonec tu byl ještě jeden díl, který měl simulovat finální polohu senzoru. Pro zaměření středu senzoru ji simuloval tak, že byl nahrazen odražečem, aby se zjistilo přesné chování různých kombinací a možnosti polohování senzoru.

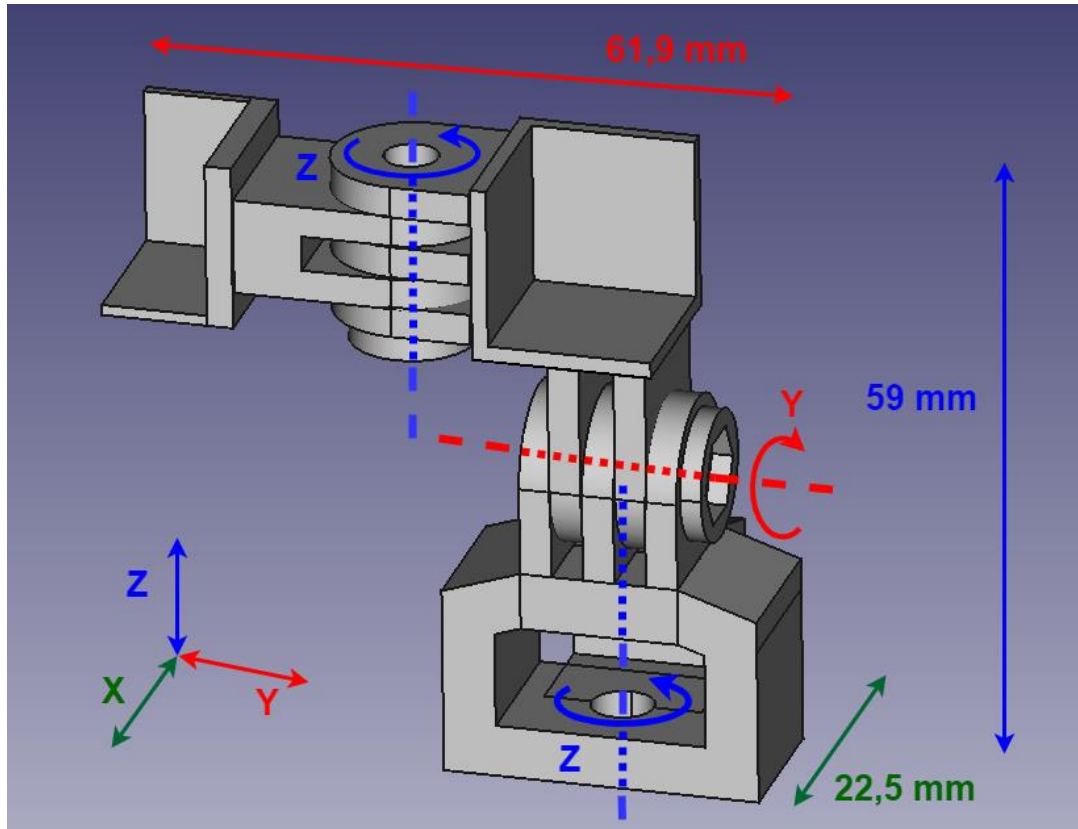
Na stativu se nacházel díl vytvořený jedním z kolegů z výzkumného oddělení. Tento díl byl talířové konstrukce s místem úchyty pro odražeč. Jeho funkce spočívala v zaměření výchozí polohy stativu. Můj návrh se umístil na tento díl. Cíl mého testování – ověření funkční použitelnosti konceptu GoPro – jím nebylo nijak podmíněné.

#### 4.2.1. Vypracování Prototypu 1

Za účelem ověření funkčnosti jsem navrhl tři základní komponenty Prototypu 1. Mají za účel zjistit, zda-li je tento koncept použitelný v praxi. Prototyp 1 se skládá ze tří částí: Základny, Středového dílu a Koncového dílu. Základna spojuje Nosič z první dílčí části držáku a zbytek tištěných dílů. Pro ověření funkčnosti zde musí být prostor pro vlepení koutových odražečů – prostory tvoří tři na sebe kolmé plochy na středovém a koncovém dílu. Odražeče se budou na své místo lepit tavným lepidlem.

Pro vizuální představu jedné možné varianty sestavení všech třech částí prototypu 1 zde uvedu zaklesnutí všech třech tištěných dílů do sebe na následujícím schématu. V modelu nejsou spojovací materiály, jsou však schematicky naznačeny. Spojovací materiály tvoří šroubový spoj.

**Sestavený celek z obou částí pak bude mít podobu:**

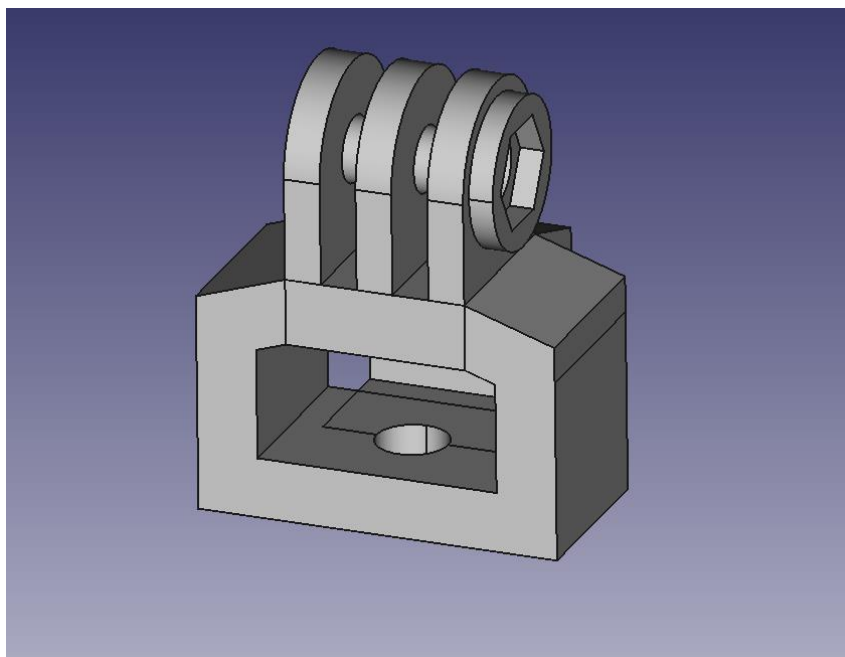


Obrázek 61 sestava Prototypu 1

#### 4.2.2. První díl Prototypu 1 – Základna

První díl jsem navrhl na základě nutnosti spojovacího prvku mezi držákem, stativem a dalšími členy držáku. Tuto funkci dokázal splnit.

Na tomto Obrázku 62 lze vidět první díl prototypu. Je vystavěn s ohledem na nízký rozměr – 29x30x22,5 mm. Spodní a vrchní část jsou spolu spojeny třemi podpěrami, dvě po stranách a jedna vzadu. Na vrchu je žebrová konstrukce umožňující spojení s konceptem GoPro. Na vnější straně jednoho žebra je šestihranný otvor pro matici. Tento prvek tu slouží k zamezení protáčení matice.



Obrázek 62 Základna Prototypu 1

Při pozdější implementaci tohoto dílu na Nosič (rameno Sirui HA-77) vyšlo najevo, že je otvor pro šroub příliš malý. K této chybě došlo, protože jsem otvor navrhoval na oboustranný šroub s různými průměry. Menší průměr šroubení ale nedokázal obsáhnout celého vnitřního šroubení matice, takže se v otvoru musela nacházet i druhá část, průměrově širší, oboustranného šroubu. Nedostatek jsem odstranil vyvrtáním. Dalším nedostatkem se ukázal být malý manipulační prostor pro matici – do prohlubně se vešla matice a měla i místo pro otáčení, ale neumožňovala vsazení klíče. Tento aspekt bylo třeba vyřešit pro funkční spojení s Nosičem. V pozdějších verzích prototypů jsem celý díl zvětšil s ohledem na adekvátní manipulační prostor, samozřejmě po konzultacích s vedoucím práce a zadavatelem o tom, zdali je možné konstrukci vůbec zvětšit a do jakých rozměrů.

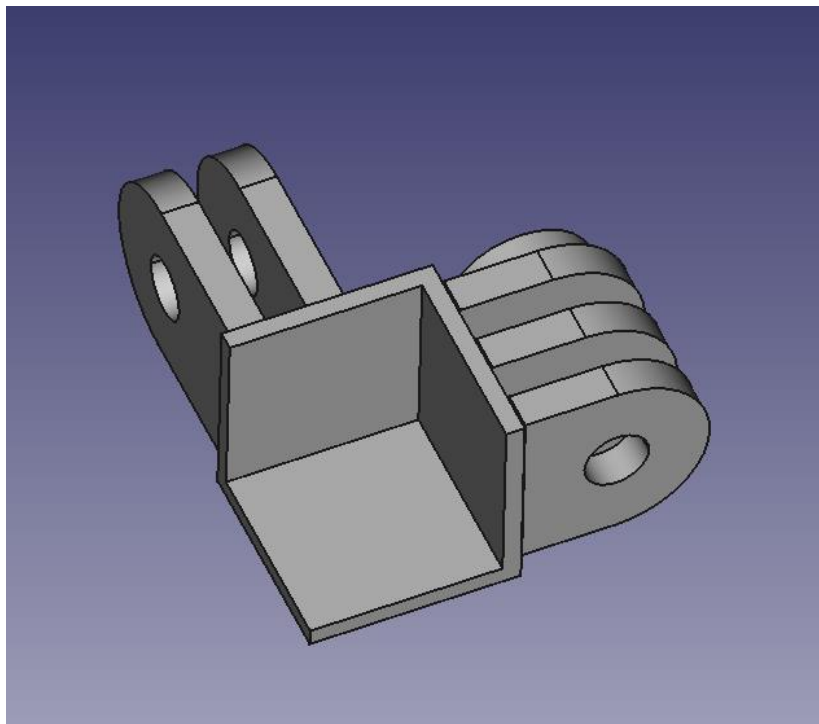
#### 4.2.3. Druhý díl Prototypu 2 – Středový díl

Druhý díl jsem konstruoval na základě potřeby existence testovacího dílu, který by měl ve své konstrukci odražeč. Ideálně co nejbliže osám otáčení a veprostřed konstrukce. Byl jako předešlý díl kompatibilní se systémem GoPro.

Na níže uvedeném Obrázku 63 je vyobrazen druhý díl prototypu. Celkové rozměry jsou 37,5x32,5x17 mm. Prostřední část tvoří plochu pro koutový odražeč. Po dvou stranách je potom žebroví. Na levé straně jsou jen dvě žebra. Na pravé jsou tři žebra. V pozadí je opět výstupek s šestihranným otvorem sloužící proti protáčení matice. V prostředku byly strany ploch vybrány s ohledem na větší množství lepidla a zapasování odražeče do něj. Jedna plocha



disponuje rozměry 15x15 mm. V tomto případě bylo výhodné mít odražeč v místě průniku dvou rovin otáčení.

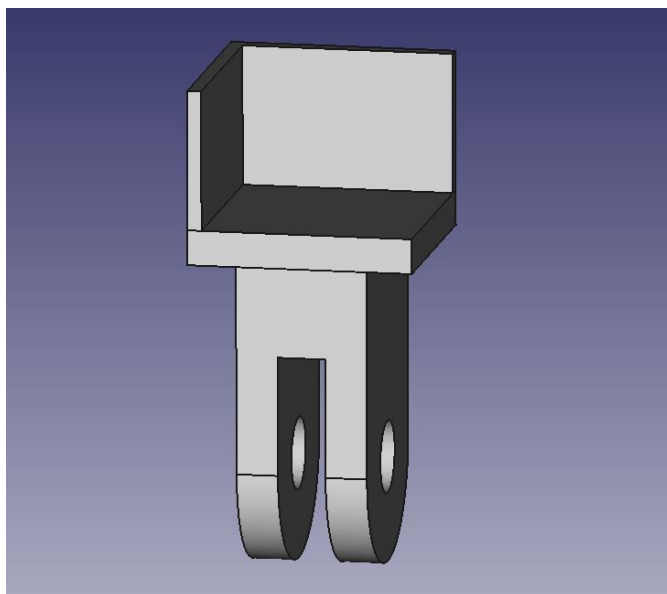


Obrázek 63 Středový díl Prototypu 1

Po implementaci bylo zjištěno následující. Zapasování odražeče do lepidla není nejvhodnější řešení, zvláště když je lepidla více. Aplikace menšího množství lepidla způsobuje malou úhlovou odchylku sférického retro-reflexivního odražeče, která primárně nevadí, zvláště když snímá pod úhlem  $\pm 50^\circ$ . Nehrozí pak například případné nalepení lepidla na odrazovou plochu, navíc se s odražečem snáze manipuluje. Orientace plochy pro odražeče by měla být v budoucnu umístěna tak, aby plocha byla pod odražečem ve směru působení gravitační síly. Zredukuje se tak možnost nechtěného odpadnutí odražeče v případě vnějších vlivů.

#### 4.2.4. Třetí díl Prototypu 1 – Koncová díl

Třetí a poslední díl prototypu jsem projektoval s cílem simulování senzoru. Má za úkol zjistit možnosti polohování tohoto koncového prvku. Dosáhne toho pomocí umístění sférického retro-reflexivního odražeče.



Obrázek 64 Koncový díl Prototypu 1

Na Obrázku 64 modelu třetího dílu lze vidět dvě části. Celkové rozměry jsou 27,5x16x16 mm. První jsou žebra, která jsou koncipována na konec sestavy. Druhé jsou plochy pro umístění odražeče. Tentokrát mají poněkud jiný rozměr než u druhého dílu prototypu. Dvě strany jsou sníženy proto, aby kraje dílu nestínily a neomezovaly rozsah odražeče. Při této struktuře vznikla možnost nalepit odražeč směrem vzhůru, bez omezení odražeče.

Tento díl byl spíše vytvořen pouze pro odzkoušení chování a zjištění možností simulovaných senzorů. Přesto jsem využil koncept snížených ploch i u dalších dílů, které měly nést odrazky.

#### 4.2.5. Výroba prototypu 1

Obecně vzato při vývoji a výrobě prototypů se nejčastěji postupuje tak, že se jako první vytisknou prototypy na tiskárně typu FFF. Je to kvůli ušetření nákladů a rychlosti. Samozřejmě pokud tomu situace nahrává a nejsou dostupnější jiné lepší metody výroby. Za těchto podmínek je tento postup všeobecně přijímán. Metoda FFF je tak hojně známá, rozšířená a člověk se s ní snadno setká v běžném životě.

Zvolil jsem poněkud jiný přístup po konzultacích s vedoucím práce. Výzkumné oddělení Průmysl 4.0 na CIIRC u mělo k dispozici plastovou práškovou tiskárnu. Byla by škoda tuto možnost neprozkoumat a nevyzkoušet. V době navrhování prvního prototypu jsem si pohrával s mnohými konstrukcemi lišícími se svou složitostí. U některých z nich hrozilo, že by byly na konvenčních tiskárnách složitě tisknuty, a to i se systémem podpor. Prášková tiskárna typu SLS

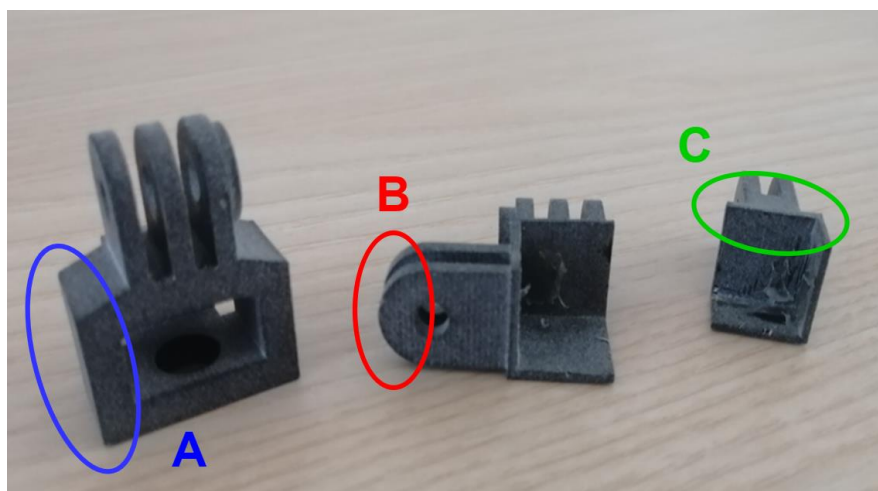
ovšem žádnými tvarovými omezeními netrpí, až tedy na velikost. Naskytla se mi tak možnost otestovat, jak dlouho bude trvat tisk a v jaké bude kvalitě.

U prvního dílu by se například mohly vyskytnout komplikace vzhledem k dutině v dílu. U ostatních dílu by to bylo hlavně u otvorů v žebrech určených pro šrouby. Výzkumné oddělení bylo tak laskavo, že vyhovělo mé žádosti a mnou zasláné modely vytisklo.

S cílem ušetřit práci, energii a peníze tisklo oddělení CIIRC u můj prototyp až po naplnění celého tiskové prostoru práškové tiskárny. Vzhledem k tomu, že tento celý tisk se může pohybovat v nákladech cca 30 000 Kč, bylo třeba počkat právě na naplnění celého tiskového prostoru práškové tiskárny. Tento fakt byl ovšem důležitým poznatkem, nelze tedy očekávat okamžitý tisk a nízkou pořizovací cenu.

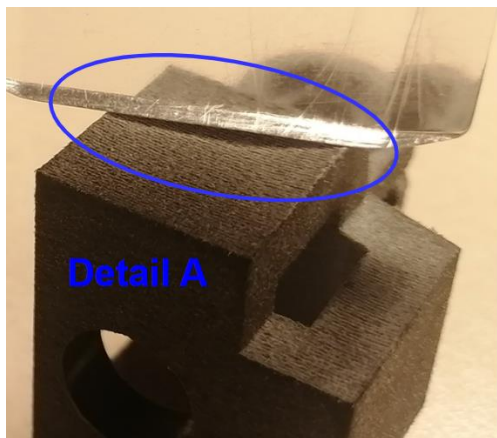
Dle mně podaných informací se tisk uskutečnil na tiskárně HP multijetfusion 4200. Použitý materiál nese označení PA12. Jedná se o termoplast odolný vůči různým chemikáliím, který je zároveň vhodný pro tisk složitějších sestav nebo přesných krytů. [79]

Samotný výtisk byl v mnoha ohledech vyhovující. Co mě zaujalo na první pohled, byl jeho povrch. Ten měl vzhledem k použité technologii povrch podobající se sametu nebo semiši. Pokud by povrchová úprava byla relevantním faktorem, musel bych přistoupit k povrchové úpravě, například ve vibračním pracím zařízení s množstvím malých keramických kuliček. Pro mé účely pouze stačilo vzít jehlový pilník a ohladit žebra v místech dotyku pro lehčí prokluzování. Výtisk byl relativně odolný. U prvního dílu prototypu 1 jsem musel rozšířit otvor pro šroub. Z hobliny a ubraného materiálu jsem dokázal zjistit a vidět vnitřní strukturu. Ta byla naprosto celistvá, zcela spečená. Jakoby ani povrch s vnitřní strukturou neměl nic společného.

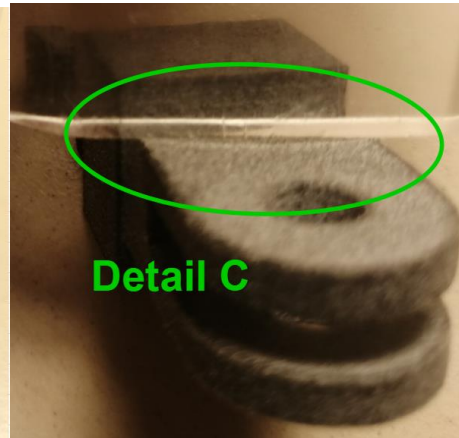


Obrázek 65 oblasti propadu výtisků metodou SLS

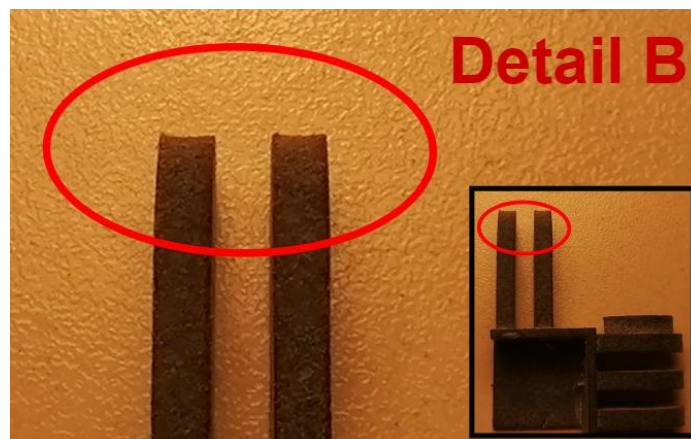
Na Obrázku 65 jsou zobrazeny výtisky práškovou metodou SLS, vytvořeny na tiskárně HP multijetfusion 4200 z materiálu s označením PA12. Jsou zde zvýrazněny tři oblasti – A, B, C. V těchto místech je nejvíce patrné smrštění materiálu. Na následujících fotkách jsou tato smrštění v detailech.



Obrázek 66 Detail A



Obrázek 67 Detail C



Obrázek 68 Detail B

Pro rekapitulaci: tisk probíhá tak, že jednotlivé vrstvy prášku jsou sintrovány laserem, což je jakási forma napečení a spojení materiálu. Po kompletní celého pracovního prostoru, který trvá 15 hodin musí vše vychladnout. Chladnutí zabere klidně okolo 7 hodin. Kvůli své vysoké teplotě je zde patrná i teplotní roztažnost a smršťování. Právě červeně vyznačená oblast, vnější strana podpěry, byla náchylná k tomuto jevu. Bylo znatelné propadnutí vlivem teplotního smršťování, na jedné straně více, na druhé méně. Rozměrově to bylo velice málo, ne více než 0,2 mm, ale přesto bylo na pohmat vnímatelné a na pohled viditelné.

Na plochách určených k fixaci sférických retro-reflexivních odražečů jsou patrné zbytky lepidla po odlepení odražeče.

## 4.2.6. Výsledek Prototypu 1

Prototyp 1 poskytl celou řadu podnětů ke zlepšení. Hlavním cílem bylo zjistit, jestli se tento koncept hodí k zamýšlenému záměru a jestli je vhodné tímto směrem pokračovat. Po otestování bylo zjištěno, že ano. Bylo možné jemně napolohovat celou instalaci. Pro zrekapitulování uvedu jednotlivé nejdůležitější poznatky. U prvního dílu prototypu 1 jsem nabyl zkušenosti a podněty ke zlepšení vhodnosti zvětšení manipulačního prostoru, zejména toho pro matici sloužící k upevnění konstrukce k Nosiči nebo stativu, po diskusi se zadavatelem to bylo přípustné. U druhého dílu poznatky vedly k závěrům, abych zredukoval plochy okolo odražeče a nenechával na tomto místě zbytečně moc lepidla. U orientace těchto ploch by bylo na místě vždy uvažovat předpokládanou polohu odražečů. Ve směru gravitační síly by měla být plocha, která bude podpírat odražeč. Třetí díl poskytl zjištění o vyhovující funkci polohování případných senzorů. Také o správnosti redukce rozměru ploch v blízkosti sférických retro-reflexivních odražečů, jež tak zvyšují eventuální natočení bez nutnosti jiné instalace. Polohování se ukázalo díky svým malým rozměrům poněkud obtížné. Není uživatelsky přívětivé sahat na malé, místy i obtížně dosažitelné, prvky.

Díky zvolené metodě tisku jsem dokázal zjistit nepraktičnost tohoto možného řešení. Po materiálové stránce bych neměl výhrady, možná kromě propadnutí stran vlivem smršťování materiálu při chladnutí. Odradila mě od použití vysoká doba celkového tisku, 15 hodin tisk a 7 hodin chladnutí. Navíc je třeba čekat na naplnění pracovního prostoru a nelze u takto složitého a drahého tisku moc experimentovat s nastavením tzv. na vlastní pěst. Vyšší cena tisku hovořila také proti dalšímu využití. Tyto a další poznatky vedly k celé řadě úprav, které se promítly v prototypu 2.

## 4.3. Návrh Prototypu 2

U druhého prototypu došlo k markantním změnám na základě konzultací, diskusí, poznatků a zkušeností z prvního prototypu. Jednou z největších změn byl přechod z práškové tiskárny na FFF tiskárnu (Original Prusa i3 MK3S+, materiál Prusament PLA - černá). Dále šlo o změny v konstrukci. Předchozí prototyp odhalil správnost teze tohoto konceptu. Tento prototyp je propracovanější. Navrhoval jsem ho s cílem dosáhnout použitelného a funkčního držáku s přihlédnutím ke splnění požadavků. Po dosažení cíle bude funkčnost tohoto celku předvedena zadavateli.

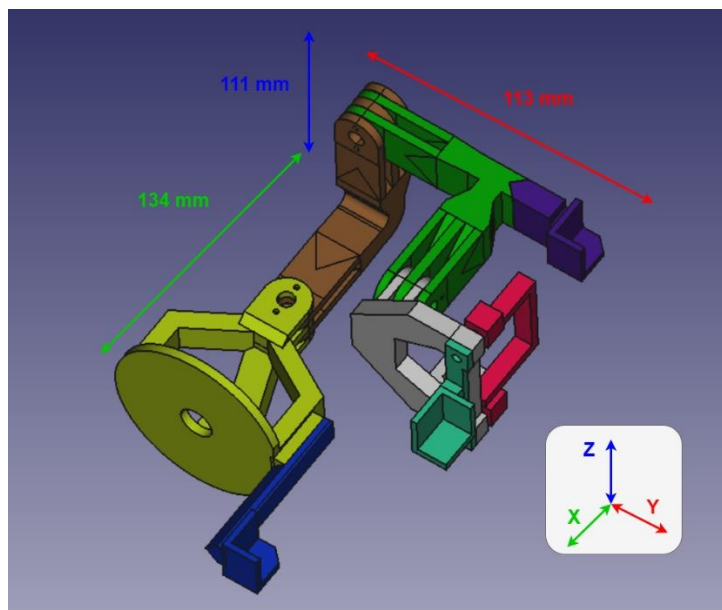
Na základě diskuzí Vyplýval také již zmiňovaný poznatek o protnutí tří rotačních os v jednom bodě, jak je znázorněno na Obrázku 70. Je to z důvodu lepší přehlednosti a jednoduchosti výpočtů pro software při zaměřování polohy a instalaci držáku v reálném čase.

Plánovaná konstrukce by měla projít následujícími změnami: vytvoření všech nových dílů a zvětšení konstrukce. Výstavba jednotlivých částí bude respektovat protnutí os v jednom bodě. Kvůli co největší variabilitě je třeba zvolit elementy, které budou mít možnost přidání, nebo odebrání na základě předpokládané kompilace. Budou to například samostatné držáky pro odrazky či stranově variabilní zajišťování matic proti prokluzu. Také budou přidány madla/páčky, které budou napomáhat napolohování pro zvětšení vzdálenosti působení síly od středu rotace prvku. A ty by měly zároveň nahradit nedostatek minulého prototypu 1 - nutnost dotyku operátora přímo s konstrukcí pro správnou instalaci.

Zadavatelem byl v průběhu zpracování tohoto prototypu poskytnut kamerový senzor typu rybí oko. Tento senzor má tvar kvádr. Celek obsahuje i potřebnou výpočetní techniku a výstup pro kabeláž. Rozměry by se velmi špatně popisovaly, zjednodušeně to je však kvádr o rozměrech zhruba ..... S vystouplým cylindrem/válcem coby kamerou na jedné straně, na druhé pak výstup z konstrukce s účelem vyvedení kabeláže.

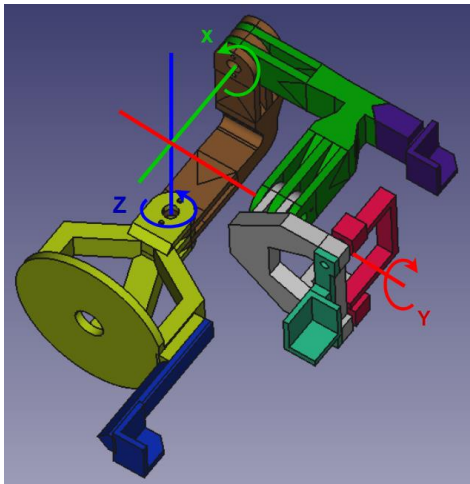
#### 4.3.1. Sestavení držáku

Výsledná sestava těchto dílů je na Obrázku 69. Pro větší přehlednost jsem vynechal doprovodné díly a spojovací materiál. Díly s názvy Zakončení a Ráhno k sobě nelicují úplně přesně. To není chyba. Respektuje to jiné natočení sensorového optického celku. Tento celek nemá v řezu tvar čtverce, ale spíše obdélníku. Proto je Ráhno navrženo tak, aby takovou skutečnost řešilo. Sensorový celek má také vystouplý okraj, i tuto skutečnost jsem musel brát v potaz při konstruování.

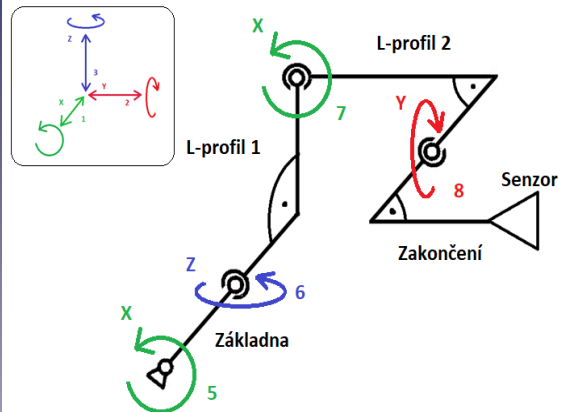


Obrázek 69 celek sestavy Prototypu 2

Pro lepší představu uvádím zjednodušené kinematické schéma, které obsahuje nákresy hlavních komponent a sensor. Ve schématu čísluji od čísla 5. Je to z toho důvodu, že předpokládané využití celku s názvem Prototyp 2 bude na polohovatelném Nosiči. Nosič je podrobněji popsáno v 4.1.1 První část – Nosič. Tento Nosič disponuje již očíslovanými čtyřmi pohyby.



Obrázek 70 průtnutí tří rotačních os



Obrázek 71 kinematické schéma Prototypu 2

### 4.3.2. Rozdělení konstrukce

#### A. Základna-P2 + držák odrazky 1

Základnou se rozumí první část držáku určená ke zprostředkování spoje mezi stativem/Nosičem a druhou částí držáku. Bude obsahovat i místo pro umístění odrazky pro určení počáteční polohy. Tento člen bude mít možnost polohování v jedné rotační ose.

#### B. L-profil 1

Pravouhlá součástka umožňující jednu rotaci.

#### C. L-profil 2 + držák odrazky 2

Druhá pravouhlá součástka umožňující rotaci. Měl by tu být prostor pro umístění samostatného držáku odrazky. Tento držák kvůli zamýšlené variabilitě bude nalepovací.

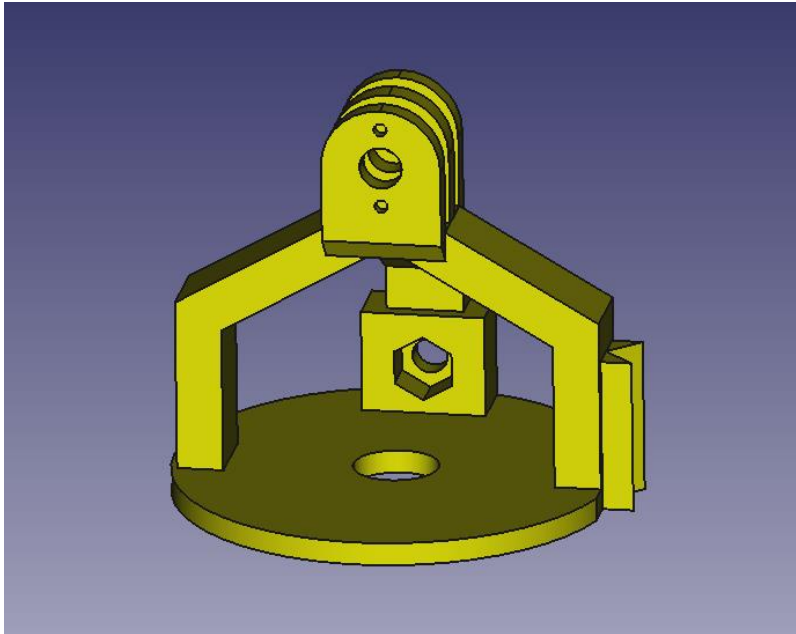
#### D. Zakončení + držák odrazky 3

Koncový prvek sestavy. Bude sloužit jako jedna z částí pro uchycení zapůjčeného optického senzoru. Pro konkrétně tento senzor bude uzpůsobena konstrukce. Na tomto dílu by měl být umístěn odražeč. Ten má sloužit k finálnímu zaměření natočení polohy senzoru.

## E. Ráhno

Profil ve tvaru písmene U. Jeho účel tkví v zafixování polohy zapůjčeného senzoru. Jako protikus bude sloužit díl držák odrazky 3

### Základna-P2

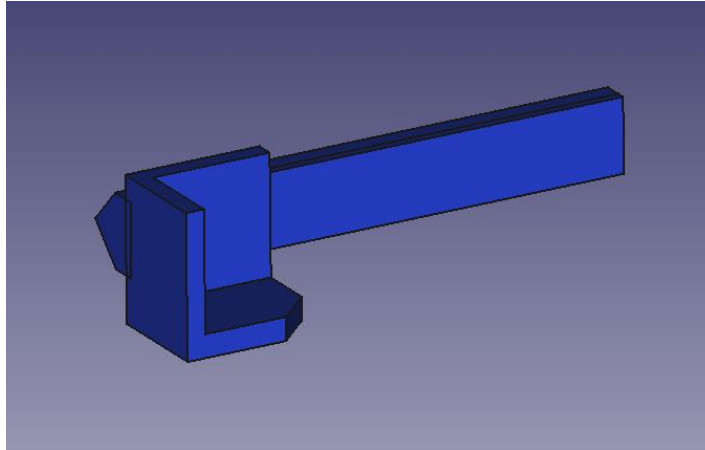


Obrázek 72 Základna-P2

Na Obrázku 70 je vidět první díl s názvem Základna. Ve spodní části obsahuje otvor pro šroub s dostatečnou velikostí. Následující tři podpěry po stranách vedou k žebrům. Vytvářejí tak dostatečný prostor pro manipulaci s maticí. Na zadní podpěře se nachází zvětšení spolu s otvorem pro šroub se šestihranným otvorem pro matici. Na pravé podpěře je vidět klínové V lůžko. Toto V lůžko bude sloužit pro vlepění samostatného držáku pro sférický retro-reflexivní odražeč.

Tento díl byl tisknut ve stejné poloze jako je vyobrazen na obrázku 70. Byl tisknut bez podpor. Umožnil to úhel stoupání ve vrchní části podpěr. Klínové V lůžko se jeví dlouhodobě jako ideální tvar pro lepení. Pokud by se u tištěného elementu vyskytla rozměrová nepřesnost vycházející například ze skládání filament, na tomto spoji se to neprojeví fatálně, případně účinky budou zanedbatelné.

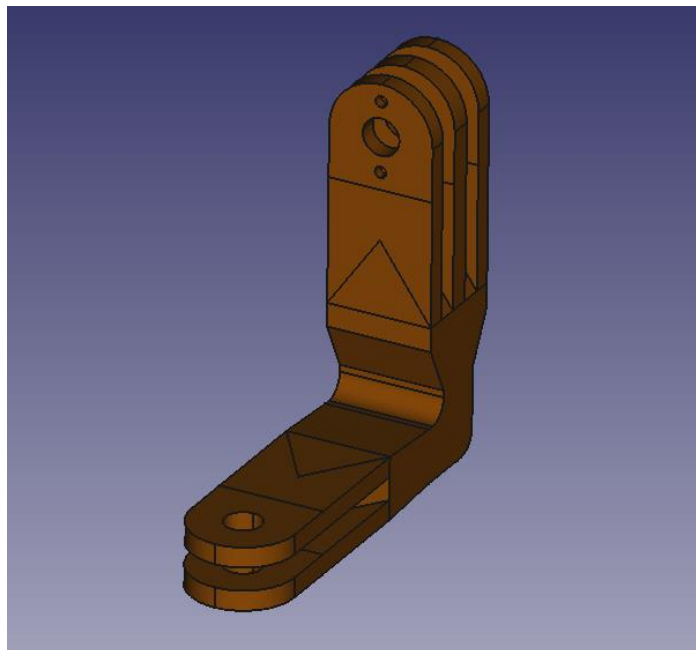




Obrázek 73 Držák odrazky, polohou na Základně P-3

Zde na Obrázku 73 je zobrazen samostatný držák odrazky. Je přichycen k V klínu, který zapadá do klínového V lůžka. Plochy pro odražeč jsou mírně zredukovány kvůli stínění. Rozměry jsou už optimalizovány pro přesný rozměr odražečů s využitím malého množství lepidla. Díl byl tisknut tak, že byl postaven na levou stranu a vytištěn od spodu nahoru.

#### L-profil 1

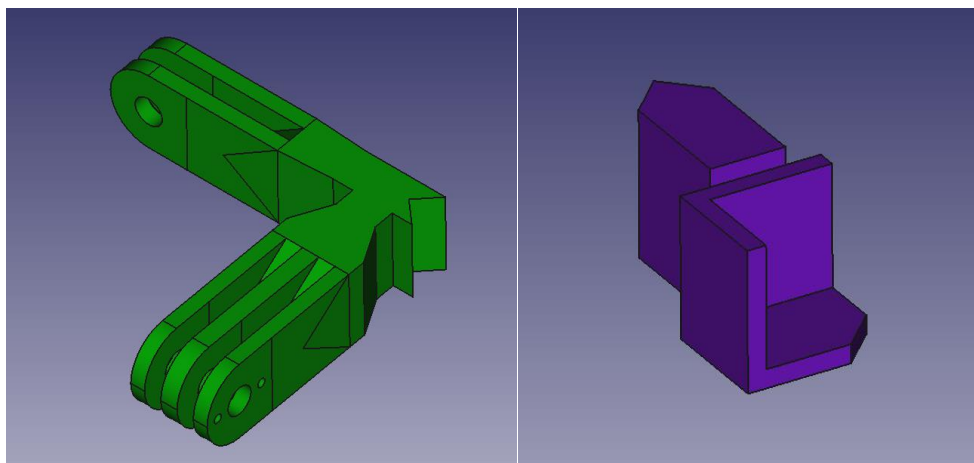


Obrázek 74 L-profil 1

Tento díl má jednoduchou pravoúhlo konstrukci připomínající písmeno L, jak jde vidět na Obrázku 74. Celek má možnost rotovat kolem jedné libovolné osy – dle upnutí dílu. Opět na konci, kde jsou tři žebra, jsou dva otvory pro uchycení přípravku proti protáčení matky. Tento díl byl tištěn v poloze na ležato – byl položen na pravou stranu a vytištěn od spodu nahoru.

## L-profil 2

Díl je obdobný jako L-profil 1. Pouze s tím rozdílem, že na druhé straně pravouhlého spojení je klínové V lůžko umožňující přichycení držáku odrazky.

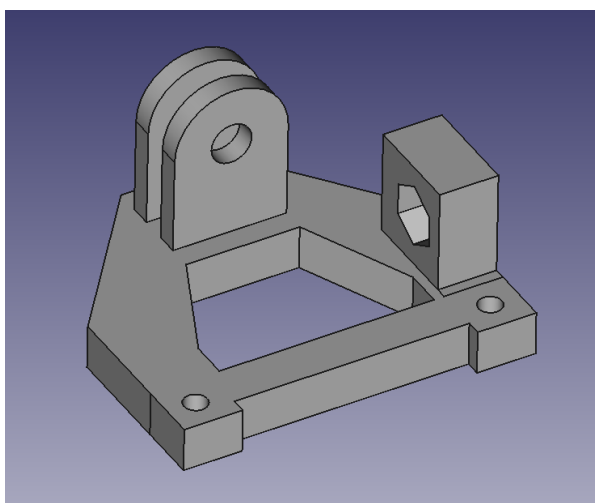


Obrázek 75 L-Profil 2

Obrázek 76 držák odrazky, situovaný na dílu L-profil 2

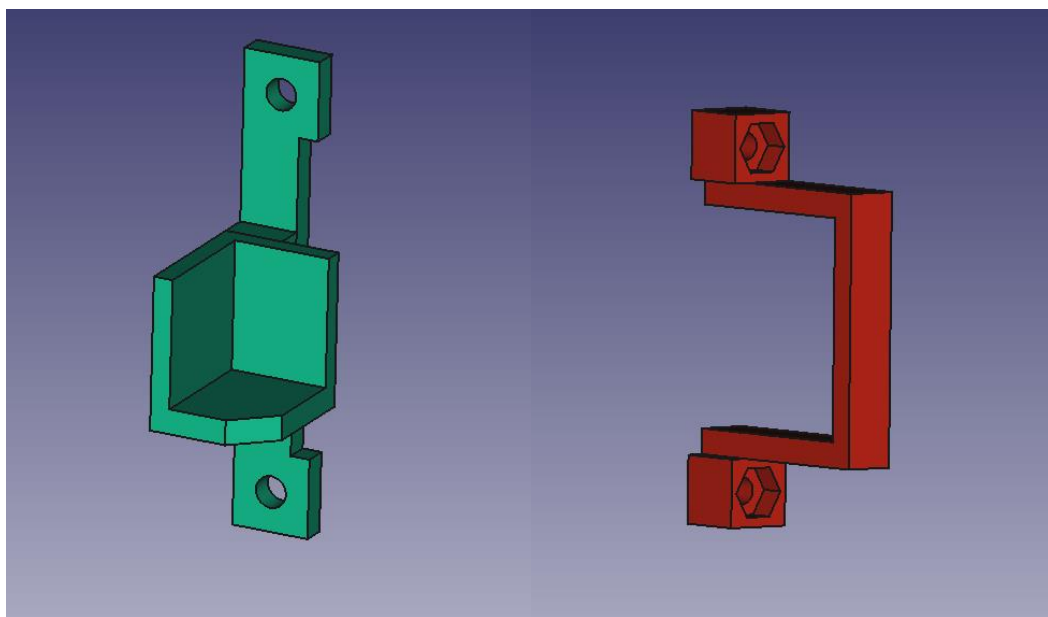
Samostatný držák odrazky má v tomto případě tento tvar (obrázek vpravo) – nástavec s klínem a tři na sebe kolmé plochy. Bylo využito již výše popsaných principů. Za plochou nejbližší k nástavci s klínem pro odrazeč lze vidět ubránění materiálu. Původně měla tato drážka posloužit k zasunutí krytky odrazky. Po mnohých pokusech jsem ale našel vhodnější řešení – kapitola 4.4.1 Sestavení Prototypu 3. Držák odrazky byl vytištěn v poloze, v jaké je vyobrazen Obrázku 76.

## Zakončení a Ráhno



Obrázek 77 Zakončení

Finální podoba Zakončení a Ráhna vypadá po mnohých úpravách tak, jak je vyobrazeno Obrázku 77 a Obrázku 79. Nachází se zde dvě žebra pro spojení s předešlými díly. Díl je projektován na konec celého držáku, kde má být situován spolu se senzorem. Není třeba tedy dalšího žebroví pro připojení jiných dílů. Nachází se zde kvádřová struktura pro uchycení madla vyrobeného za účelem přesnějšího polohování. Tato struktura obsahuje otvor pro šroub a šestihranné vybrání materiálu pro umístění matice proti prokluzu. Podstava má ve svém středu otvor, který slouží jako možnost případného vyvedení kabeláže. Konstrukce je projektována tak, aby kabeláž byla vyvedena mimo tuto podstavu. Ovšem okolnosti by mohly vést k potřebě vyvedení kabeláže tímto otvorem. Je dobré si tedy ponechat tuto možnost. Na podstavu je plánováno umístění senzoru, přičemž tento senzor bude uchycen pomocí Ráhna mající U profil. Z druhé strany podstavy (na Obrázku 77 směr dolů) bude umístěn díl, který bude držet senzor. Tato podstava má robustní rozměr právě pro pevné uchycení senzoru. Díl byl tištěn tak, jak ho vidíme na Obrázku 77.



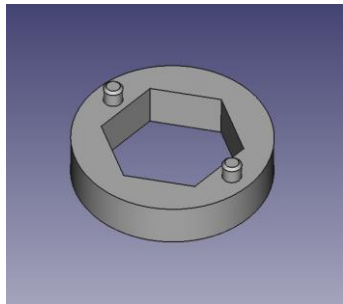
Obrázek 78 držák odrazky 3

Obrázek 79 Ráhno

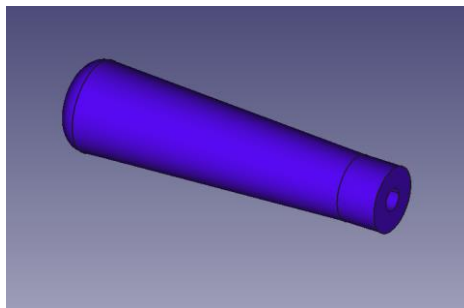
Držák odrazky na dílu s názvem Zakončení je navrhován s co největší možnou jednoduchostí. Je zde snaha o co největší možné přiblížení odrazky k senzoru. U Ráhna lze vidět dva kvádry a v nich otvory pro šrouby a šestihranné vybrání materiálu. Tento celek se po vložení senzoru upne a pojistí tak, že do Ráhna přijdou dva šrouby. Tyto šrouby budou vést skrze Zakončení, držákem odrazky 3 na Zakončení a budou pojištěny z této druhé strany maticí. Držák odrazky 3 byl tištěn z levé strany viz Obrázek 76. Ráhno bylo tištěno tím způsobem, že bylo položeno na tu stranu, která je na Obrázku 77 zobrazena jako zadní.

## Doprovodné prvky prototypu 2

Jak jsem již nastínil, prototyp počítá s několika doprovodnými prvky. Jsou to elementy, které drží pojištění matic proti prokluzu na svém místě a dva typy madel. K užití odnímatelného pojištění matic jsem se rozhodl na základě stavebnicového konceptu, aby tento díl mohl mít utahovací madla z obou stran. Tyto díly zapadly na své místo díky pinům, což je zároveň pojišťovalo na svém místě. Na své místo byly vlepeny. První typ madel, určených k utahování poloh jednotlivých dílů sestavy, jsou již koupená madla, ve kterých je umístěn šroub, jehož hlava zapadá do šestihránného otvoru uvnitř struktury. Druhý typ madel je určený primárně ke snazšímu polehávání jednotlivých dílů. Vnitřní strukturu mají oba typy stejnou. Druhý typ se liší hlavně rozdílným použitím průměru šroubů (4mm/3mm).



Obrázek 80 pojištění matice proti prokluzu Obrázek 81 madlo k utahování šroubového spoje [45]

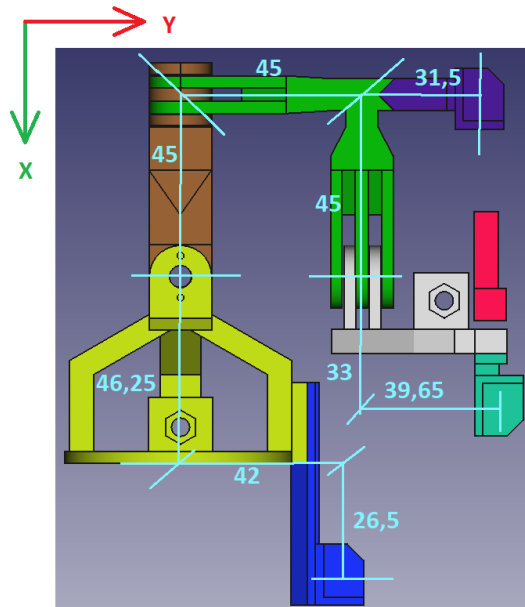


Obrázek 82 madlo pro lepší polohování

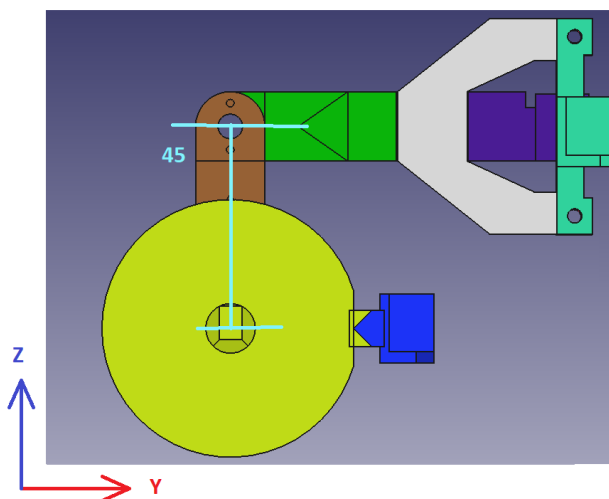
Následující Obrázek 83 a Obrázek 84 objasňují důležité rozměry v náčrtcích. Je poměrně složité zakreslit držák v prostoru pro snadné pochopení. Tyto osové rozměry posloužily k softwarové podpoře u výpočtů polohy při zaměřování v reálném čase. Toto je důležitý aspekt pro výpočet seřízení instalace držáku v prostoru, proto jsem tyto rozměry zde musel uvést. Uváděné údaje jsou v milimetrech. Osy respektují původní značení z Obrázku 69. Kvůli složitosti zakreslení jsem postupoval nekonvenčně pro zjednodušení nákresu. Rozměry tedy nemají například šipky. Číselné hodnoty udávají rozměry nejbližších přímek, ty jsou horizontální nebo vertikální. Šikmé přímkové linie naznačují přechod z jedné roviny do jiné roviny. Tento přechod je

pravoúhlý. Na sebe kolmé přímky naznačují jak konec měřené oblasti, tak i fakt, že se stále pohybujeme ve stejné rovině.

Pevně doufám, že čtenář toto neortodoxní značení ve schématu omluví. Zkoušel jsem i jiné formy, ale zdaleka nebyly tak vypovídající a snadno pochopitelné.

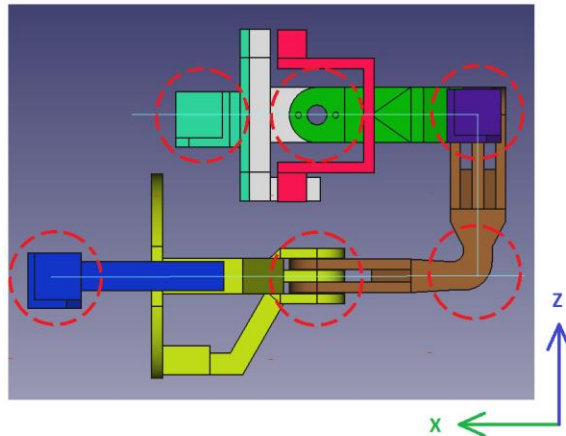


Obrázek 83 stěžejní rozměry pro určení polohy



Obrázek 84 stěžejní rozměr pro určení polohy

V následujícím Obrázku 85 je vyobrazena kontrola sousostí odrazek a jednotlivých dílů sestavy. Opět kvůli výpočtům polohy je tato kontrola důležitá. K vidění je protnutí jednotlivých rotačních os v jednom bodě.



Obrázek 85 kontrola protnutí os dílů

### 4.3.3. Poznatky po implementaci systému

Po smontování držáku vznikla drobná mezera mezi koncem stativu a Základnou. Vypadalo to, jako kdyby díly k sobě úplně přesně nepasovaly. Způsobeno to bylo patrně prohnutím materiálu, tedy právě nejvíce v těch místech, kde bylo šroubové spojení. Na okrajích ale tato síla již nebyla tak velká a tím pádem vznikla miniaturní mezera. Pro větší stabilitu tohoto spoje byl dotištěn nízký kruh s otvorem uprostřed. Ten zapříčinil, že spojovaná plocha se zvětšila a tím pádem byl spoj i pevnější.

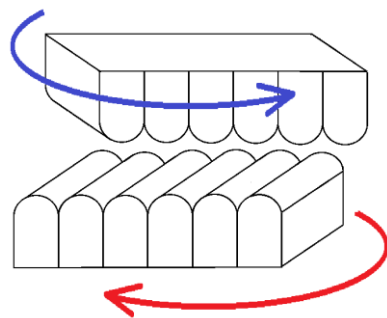
Držáky odrazek se na svá místa do V lůžek připevňovaly pomocí lepidla. Toto rozdělení jsem udělal na základě možnosti variabilnosti stavebnicového systému. Po diskusích s vedoucími a se zadavatelem jsem již tento koncept nevyužíval a držáky odrazek se staly pevně součástí dílů. Naprojektování držáku odrazky na díl nečiní příliš velkou práci. Jednotný celek dílu překoná benefity variabilnosti. Je mnohem výhodnější mít díl z jednoho kusu. I za cenu případných nevelkých úprav. Navíc tyto díly se mohou vytisknout dopředu ve větším množství a mohou se navzájem vyměňovat. Odpadá tedy koncept lepení držáku odražečů.

Vyskytla se funkční potřeba zakrývat jednotlivé sférické retro-reflexivní odražeče. Tento koncept tu byl již předtím. Výhodné je to zejména při přesunech a při nečinnosti. Odražeč nezakrytý krytkou se může odlepit a spadnout. Odražeč má tvar o něco větší než centimetrová kulička. Snadno se tak přehlédne, například při úklidu. Potenciální škoda téměř 300 eur není nezanedbatelný aspekt. Při testování nastavování polohy se ukázala potřeba krytek jako ještě nutnější. Pokud už například polohuji konec držáku, poslední rotaci, a omylem si zakryji odražeč, laserový zaměřovač se zacílí na jiný neblížíší. Což není žádaná vlastnost. Operátor musí začít polohovat odznova a zresetovat měření polohy. Zaměřování znovu začíná od první odrazky. Bylo by tedy výhodné mít krytky odražečů z více důvodu. Kdyby tyto krytky byly napevno spojeny

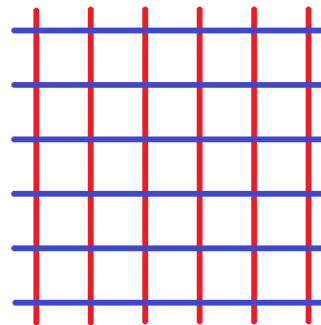
s držákem, stala by se tato vlastnost nanejvýš vítanou. Zadavatel preferuje manipulaci bez nutnosti náradí a také by držák měl raději v jednom celku. Nezajištěná krytka může spadnout do jiných testovacích částí. Věšení krytek odrazek, například na provázek, nepovažuje zadavatel za vhodné řešení. V budoucnu se tedy budu ubírat například posouvacími možnostmi. Krytky se tak budou muset po spojení stát součástí dílu.

Po sestavení celku bylo jasné, že metoda FFF přinesla některé problémy.

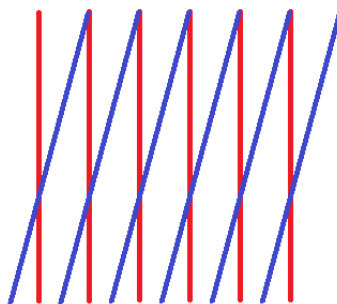
Po vytisknutí jsem musel některé propady a místa zbrousit jehlovým pilníkem. Tento fakt byl očekáván. Pokud tisknete kruhový otvor metodou FFF, tak vršek tohoto otvoru bude vyboulen do stran, kde se nenachází materiál. Tisk touto metodou probíhá vrstvením filament vedle sebe a na sebe. Při tomto zpracovávání struktury, vznikají na povrchu vlnky. Vlny jsou ve směru tisku po vrstvách. Vhodným nastavením tiskárny a dodatečnou povrchovou úpravou by šly tyto nedostatky částečně eliminovat. Obecně to problém být nemusí. Ovšem v mém případě se tento nešvar nejvíce projevil u zaklesnutí žebrového spoje, kdy dvě a tři žebra do sebe navzájem zapadly. Došlo k nepříjemnému jevu. Vytisknuté díly se vzájemně začaly vůči sobě třít a vůči sobě vykonávaly rotační pohyb. Jednotlivé vlnky na povrchu po tisku po sobě začaly klouzat. Pokud ale úhel těchto vzájemných vlnek byl malý, bylo stále obtížnější tyto vlnky překonávat a jemně nastavovat úhly. Ve většinovém rozsahu úhlového natočení se to neprojevovalo vůbec, případně jen mírně. V extrémech to ale bylo velmi znatelné. Natáčení dílů mělo tendenci přeskakovat a uživatel musel překonat odpor vlnek. Pro lepší představu a názorný popis uvedu několik ilustrací.



Obrázek 86 pohyb filamentových vrstev



Obrázek 87 křižující se filamentové vrstvy



Obrázek 88 křížující se filamentové vrstvy s nízkým úhlem

Obrázek 86 zobrazuje okraje dvou povrchů vytištěných na tiskárně typu FFF. Tisk byl teoreticky veden u obou objektů z jedné ze stran. Naznačené vlnky jsou právě jednotlivé vrstvy filament. Tyto povrchy proti sobě vytvářejí rotační pohyb naznačený modrou a červenou šipkou. Nezáleží, jestli se koná pouze jeden z pohybů. Výsledek bude totožný.

Obrázek 87 ukazuje bezproblémový chod. Tyto jednotlivé filamentové vrstvy se kříží ve velkých úhlech, na ilustraci je to pravý úhel. Pokud se tyto dva povrchy setkají a otáčejí se vůči sobě v malých úhlech, vše je v pořádku. Jednotlivé překřížení značí stykové plochy. Pokud jich je hodně, navzájem po sobě hladce kloužou.

Obrázek 88 znázorňuje problémové pohyby. Úhly mezi tiskovými vrstvami jednoho a druhého povrchu jsou malé. Stykových ploch je tedy málo. Dlouho také trvá, než další vrstva narazí na protilehlou. Ta potom klade odpor při překonávání této vrstvy. Pokud bychom úhel ještě zmenšili, tak by jednotlivé vrstvy měly tendenci do sebe dokonce zapadat, například jako mírné propletení prstů. Dochází k tomu kvůli působení utahování šroubového spoje, který tyto plochy tlačí na sebe. Překonání těchto jevů při polohování způsobuje, že operátor musí vyvinout chvilkově větší sílu k překonání hrbolku nebo hrbolků vrstev, oněch vlnek. Po překonání se ale síla pro pohyb rapidně sníží a plochy mají tendenci se opět zaklesnout do sebe, tentokrát o kousek jedné řady vedle. Tyto faktory působí kontraproduktivně vůči jemnému a plynulému polohování. Těchto jevů je třeba se v budoucnu vyvarovat.

Při manipulaci s konstrukcí držáku by další verzi více vyhovovala robustnější konstrukce. Rozměry dílů by se měly zvětšit. Je to z důvodu zvýšení pevnosti. Tento koncept má občas tendenci se drobně naklánět a částečně pružit. Po diskusi se zadavatelem, kvůli požadavkům na nerozměrnou konstrukci, to bylo povoleno, klidně i ve větší míře. Nejspíše proto, že celý tento koncept je stále dostatečně rozměrově malý.

Toto řešení, manipulace s celý držákem (Nosičem a druhou částí, Prototypem 2), bylo úspěšně odprezentováno zadavateli. Zadavatel hodnotil tento polohovatelný držák kladně.



Přesto by bylo vhodné využít nabytých poznatků, zkušeností a zjištěných nedostatků k další tvorbě. V této další tvorbě by bylo na místě nedostatky odstranit.

## 4.4. Návrh Prototypu 3

Hlavní myšlenkou při projektování Prototypu 3 bylo zachování základní kostry struktury z Prototypu 2. Veškeré nedostatky plynoucí z implementace Prototypu 2 měly být odstraněny. Konkrétně třeba nesnadné jemné polohování při malé korekci dvou úhlů povrchů. Tyto dva povrchy se vzájemně dotýkají pomocí vrstev filament (kapitola 4.3.3 Poznátky po implementaci systému). Dále zvětšení rozměrů za účelem zvětšení robustnosti. Měla být také aplikována zlepšení různého typu plynoucí ze zkušeností z testování zejména Prototypu 2. Zlepšení jsou například: aplikování krytek k sférickým retro-reflexivním odražečům, vytvoření adaptivní základny pro uchycení kabeláže. Základní myšlenka konstrukce z Prototypu 2 se osvědčila. Důležité je také zachování protnutí tří rotačních os v jednom bodě.

Původní rozměry žebrových spojů byly navrhovány s důrazem na kompatibilitu se systémem držáků GoPro. V případě Prototypu 3 ale tento faktor odpadá. Bude totiž rozměrově větší a tím pádem robustnější. Toto zvětšení se odrazí i na žebrových spojkách.

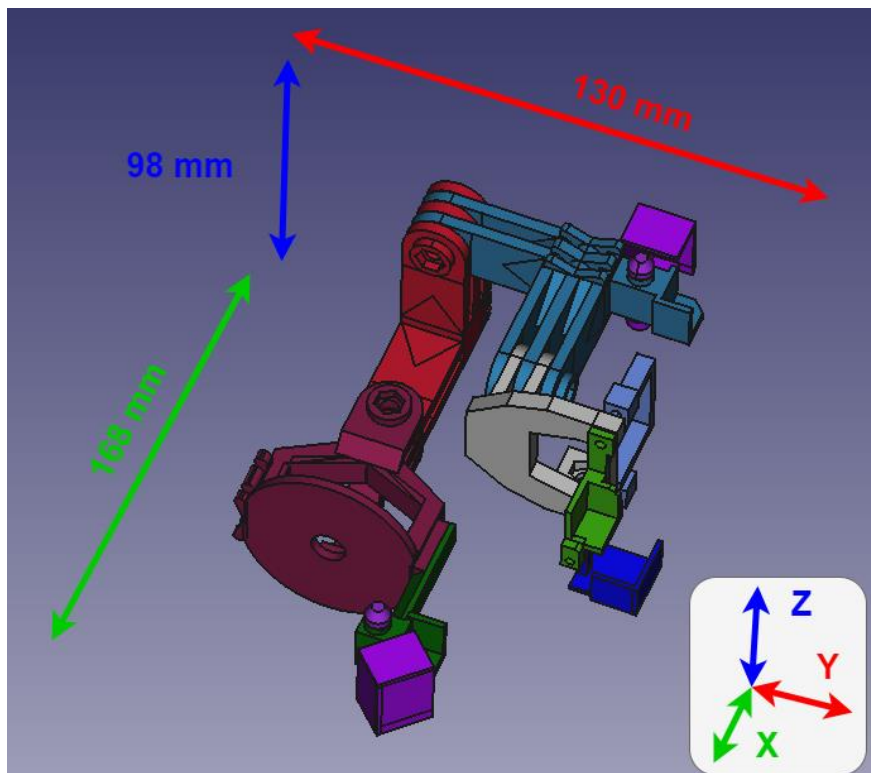
K odstranění jevu vznikajícího při jemném polohování v některých úhlech, popsaném v kapitole 4.3.3 Poznátky po implementaci systému, mohou vést následující možnosti.

- První z nich je správná konfigurace tiskárny dle tipů popsaných v kapitole 3.5.2. FFF technologie. Krátce zde shrnu pár poznatků z této kapitoly. Použití aplikace flexibilního vrstvení. Slicer (program pro komunikaci a tisk s tiskárnou) si adaptivně přizpůsobí šířku vrstvení dle detailů a změn tvarů. Další velké zlepšení by přineslo dotažení dílů, výměna trysky, aplikace podpor a konfigurace rychlosti pojezdů. Nakonec aplikace chemikálií na povrch tištěných objektů. Například ponoření nebo vystavení dílů acetonovým parám (pokud by materiál byl reaktivní na tuto chemikálii). Ty způsobí naleptání povrchu, což následně snižuje drsnost povrchů.
- Druhá možnost spočívá ve změně konstrukce žebrových spojů a v přidání například podložky. Nabízené podložky se ale v drtivé většině variant nabízí s malou plochou vůči vnitřnímu a vnějšímu povrchu. Jejich výška dosahuje rozměrů nejčastěji od jednoho, dvou milimetru výše. V tomto případě by byla vhodná podložka, která má malou výšku, relativně malý vnitřní průměr a velký vnější průměr. To je bohužel ale pravděpodobně otázka zakázkové výroby. Nelze takové podložky sehnat klasicky v kamenných obchodech nebo přes e-shopy. Sice se s velkou snahou daly podložky naskládat tak, aby

celek měl malý vnitřní průměr a velký vnější. Ale jednalo by se o krajně neelegantní řešení s problémovou implementací. Pokaždé, když by byly díly měněny, by to znamenalo nemalé nesnáze.

#### 4.4.1. Sestavení Prototypu 3

Na fotce uvádím sestavu Prototypu 3. Do sestavy jsem pro přehlednost nezakomponoval šroubová spojení a madla. Veškeré krytky odrazek jsou v polohách „otevřeno“. Kinematika je naprosto stejná jako v kapitole 4.3.1 Sestavení držáku. Nebudu ho zde dále rozebírat. Protnutí rotačních os je stále platné, jako tomu bylo u Prototypu 2.

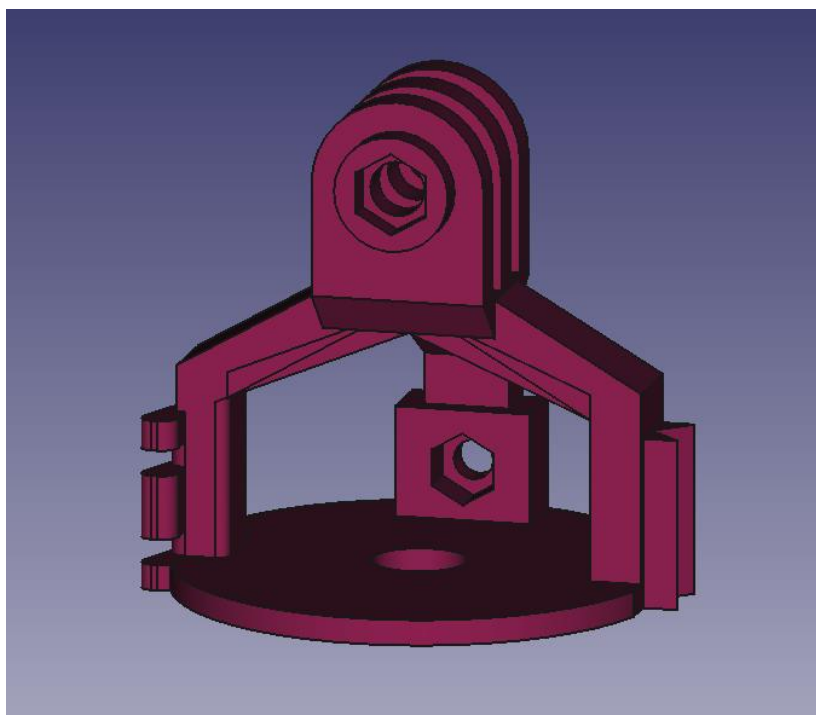


Obrázek 89 sestava Prototypu 3

Rozdělení konstrukce bude obdobné tomu u Prototypu 2:

- A. Základna-P3
- B. L-Profil-A-P3
- C. L-Profil-B-P3 (včetně zakomponovaného držáku odrazky s klopkou)
- D. Zakončení-P3
- E. U-Profil-P3
- F. Držák odrazky Zakončení-P3
- G. Držák odrazky Tubusu-P3

### Základna-P3



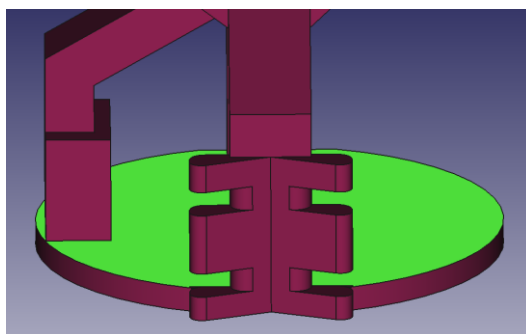
Obrázek 90 Základna-P3

Na Obrázku 90 je vyobrazen první díl Prototypu 3. Nápadně se podobá dílu z Prototypu 2. Podstava s otvorem pro šroub, tři ramenní podpěry, kvádrové rozšíření pro šroubový spoj polohovacího madla, klínové V lůžko pro umístění držáku odražeče. To vše zůstalo stejné nebo velice podobné. Vrchní část ramen se musela zvětšit, aby byl umožněn adekvátní tisk a lepší robustnost dílu.

Největším rozdílem je zde velikost žebrového spoje. Po konkretizaci účelu držáku v kombinaci se zapůjčeným senzorem jsem mohl umístit výstupek s držákem pro matici na čelní stranu. Ze zkušeností s Prototypem 2 jsem tedy mohl tento element zabraňující prokluzování matice pevně umístit. Věděl jsem totiž s jistotou, kde bude vyvedeno madlo, které tento šroubový spoj utahuje. Madlo má také další funkci, ale o té až 5.3.3. Uchytení kabeláže

Z pohledu na Obrázek 90 na levé ramenní podpoře si lze všimnout tří výstupků a zaoblených hran ramene. Při bližším pohledu zleva vypadá následovně – Obrázek 91. Barvu podstavy jsem zesvětlil na zelenou barvu pro lepší kontrast tvaru. Pohled je směřován na adaptivní lůžko pro uchycení kabeláže. Po každé straně má dva výřezy. Ty slouží k umístění stahovací pásky. Po spojení kabelu ke konstrukci stahovacími pásky nedojde k poškození pásek. Je to z důvodu zaoblení všech stykových ploch, které se vyskytnou uvnitř smyčky stahovací

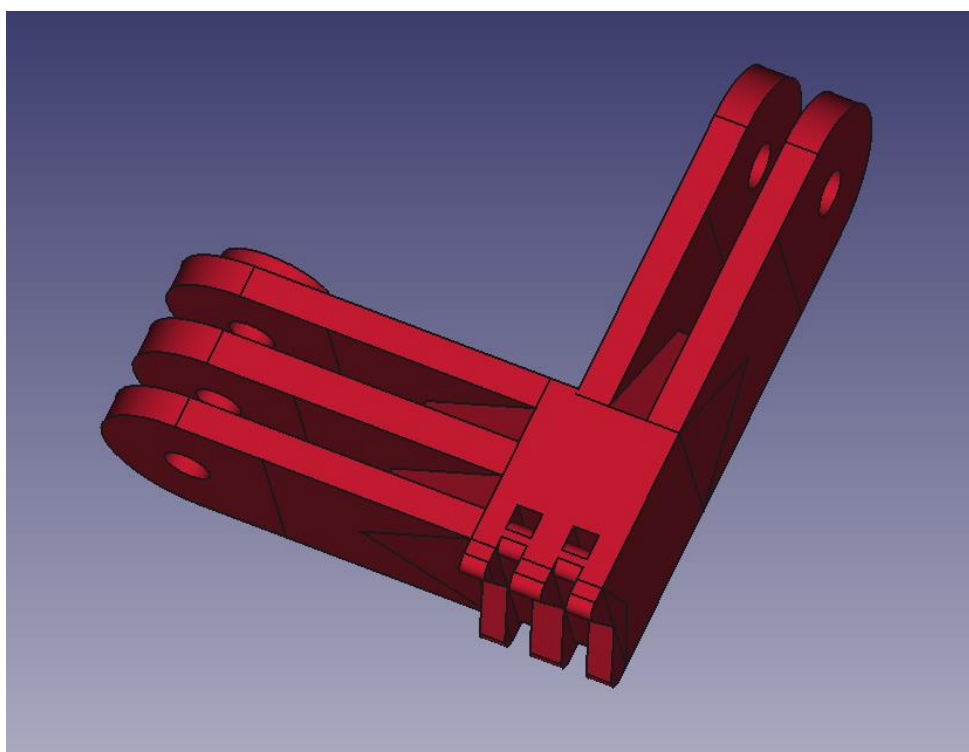
pásky. Výřezy v lůžku umožňují využít rozdílné průměry svazků kabeláží. Pokud to bude jen jeden kabel, lze ho pevně utáhnout. Stejně tak lze pevně utáhnout i svazek například čtyř kabelů.



*Obrázek 91 lůžko kabeláže na Základně-P3*

### **L-Profil-A-P3**

Základní kostra tvaru zůstala stejná jako u Prototypu 2 – L-profil 1 s pravým úhlem. Jednotlivé rozměry nabyly na velikosti. Odpadla tím některá zaoblení oproti minulému modelu.



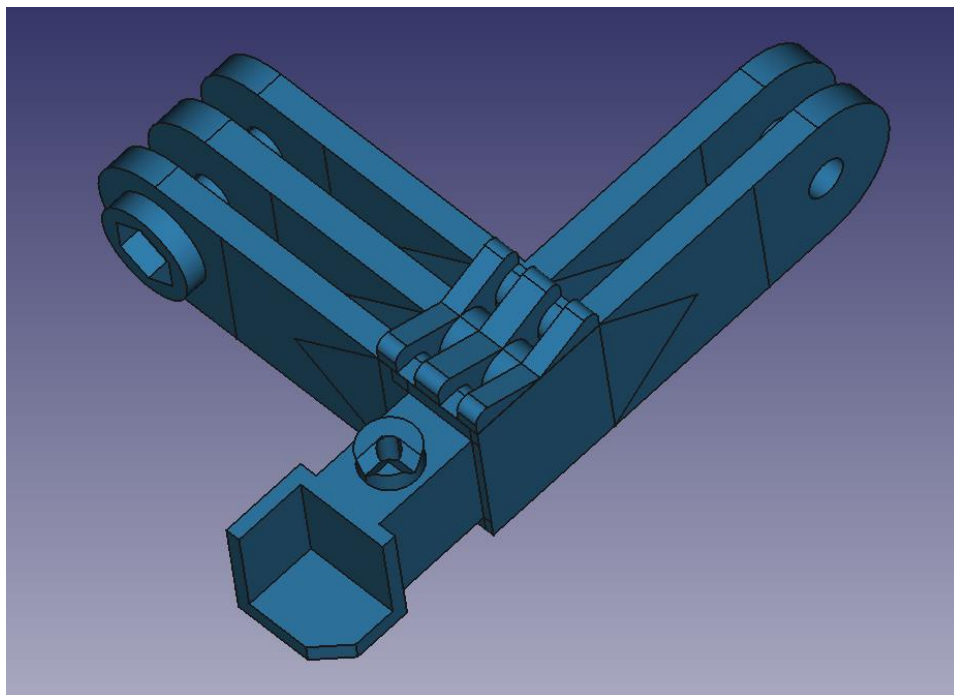
*Obrázek 92 L-Profil-A-P3*

Přibylo zde lůžko pro kabel. Funguje na stejném principu jako u Základny-P3. Tedy adaptivní formou upevnění kabelového svazku pomocí stahovacích pásek. Stahovací pásky se provlékají do konstrukce a zapadají do zářezů v lůžku, aby pevně spojily jak jeden, tak třeba čtyři

kabely. Na horním žeburu levé strany konstrukce je opět vidět náznak výstupku s otvorem pro šestihran (proti prokluzu matice). Ten je z tohoto pohledu na Obrázek 92 ale zakryt.

### L-Profil-B-P3

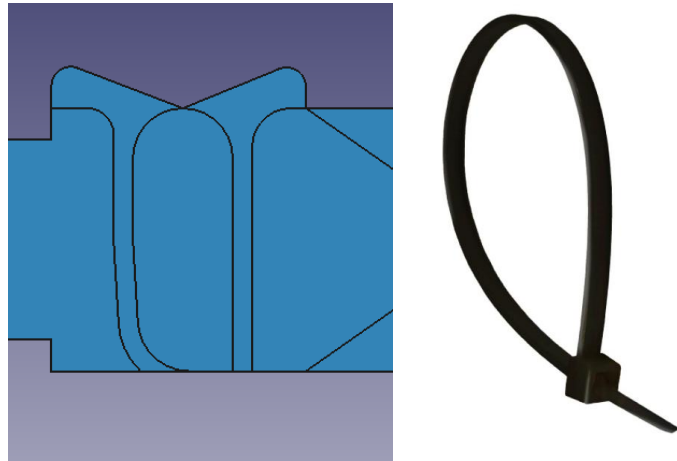
Tento díl je ve většině prvků totožný s dílem s názvem L-Profil-A-P3. Konstrukce připomíná písmeno L a je pravoúhlá. Výstup s šestihranným otvorem je na druhé straně kvůli manipulaci.



Obrázek 93 L-Profil-B-P3

Z prostředku vystupuje držák pro sférický retro-reflexivní odražeč. Plochy pro vlepení odražeče jsou situovány tak, aby střed odražeče procházel středem konstrukce. Na tomto držáku pro odražeč se nachází uprostřed válcový dutý výstupek se dvěma otvory v podobě V. Je to jeden z funkčních prvků zakrývání odrazek. Zajišťuje polohu krytky.

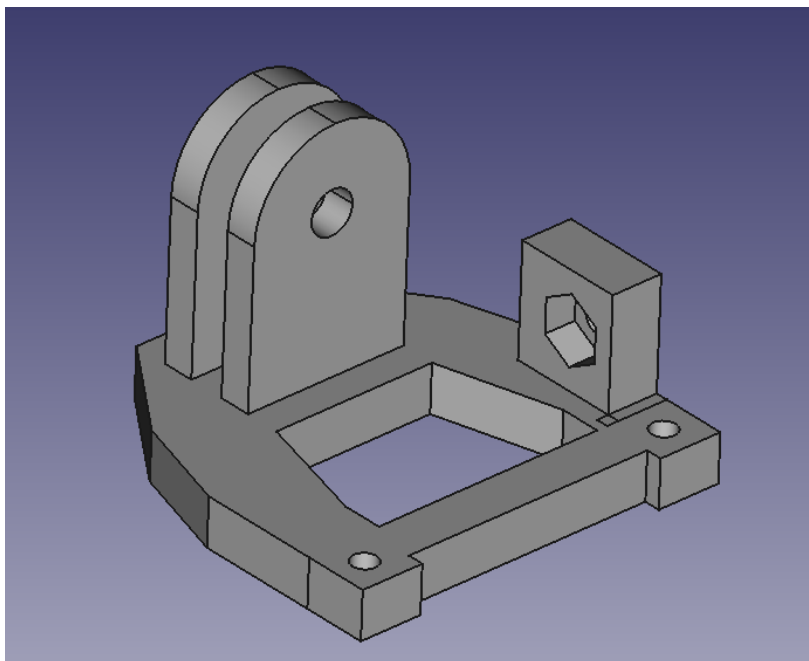
Uprostřed konstrukce lze vidět shora adaptivní lůžko pro uchycení kabeláže. Liší se od minulého typu hlavně tím, že stahovací pásky se provlékají vnitřkem ze spodní strany, kde je tvar navržen tak, aby zde byla i tato smyčka z pásky zajištěna provlečením sama sebe. Všechny možné stykové hrany jsou zaobleny.



Obrázek 94 řez dílem L-Profil-B-P3, otvor pro stahovací pásek Obrázek 95 stahovací pásek [80]

Vnitřní dutiny pro provlečení mají vyobrazený tvar na Obrázku 94. Na Obrázku 95 vedle je smyčka stahovací pásky. Tako smyčka vytváří svým zaklesnutím do sebe spoj, kde je na sebe páska kolmá. Tento fakt se odráží na konstrukci dutin. Dutina na fotce vlevo je u konce zaoblená směrem k druhé dutině, stykové plochy jsou hladké. Dutina na fotce vpravo je ve spodní části rovná, nezaoblená. Je to právě pro koncový zámek stahovací pásky a jeho zajištění.

### Zakončení-P3

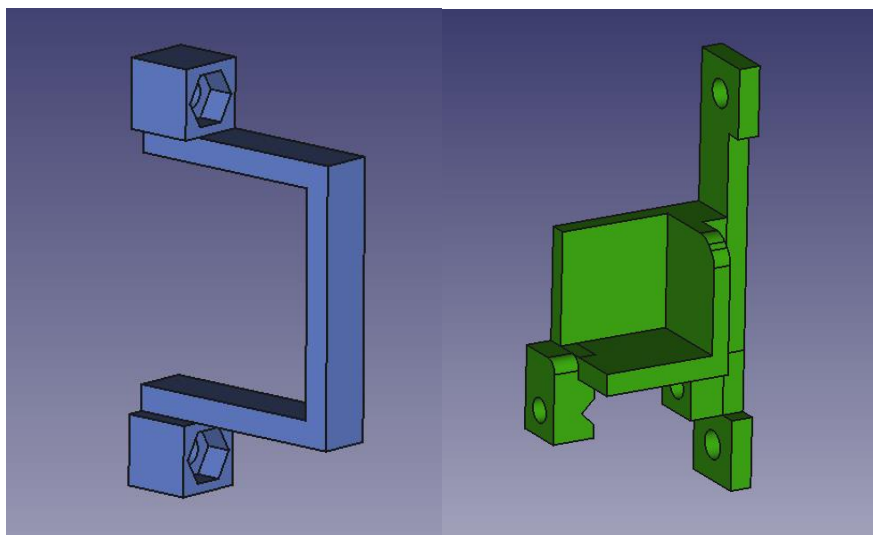


Obrázek 96 Zakončení-P3

Tento díl prošel pouze drobnými změnami. Velikost a rozměr dvou vertikálních žeber byla změněna, aby vyhovovala novým spojení. Upravil jsem z tohoto důvodu i tvar podstavy, jinak by se sem žebra tvarově nevešla.

### U-Profil-P3

Díl s názvem U-Profil-P3 zůstal bez úprav, pouze jsem změnil šířku otvorů pro šrouby a šestihranné otvory pro pojištění hlavy šroubu. Bylo to z důvodu jiné zamýšlené metody tisku. Díl zajišťuje pouze uchycení jednoho konkrétního typu senzoru. V prototypu 2 se osvědčil bez výhrad, nebylo tedy nutné jeho tvar nijak více měnit.

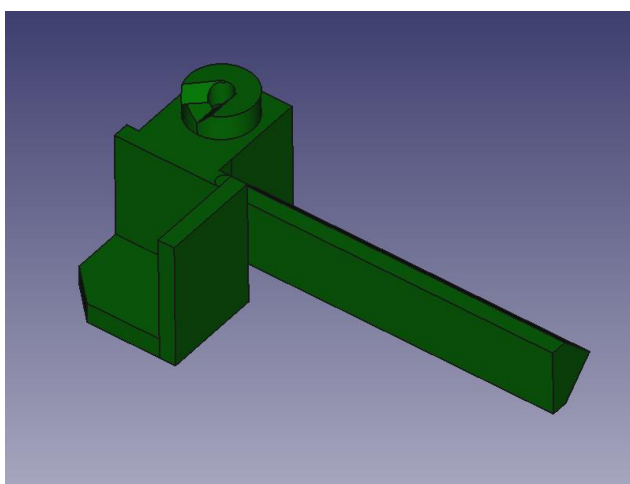


Obrázek 97 U-profil-P3

Obrázek 98 Držák odrazky Zakončení-P3

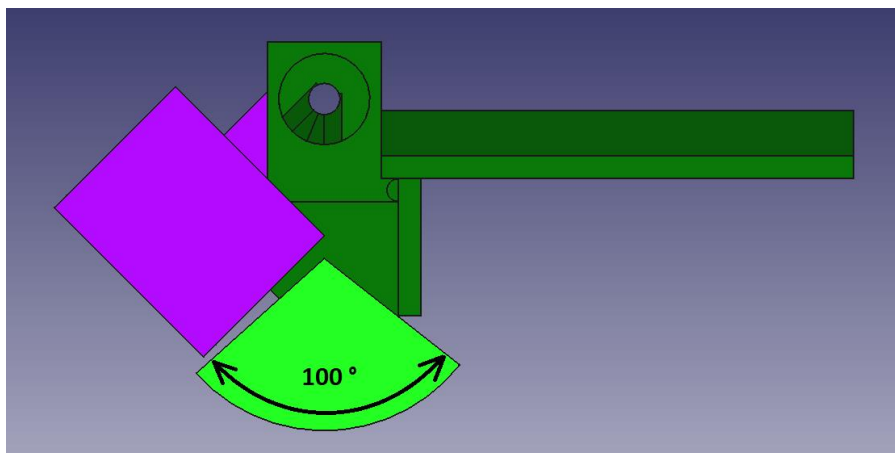
U tohoto dílu byly provedeny změny, aby se mohla umístit krytka odrazky. Je to v zásadě umístění dvou kvádrů s otvory pro vodicí tyč, jeden z kvádrů má V drážku pro zajištění polohy krytky.

### Držák odrazky Tubusu-P3



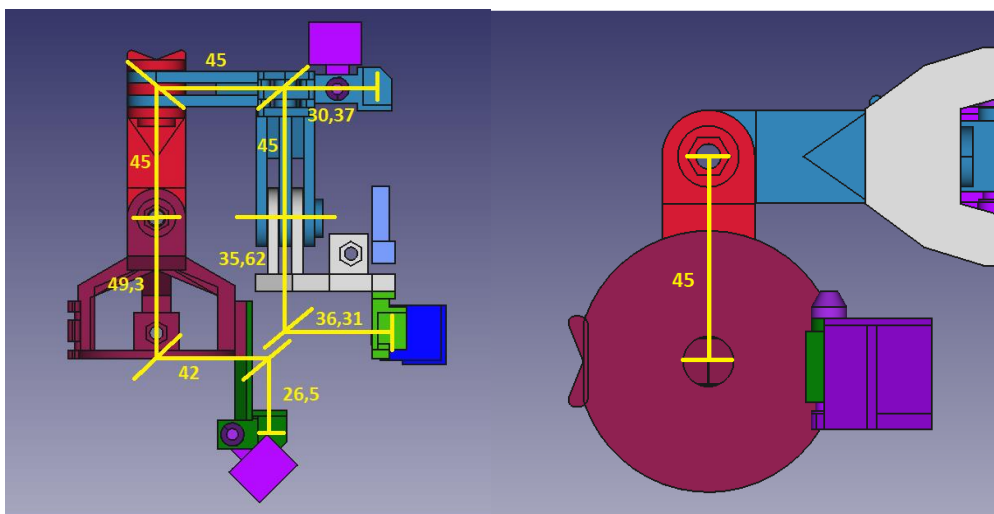
Obrázek 99 Držák odrazky Tubusu-P3

Odrážka bude přilepena k dílu Základna-P3. Lepit se bude klínem ve tvaru V do lůžka stejného tvaru, které je na Základně-P3. Oproti předešlému modelu z Prototypu 2 má tento držák ještě výstupek pro uchycení sestavy krytky koutového odražeče. Na vrchní straně tohoto útvaru jsou vidět dvě V drážky pro zajištění polohy krytky. Úhel mezi otevřenou a zavřenou krytkou netvoří jako dříve 90 °, ale pouze 45 °. Je to právě kvůli případné vzájemné kolizi například s objímkou, která pojišťuje polohu vnitřního tubusu. Sférické retro-reflexivní odražeče mají akceptovatelné úhly odrazu  $\leq \pm 50^\circ$ . Proto uvedu ověřující Obrázek 100 názorně ukazující nezaclonění této pracovní oblasti. Světle zeleně je vyznačená kruhová výseč se 100 °. Simuluje tak reflexivní prostor v rovině Z při otevřené krytce. [81]



Obrázek 100 kontrola rozlišení úhlu koutového odražeče

Přes veškeré snahy jsou při mnohých úpravách některé rozměry pro software rozdílné. Namysli mám rozměry používané k zaměřování a dopočítávání polohy. U některých dílů bylo nutné změnit jejich rozměry s ohledem na funkčnost.



Obrázek 101 rozměry pro výpočet Prototypu 3

Obrázek 102 rozměr pro výpočet Prototypu 3



Rozdíly v porovnání s Prototypem 2 jsou minimální. Na Obrázku 101 a Obrázku 102 jsou vidět naznačené rozměry. Tuto nekonvenční metodu jsem zvolil pro co největší jednoduchost. Žlutá barva v tomto případě více kontrastuje. Čísla jsou v milimetrech. Šikmé čáry značí přechod mezi rovinami, nebo kolmý úhel. Rovné pak značí konec nebo začátek měřené oblasti. Toto schéma je zásadní pro software dopočítávající změnu polohy v reálném čase.

### **Krytky odrazek**

V sestavě Prototypu 3 se nachází dva typy krytek odrazek. Jsou rozdílné hlavně kvůli prostorovým možnostem. U druhého typu hrozilo zasahování do prostoru, kudy eventuálně mohla být vedena kabeláž.

- První typ se nachází s držákem odrazky na dílu s názvem Základna-P3 a L-Profil-B-P3.
- Druhý typ je pouze na dílu Držák odrazky Zakončení-P3.

### **První typ Krytky**

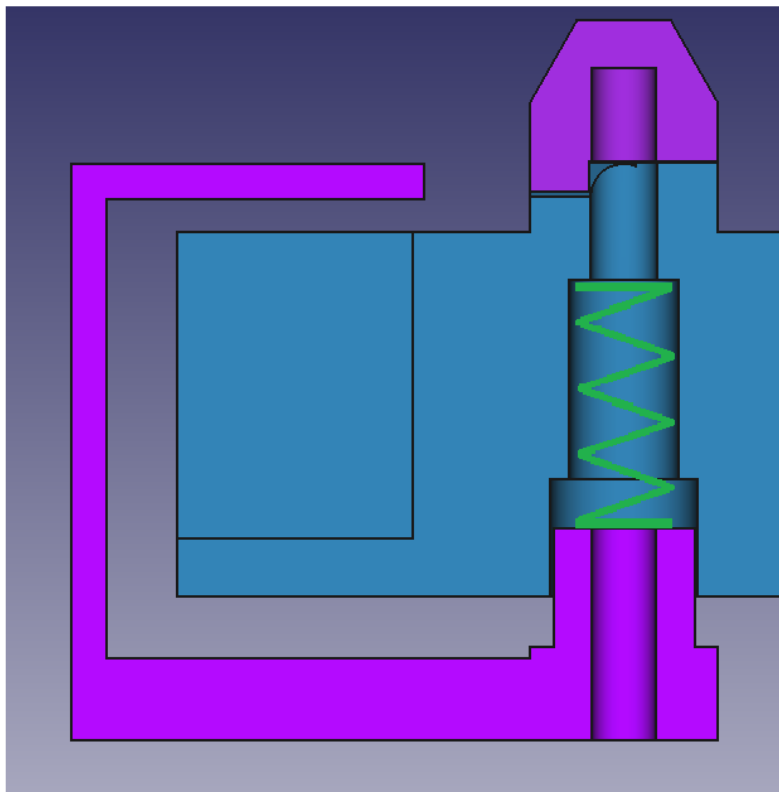
Celá sestava krycího mechanismu má čtyři součásti. Pouzdro – díly s názvem Držák odrazky Tubusu-P3, nebo L-Profil-B-P3. Pouzdro poskytuje místo jako podklad pro zapasování ostatních součástí. Krytka – má funkci krytí sférických retro-reflexivních odražečů. Polohátor – vrchlík s otvorem pro Vodicí tyčku a s jedním V výstupkem. Zapadnutím tohoto V výstupku (zobáčku) do příslušné drážky zajišťuje polohu celé krytky. Pružina – zprostředkovává protisílu pro zajištění polohy Polohátoru. Vodicí tyčka, na této tyčce jsou přilepeny díly Krytka a Polohátor, slouží též pro navlečení Pružiny.

Na Obrázku 103 je vyobrazeno spojení prvního typu v řezu. Modrý díl, coby pouzdro, má název L-Profil-P3 a je to ta část součástky, kde je plánované umístění odrazky. Vrchní díl je Polohátor. Spodní díl je samotná Krytka. Pro lepší přehlednost jsem vynechal Vodicí tyčku. Jak už bylo naznačeno, vede všemi třemi díly. Kvůli zjednodušení jsem také do schématu vložil zelenou pružinu.

Díl označený jako Pouzdro (L-Profil-B-P3) má ve svém středě kruhové otvory se třemi různými průměry. První, nejmenší průměr, nahoře slouží jen k protažení Vodicí tyčky a jako zářezka pro Pružinu. Prostřední válcový otvor se středním průměrem je zde pro umístění Pružiny. Dolní válcový otvor s největším průměrem poskytuje vodicí plochu pro pohyb Krytky v Pouzdře.

Tyčku jsem mohl vytisknout, ale místo toho jsem zvolil uhlíkovou tyčku s průměrem 2,5 mm. Jak z důvodů větší odolnosti (i když síly zde působící jsou zanedbatelné), tak kvůli budoucímu lepení.

Lepení v tomto případě bude na dvou místech. Polohátor a Vodicí tyčka, druhý spoj Krytka a Vodicí tyčka. Jako Pružina poslouží pružinka z propisky, pokud je to nutné, dá se snadno zkrátit její délka. Toto zkrácení by mělo směřovat dolů, aby se nedostalo mezi Vodicí tyčku a Pouzdro.



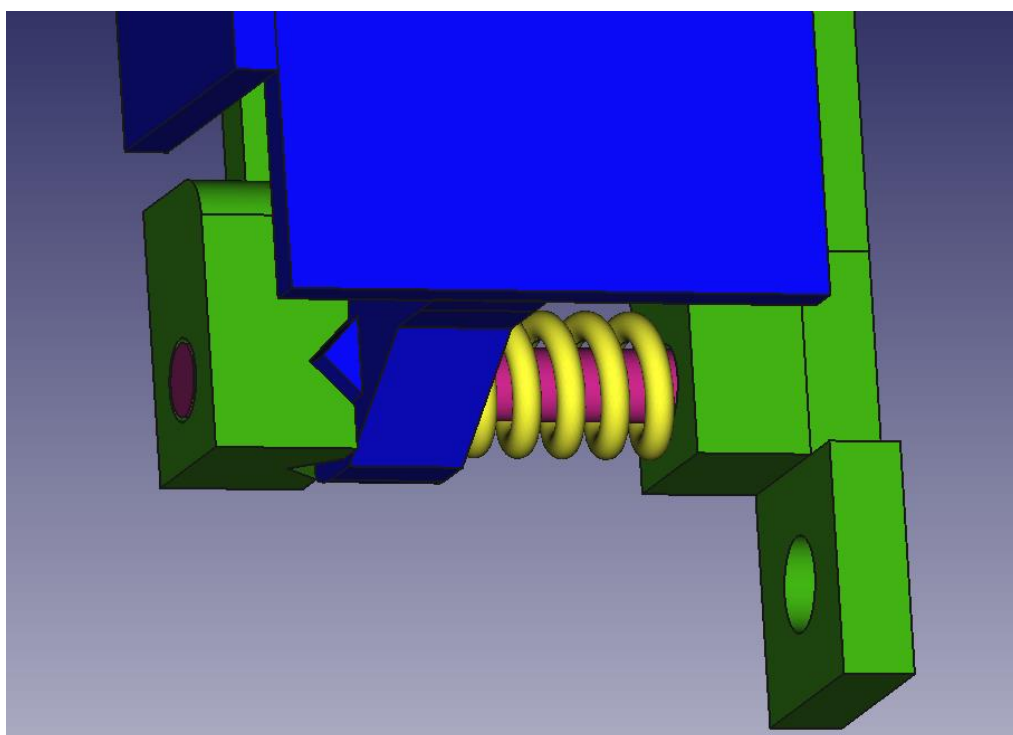
Obrázek 103 řez pouzdem krytky a krytkou

Kompletace má následující postup:

- Vyzkoušení funkčnosti délky Vodicí tyčky. Vodicí tyčka volně prochází krytkou, díky vhodně zvolenému průměru otvoru je zde samosvorná. Je třeba dávat pozor na možnosti vyjždění a zajíždění v klínu Polohátoru.
- Uříznutí správné délky tyčky.
- Slepění Krytky a Vodicí tyčky.
- Navléknutí Pružiny.
- Umístění slepené Krytky s Vodicí tyčkou a Pružinou do Pouzdra.
- Namáčknutí dosavadního celku do Pouzdra a následné nasazení Polohátoru s malým množstvím lepidla. Podržet, dokud nebude lepidlo vytvrzené.

## Druhý typ krytky

Funguje podobně jako první typ krytky. Má ale jen čtyři části. Pokud se mám držet předešlého pojmenování dílů, pak jsou zde opět 4 části. Pouzdro – v tomto případě je to díl s názvem Držák odrazky Zakončení-P3. Na dílky jsou dva kvádrové výstupky s otvory pro Vodicí tyč. Jeden z nich má V drážku pro zajištění polohy Krytky. Krytka je zde tvarovaná jiným způsobem, z důvodu jiného umístění držáku sférických retro-reflexivních odražečů. Krytka také funguje jako Polohátor. Krytka má v místech připojení na Vodicí tyč klínek ve tvaru V, jako je vidět na Obrázku 104. U Vodicí tyče jsou rozměry trochu jiné. Jako pružina je také použita pružinka z propisky.



Obrázek 104 sestava druhé krytky

Názorná ukázka sestavení celku krytky druhého typu. Zelenou barvu má díl s názvem Držák odrazky Zakončení-P3. Modrou barvu nese Krytka odrazky. Žlutou je Pružina. Fialovou barvu obsadila Vodicí tyč. (Pružina a Vodicí tyč jsou modely ukázkového charakteru, Vodicí tyč je zakoupená a Pružina je z propisky. Reálné rozměry se můžou lišit – například u Pružiny počtem závitů).

Pružina působí silou proti zelenému Pouzdro a modré Krytce. Je navlečena na fialovou Vodicí tyč. V místě svého umístění je komprimovaná k sobě. Právě tak, aby měla tendenci se rozšířit do své původní stabilní polohy. Takže se snaží rozšířit a tím vyvíjí sílu na Pouzdro a Krytku. Vodicí tyč je přilepena pouze na Krytku v místě dotyku. Je třeba mít na paměti polohování. To

funguje tak, že krytka je tlačena směrem vpravo proti pružině a Pouzdru. Vzhledem ke slepení Krytky a Vodicí tyče se Vodicí tyč posouvá také směrem vpravo. Její konec se nachází v otvoru. Ale z tohoto otvoru nesmí vyjet, protože Pouzdro (Držák odrazky Zakončení-P3) je tímto směrem připojeno k dílu Zakončení-P3. Na tento fakt musí být brán zřetel při sestavování tohoto celku.

Kompletace má následující postup:

- Uříznutí správné délky Vodicí tyčky.
- Vsunutí Krytky a Pružiny na předpokládané místo.
- Navlečení všech dílů prostrčením Vodicí tyčky otvory.
- Kontrola polohování – tyčka nesmí vyjet z Pouzdra vpravo.
- Lepení proběhne tak, že čelo Vodicí tyče musí být vlevo na stejné úrovni jako pouzdro, tato poloha musí být dodržena při lepení.
- Kryt a Pružina se zatlačí směrem vpravo, je třeba dodržet polohu Vodicí tyče!
- Po kontrole polohy se nanese troška lepidla na Vodicí tyč do míst, kde je předpokládána poloha Krytky. Přísloví méně je více platí dvojnásob. Při nanesení velkého množství lepidla hrozí slepení celého uskupení.
- Tlak na Krytku se uvolní a krytka se přilepí na svou polohu na Vodicí tyči.

## 5. Testování

### 5.1. Lepidla

Při navrhování Prototypu 3 jsem se snažil řídit radou, abych navrhoval díly co nejjednodušeji a s co nejméně pohyblivými částmi. Stejně tak tomu bylo i tvarů. Nicméně kvůli technickým možnostem vycházejícím z metody tisku SLA jsou některé díly určeny ke slepení. Jedná se zejména o Držáky odrazek a samotný krytový mechanismus. Vědom si této potřeby jsem se rozhodl otestovat některá lepidla. Naneštěstí nejsem chemik a jednotlivé vlastnosti materiálů se můžou lišit. Vhodné by tedy bylo lepidla otestovat. Nenašel jsem žádné pojednání o materiálu, kterým jsem tiskl („eSUN hard tough resin“), ani o případných relevantních zkušenostech s lepením. Veškeré nalezené informace byly buď obecně o tisku nebo jiných typech výtisků. Věrohodnost některých amatérských zdrojů by se občas dala vnímat jako velmi nízká kvůli nekompletním informacím nebo protichůdným tvrzením. Taktéž vnímám i aplikování obecných poznatků laické veřejnosti. [90]

### 5.1.1. Lepení sférických retro-reflexivních odražečů

Pro tyto spoje se ve výzkumném oddělení CIIRCu využívá běžná tavná pistole. Poskytuje dostatečně silné spojení pro udržení odrazky na svém místě a snadné možnosti upravení jejího zasazení. Poskytuje také relativně dlouhou dobu usazení, po měřeních i snadnou demontáž bez poškození jak úchytů, tak odrazek. Z těchto důvodů se nebudu věnovat obměně, nebo nahrazování této metodiky. Funguje dostatečně, což jsem si osobně vyzkoušel na Prototypu 1.

### 5.1.2. Testování lepidel

Při těchto testováních nevyužiji klasické zkoušky. Je to zbytečné. Hlavním cílem ale bude zjistit, jestli jsou daná lepidla použitelná a jestli spoje dokážu zefektivnit. U tisku pryskyřicí platí, že pokud vznikne deformace, místa zlomu vytvoří prasklinu ne nepodobnou té od skla. Lepení skla obecně bývá svízelné, a to i přípravky k tomu určenými. Při lepení skla jsem dokázal ale najít pár tipů, jak lepení zefektivnit. Některé z nich hodlám vyzkoušet. Bohužel odhadnout funkčnost lepidla u fotopolymeru citlivého na UV v řádu 360-405 nm bez defacto jakýchkoli znalostí v oblasti těchto specializací je snové.

Vybral jsem některá lepidla z různých oblastí použití a způsobů lepení. Dvousložkovým epoxidům jsem se vyhnul úplně. Některá z nich dosahují pevnosti spoje až po působení vysokých teplot jdoucím běžně nad 100 °C. Ani poté ale častokrát nedosahují uváděných parametrů. Také jsem nepoužil lepidla užívaná ve stavebnictví, jsou určena k lepení jiných povrchů.

První zvolené lepidlo je z oblasti rychleschnoucích lepidel, celým názvem „UHU Super Glue Pipette 3 g“. Určeno je pro všechny povrchy. Schnou v řádu minut.

Druhé vybrané lepidlo je „PATTEX 100% univerzální lepidlo 50 g“. Je vhodné pro všechny druhy povrchu. Schnoucí doba je 24 h. Má být vhodné do interiéru i do exteriéru.



Obrázek 105 UHU Super Glue [82] Obrázek 106 Pattex 100 [83]

Třetí a čtvrté vybrané lepidlo je určené ke spojování plastů. Třetí nese název „UHU POR 50 ml/40 g kontaktní lepidlo“, čtvrté má název „Lepidlo Uhu All Plastics 30 g“. Ačkoliv terminologií a zařazení resinu do plastů se vyvarovávám, je na místě zkusit i tato lepidla, protože je mám k dispozici. Tuhnou v řádu hodin.



Obrázek 107 UHU POR [84]    Obrázek 108 UHU All Plastic [85]

### 5.1.3. První test lepidel

Nejdříve jsem chtěl zjistit, zdali vůbec lepidla budou fungovat. Použil jsem k tomu různé díly, které jsem již měl vytištěné za účelem vývoje. Množství naneseného lepidla se odvíjelo od lepené plochy, tu jsem stanovil jako 1,5 cm<sup>2</sup>. Také jsem testoval spojení dílu s názvem Polohátor s uhlíkovou Vodicí tyčkou. Zde jsem použil pouze první a druhou variantu lepidel. Všechna lepidla jsem nechal následně tvrdnout přes 24 hodin.

Nepoužil jsem zde klasické konvenční destruktivní metody. Pro mé účely plně stačí zjištění, který spoj vydrží více síly i přes fakt, že tato síla bude čistě subjektivně pocitová. Pokud bych spoj oddělil při vyvinutí síly podobné velikosti síly jako u trhání papíru, nezáleží již, jestli trhám jeden nebo dva listy. Záleží na tom, jestli těch listů je dvacet nebo jeden.

První typ je univerzální rychleschnoucí lepidlo (to se ukázalo jako nejvhodnější varianta). Přesto u lepení ploch tímto lepidlem se mi povedlo spojit plochy tak natěsno, že lepidlo bylo doslova vytlačeno na kraje a zanechalo pouze malou vrstvu uvnitř. Bylo to nejspíše způsobeno kapilaritou lepidla a malou drsností povrchu (patrně vzhledem k přesnosti tisku). Rozhodl jsem se tedy provést další testování těchto spojů.

Druhý typ použitého lepidla se ukázal jako nevhodný při spojení ploch, ačkoli spojení uhlíkové tyčky a Polohátoru tímto lepidlem se ukázalo jako dostatečně silné. Při odlepení spojených ploch jsem si všiml, že se lepidlo svojí strukturou podobá transparentnímu silikonu, nebo klasickému univerzálnímu lepidlu značky Herkules. Lepidlo má až gumovou konzistenci i po vytvrdnutí. Toto lepidlo jsem tedy také vyloučil.

Třetí a čtvrté lepidlo naprosto selhalo, tato lepidla většinou způsobují naleptání povrchu plastu, spojení se snaleptáním, následné vytvrdnutí a slepení. Jakýkoli náznak po naleptání lepidlem zde nebyl patrný. Po vytvrdnutí lepidla se spoj dal velice jemně rozpojit.

- Jako nejvhodnější variantou se jeví univerzální rychleschnoucí lepidlo, s kterým budu pokračovat.

#### 5.1.4. Zlepšení vlastností lepeného spoje

První z jednoduchých možností, jak zlepšit vlastnosti lepeného spoje je zvýšení drsnosti povrchu. Pomocí vyzkoušení několika dílenských nástrojů jsem vytvořil množství různě velkých, hlubokých a na sebe kolmých vrypů stejně jako odřením povrchu brusným papírem s nízkým koeficientem zrnitosti.

Dále jsem tyto povrchy rozdělil na dva různé typy. U prvního jsem povrch svědomitě očistil. U druhého jsem se snažil jemný prach a malé třísky dát zpět na své místo. Mělo to fungovat obdobně jako štěrk v betonu. Oba typy spojů jsem opět zalepil UHU Super Glue. Po zalepení a vytvrdnutí jsem přikročil k deformaci těchto spojů. Pocitové zvýšení síly potřebné k odlepení se od referenčního vzorku bez úprav povrchu bylo až poloviční. Bohužel lepený spoj, který měl v sobě drobné částičky, nijak nevynikal nad vzorkem lepeného spoje bez částiček. Dále jsem vyzkoušel nanést na oba typy povrchů silnější vrstvu lepidla v domnění, že se soudržnost spoje zvýší, ale přesto došlo k rozpojení bez znatelných změn.

Ze zkušeností vím, že při lepení skla na sebe, má lepidlo špatné vlastnosti přiléhání k jednotlivým povrchům skla. Ovšem to se dá snadno změnit. Například přidáním papírového kapesníku na lepený povrch. Nejen že se tak zvýší vrstva lepidla, ale sklo se už nepřichytává pouze k lepidlu a sklu, ale také k lepenému papírovému kapesníku. Soudržnost spoje je tím zvětšena. Vteřinové lepidlo také dokáže po nanesení na papírový kapesník tento kapesník velmi silně vytvrdit. Tyto poznatky mě vedly k vyzkoušení i této varianty.

Opět jsem tedy zdrsnil povrchy plánovaného kompozitního spoje s kapesníkem a referenčního spoje. Následně je slepil. Už při lepení kompozitního spoje jsem využil většího množství lepidla než v případě referenčního spoje se stejnou plochou. Pro jistotu jsem počkal 24

hodin. Následovaly destruktivní zkoušky spojů. Začal jsem referenčním spojem. Referenční spoj jsem dokázal oddělit s pocitově stejnou silou, jako u dřívějších spojů tohoto typu. Nicméně milé překvapení přišlo při plánované destrukci kompozitního spoje. Této destrukce se mi nepodařilo docílit. Místo toho se mi povedlo rozlomit tištěný díl.

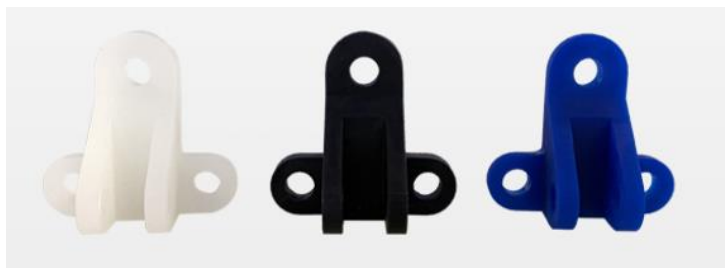
Optimálního spojení lepidlem tedy dosáhneme s využitím například papírového kapesníku, nebo papírové utěrky. Lepené povrchy je velice výhodné zdrsnit různou hloubkou vrypů v různých směrech. Zvýší se tak kontaktní plocha s lepidlem, nanesená vrstva lepidla a přilnutí jednotlivých povrchů k sobě. Tímto způsobem se dá snadno maximalizovat únosnost lepeného spoje.

## 5.2. Výběr metody tisku Prototypu 3

Prototyp 2 byl tištěn na klasické FFF tiskárně. Vlastnosti výtisku z hlediska povrchu nebyly vhodné. Tiskárnu typu SLS jsem shledal už dříve jako nevhodnou pro tento vývoj. Rozhodl jsem se tedy využít metodu tisku SLA.

Naskytla se příležitost tisknout na Prusa SL1. Jako materiál se v současnosti využívají nejčastěji tyto skupiny pryskyřic: standartní, pevnostní, odlévací, dentální, flexibilní. Na základě předpokládaného využití jsem vybral pevnostní typ. Konkrétně je to „eSUN hard tough resin - tvrdý resin pro 3d tiskárny“. Tento typ má zvýšenou odolnost oproti standartním pryskyřicím. Výrobce udává následující vlastnosti: vysoká rázová odolnost, vysoká odolnost vůči nárazům, vynikající mechanické vlastnosti – tvrdost, pevnost v tahu a ohybu, vysoká tvrdost povrchu a odolnost vůči opotřebení. [65][87]

Jako barvu jsem vybral modrou. Předpokládal jsem, že díky této modré barvě budou dobře vidět zákoutí, detaily a změny tvarů modelů. Kontrast tvoří mnohem lepší, než bílá nebo černá barva. Černá barva také velmi dobře pohlcuje záření. Při eventuálních venkovních zkouškách by tak mohla teplota dosáhnout vysokých hodnot. Například v letních měsících.



Obrázek 109 ukázka nabízeného barevného provedení [87]



- Vlnová délka (tiskárny) -> **395 - 405 nm**
- Hustota -> **1,10 - 1,15 g/m<sup>3</sup>**
- Viskozita (při 25°C) -> **200 - 300 MPa·s**
- Tvrdost -> **81 ShoreD**
- Pevnost v tahu -> **55 - 60 Mpa**
- Prodloužení při přetržení -> **30 - 50 %**
- Pevnost v ohybu -> **70 - 80 Mpa**
- Nárazová odolnost -> **67-100 J/m**

*Obrázek 110 vlastnosti resinu - eSUN hard tough resin*

### 5.3. Rozměry tisku

Teoretická přesnost tisku tiskárny Prusa SL1 je 0,05 mm. Tištěná plocha má dvě strany, je rozumné tedy počítat, že díly budou zhruba o alespoň 0,1 mm větší. Otvory jsou pak alespoň o 0,1 mm menší, odhadem a zkušeností s následujícím tiskem okolo 0,2 mm.

Při případném spojování dílů je tento fakt nutno brát na vědomí. Mezery mezi díly s rozměrem 0,1 mm budou pravděpodobně velmi natěsno. Mezera 0,3 mm už opravdu může být brána jako mezera. Z těchto důvodů jsem se rozhodl pro pár zkoušek, které otestují nejideálnější velikost mezery. Podrobněji o tom píší v kapitole 5.3.2 Rozměry šířky žeber – realizace

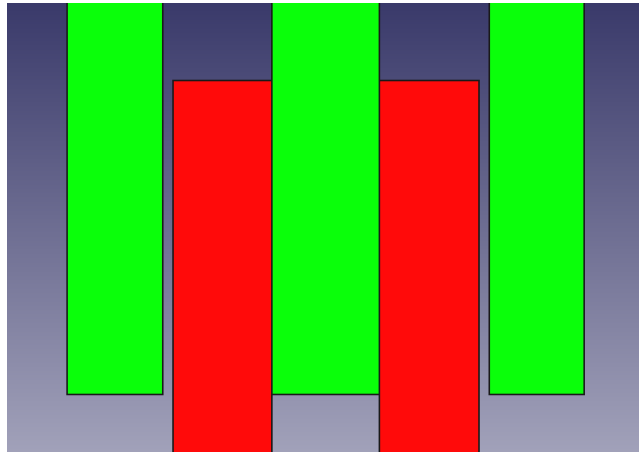
#### 5.3.1. Rozměry žeber

Základní rozměr pro tloušťku žeber jsem vybral 4 mm. Předpokládal jsem případné ubraní, popřípadě zvětšení této šířky za účelem zapasování žeber do sebe. Ze zkušeností vím, jak fungují žebrová spojení tohoto typu.

Mějme část A a část B. Část A tvoří 3 žebra s mezerami. Část B tvoří 2 žebra. Prostřední žebro části A dosahuje větší šířky než zbylá dvě postranní. Dvě žebra části B pak toto prostřední žebro části A svírá k sobě. Dalo by se říct, že na toto spojení těchto 3 žeber tvoří samosvorný spoj. Zbylá dvě žebra části A zpravidla nejsou spojena tak natěsno a u některých těchto spojení šla vidět i mezera. Postranní žebra části A jsou i užší než prostřední žebro. Je to z důvodu lepšího ohýbání při utahování šroubového spoje.

Krátká rekapitulace: Prostřední žebro části A a dvě žebra části B tvoří samosvorný spoj. Postranní žebra části A jsou užší, aby se lépe ohnula a vyvinula sílu na zbylá žebra při aplikaci šroubového spoje.

Samosvorný, nebo alespoň částečně samosvorný spoj je výhodný při skládání a názorné ukázce předpokládané instalace. Výzkumný pracovník tak může jednotlivé díly do sebe zaklesnout a rozebírat je bez nutnosti spojování šrouby. Pro lepší ukázkou zde uvedu zjednodušení Obrázek 111 je ideální – nezobrazuje reálné rozměry kvůli tolerancím tisku.



Obrázek 111 demonstrace žebrového spojení

Světle zelená je část A se třemi žebry. Prostřední žebro je širší než dvě postranní. Červeně je zde vyobrazena část B. Šířka obou žebek části B je zde stejná. Mezery jsou mezi postranními zelenými žebry a červenými žebry. Zato mezi červenými žebry a prostředním zeleným mezera není a vytvářejí spolu samosvorný spoj.

### 5.3.2. Rozměry šířky žebek – realizace

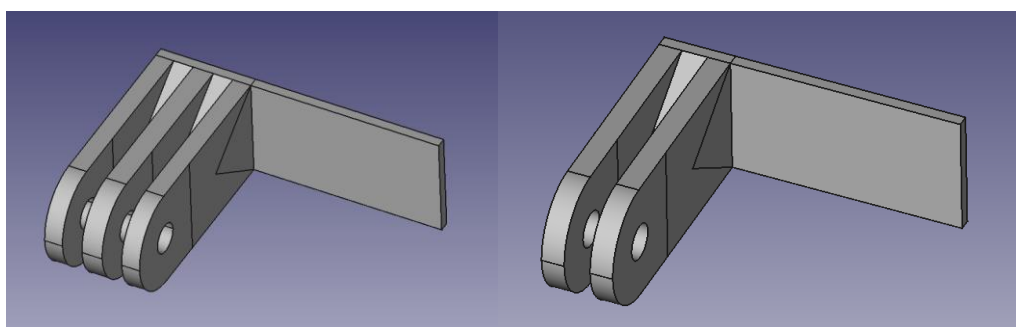
Jak jsem již naznačil v 5.3. Rozměry tisku, bylo potřeba stanovit optimální šířku žebek. Tato šířka musí respektovat možnosti tisku metodou SLA. Vnější rozměry jsou nejčastěji větší o 0,1 mm. Vnitřní rozměry jsou typicky menší alespoň o 0,1 mm. Samozřejmě vše závisí na mnoha faktorech – například na směru tisku, orientaci tištěného objektu a na velikosti rozměrů.

Rozhodl jsem se vytvořit několik testovacích dílů k určení nejlepší možné kombinaci rozměrů žebek a jednotlivých mezer mezi nimi. Budu se držet již zavedeného značení. Žebrový spoj má dvě části. Část A má tři žebra. Část B má jen dvě. Jednotlivé rozměry šířky žebek jsem stanovil takto. Část A dosahuje hodnot 3,8 mm, 4,3 mm a 3,8 mm. Žebra Části B mají rozměr 3,95 mm. Prostřední žebro Části A je nejširší a je koncipováno jako samosvorné ve spojení s dvěma žebry Části B. Zbývající dvě postranní žebra části A jsou tenčí. Je to z důvodu lepšího ohýbání při kompletaci šroubového spoje.

Výchozí rozměr tloušťky žebek jsem stanovil na 4 mm s vědomím, že jej budu rozšiřovat nebo snižovat s ohledem na reálné rozměry mezi žebry.

## První tisk

První tiskovou sadu jsem vytvořil tak, že mezi všemi žebry po spojení bude 0,1mm mezera. Žebrové celky jsem vybavil ještě prostým vysunutím pro lepší manipulaci a ke zjištění chování materiálu při tloušťce 2 mm. Lze si povšimnout klínového útvaru vyztužujícího žebra. Úhel 70 ° ve špičce klínu jsem volil na základě funkčního natáčení senzoru. Možnosti natáčení tohoto spojení jsou 290 °. V dopředném směru, lze polohovat v celých 180 °. V opačném směru se může natáčet v 55 ° na obě strany. Úhel 55 ° není náhodný, respektuje pracovní natočení sférických retro-reflexivních odražečů, to činí 50 °. Zbýlých 5 ° je rezerva. Při této kompilaci jsou možnosti natáčení velmi výhodné.



Obrázek 112 Část A žebrového spoje

Obrázek 113 Část B žebrového spoje

Jak ukázal tisk, žebra do sebe zapadnou a jsou při tom velice natěsno. Dalo by se také tvrdit, že postranní žebra Části A jsou velice mírně ohýbány směrem ven od spoje. Spojem s touto variantou mezer je obtížné využít celý rozsah natočení – 290 °. Při pohybu na okrajích tohoto rozsahu působí vyztužující klíny kontraproduktivně. Žebra se do sebe zaklesávají v krajních polohách příliš obtížně. Jejich spojení v těchto místech působí silně samosvorně a je náročné se vrátit do původních poloh.

## Druhý tisk

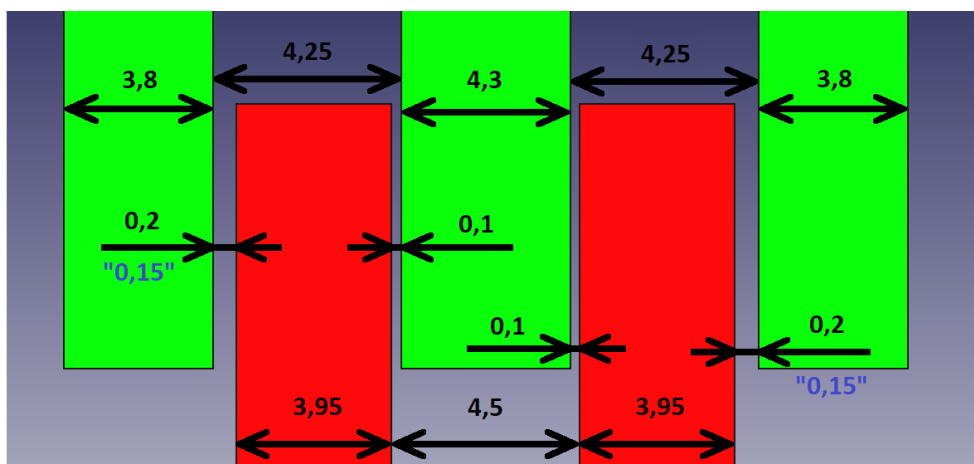
Pro vyzkoušení možností tisku jsem posléze tiskl testovací díl s názvem L-profil-B-P3. Ten měl posloužit k prozkoumání možností tisku, otestování jedné z variant držáků kabeláže ale především také ke zjištění nejvhodnějších rozměrů mezer mezi žebry. Mezery mezi spojením žeber jsem stanovil na 0,15 mm. V tomto případě jsem prozatím netiskl protikusy. Jako protikusy jsem použil minulé vytištěné testovací díly. Vyplývalo to z plánovaného testování rozměrů. Nejdříve mezery 0,1 mm a u protikusů také 0,1 mm, dále pak kombinaci 0,1 mm a 0,15 mm a obráceně. Pokud by tato testování nepřinesla vhodný výsledek, tímto zvyšováním bych pokračoval.

Při druhém tisku testování rozměrů žebor jsem přišel na zjištění ideální kombinace rozměrů mezer pro spojení žebor. V prvním žebrovém spojení figurovala tři žebra Části A a dvě žebra z testovacího dílu L-profil-B-P3. Větším rozestupem mezi dvěma žebry L-profilu bylo způsobeno, že tato dvě žebra měla tendenci narážet do čelních ploch Části A a nespojit se. Po spojení těchto dvou částí byl spoj stejně, ne-li více samosvorný než v prvním testování těchto celků.

Zato druhá strana L-profilu, která měla tři žebra, předčila očekávání ve spojení s Částí B z první sady, která měla žebra dvě. Stalo se to, že Část B pevně samosvorně svírala prostřední žebro z L-profilu. Zato postranní žebra nevyvíjela zbytečně velkou sílu při spojení. Ani neměla přílišnou tendenci zamezování pohybu v krajních natočeních, jako tomu bylo v předešlém testování rozměrů mezer. Je pozoruhodné, že tato nepatrná úprava (z 0,1mm na 0,15mm mezeru, jen u jednoho dílu) dokáže až tak změnit chování spoje. Kvůli reálným možnostem tisku jsou tyto konečné rozměry poněkud jiné než ideálně navrhnuté. Přesto se lze domnívat, že teoretická přesnost 0,05 mm tiskárny využívající metodu SLA, se opravdu zakládá na reálných poznatcích. Po tomto tisku jsem našel ideální kombinaci spojení. Tudíž jsem již nemusel testovat další sady pro nalezení nejoptimálnější mezery.

### Nejvhodnější mezery žebrového spoje

Nejideálnější spojení žebor tedy nastává v případě, pokud dvě žebra Části B koncipovaná na mezeru 0,1 mm pevně svírají prostřední žebro L-profilu. Postranní žebra L-profilu pak jsou navržena na mezeru 0,15 mm. Pro ilustraci uvádím zjednodušené zobrazení na Obrázku 114 ideálních rozměrů žebrového spojení. Obsahuje i „anomálii“, ta je vysvětlena pod Obrázkem 114. Pro účely ilustrace jsou reálné rozměry modelů jiné, jinak by se mezery nevykreslily v těchto malých rozměrech, nebo by bylo velice obtížné názorně zanešt.



Obrázek 114 nastavení žebor vůči sobě

„Anomálie“ se vytvořila použitím dvou různých systémů nastavení mezer a rozměrů žeber. Tři zelená žebra jsou z druhé testovací sady. Zde byl předpoklad použití mezer s velikostí 0,15 mm. Dvě červená žebra jsou z první testovací sady, kde byla použita velikost mezery 0,1 mm. Kdyby tato červená žebra byla z druhé testovací sady, tak by jejich první mezera od středu byla 0,15 mm a jejich poloha tak byla posunuta o 0,05 mm ve směru od prostředního žebra. První sada se ale dle tohoto aspektu neřídila. Proto vzniká zdánlivá chyba – anomálie 0,05 mm. Byla způsobená oním neexistujícím posunutím červených žeber, ty respektují svou původní polohu na mezeru 0,1 mm. Tím pádem zbylých 0,05 mm musí být přítomno na druhé straně žebra. Tak se ovšem i mezera z původních zamýšlených 0,15 zvýší na 0,2 mm. To vychází opět ze předpokládaného posunutí. Zmiňuji to až teď. Bylo by složité vysvětlovat proč u konfigurace mezer mezi žebry 0,15 mm se žádný tento rozměr nevyskytuje a je pouze 0,1 mm a 0,2 mm. Anomálie jsem si byl dobře vědom. Proto jsem se držel značení 0,15mm mezery a tento rozměr je na Obrázku 114 vepsán modře v uvozovkách.

Tato varianta spojení vyniká svou kombinací samosvornosti a bezproblémového nastavení v celém 290 ° rozsahu.

### 5.3.3. Uchycení kabeláže

O jednotlivých principech fungování adaptivního V lůžka jsem psal již v kapitole 4.4. Návrh Prototypu 3. Ovšem jeho celkovou skladbu na sestavě bych měl upřesnit. Hlavně objasnit z jakých důvodů jsem volil umístění lůžek a jakým způsobem je plánováno vést kabeláž.

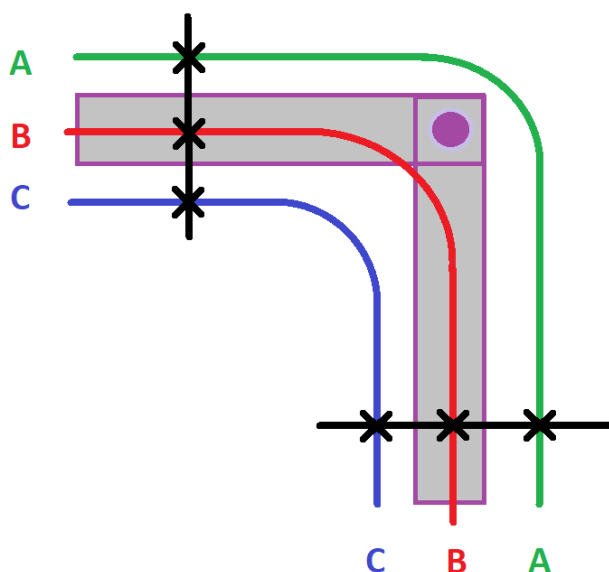
U pohyblivých částí je kabeláž vždy problematická. Kabeláž má často tendenci být v místech, kde je její poloha nevhodná. Obecně jsou to místa například kloubových spojení, kde hrozí její zaklesnutí a poškození. Je častým jevem, že když se kabeláž uchytil pevně na jednom místě, o pevné uchycení se přesto nejedná. Kvůli četným pohybům, vlastní váze a natahování kabeláže se délka kabeláže v jednotlivých úsecích zkracuje. To potom vede k omezení jednotlivých pohybů. Problematická je i nadměrná volnost kabeláže. Kabeláž se pak snadno zachytne za jiný prvek konstrukce a hrozí její odtržení, omezení pohybu nebo případné škody kvůli zamotání.

Vytiskl jsem tedy několik dílů k otestování možností a omezení plynoucích z vedení kabeláže. Po mnohých diskusích a zkouškách jsem finální vedení kabeláže stanovil polohou lůžek viz kapitola 4.4. Návrh Prototypu 3. Využil jsem tak následujícího principu využívaného v praxi. Jde o prosté využívání flexibilní smyčky, nebo dvou smyček smotané kabeláže. Mějme dvě ramena spojená spolu na jednom konci, ramena se vůči sobě vzájemně otáčejí. Na tato ramena je nutno přichytit kabeláž. Dalo by se říct, že k uchycení kabeláže máme dvě možnosti. Jedna

z možností je po straně, kolmo k rovině otáčení. Druhá možnost je nahoře/dole. Pro první variantu platí, že délka kabeláže se bude měnit v závislosti na úhlu. Například při dvou 50 mm délkách pod úhlem 90 ° se kabel bude chtít zkroutit do oblouku po jedné čtvrtině obvodu kruhu. Jedna čtvrtina obvodu kruhu s poloměrem 50 mm je ale 78,5 mm. Pokud bychom kabeláž s tímto úhlem a touto trasou spojily ke konstrukci a potom narovnali, trasa kabelu by byla rovných 100 mm. My jsme ale kvůli přirozenému pohybu kabeláže po jedné čtvrtině kružnice vyčlenili pouze 78,5 mm. Obdobný problém nastává u uchycení nahoře/dole v rovině otáčení. Trasa tentokrát povede okolo kloubu buď vně po delší trase, nebo uvnitř po trase kratší. Tentokrát jsou rozdíly v délkách ještě větší, viz Obrázek 115.

Je nutné brát v potaz i možnosti ohýbání kabelových svazků. Při uchycení na malé délce budou ostré úhly vyloučeny. Jinak by hrozilo poškození kabeláže.

Uchycování kabeláže je dobré alespoň na dvou místech, kvůli rozložení síly. V praxi se tak také předchází poškození kabeláže. Z tohoto důvodu jsem užil dva zářezy v lůžkách místo jednoho.

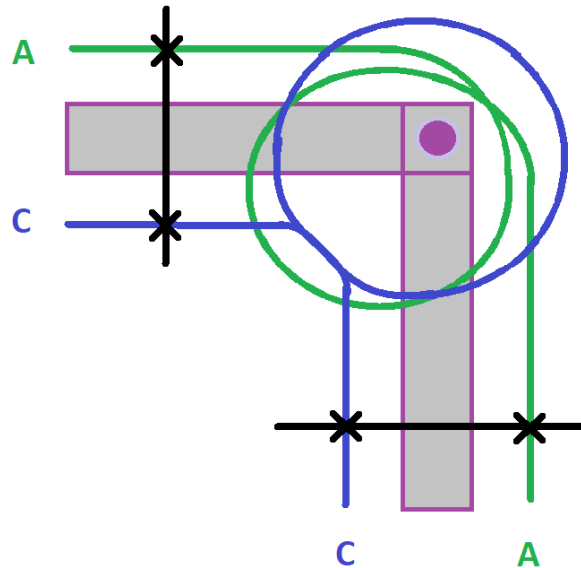


Obrázek 115 možnosti realizace kabeláže

Na schématu jsou zobrazena dvě šedá ramena svírající úhel 90 °, například o zmiňované délce 50 mm. Barvami zelená, červená a modrá jsou naznačeny trasy kabelových svazků A, B, C. Černě je naznačené spojení kabeláže ke konstrukci. Lze snadno vidět i dopočítat rozdílnou délku kabeláže.

Toto se dá obejít vhodně vloženou smyčkou, případně dvěma, jejíž průměr se bude lišit v závislosti na úhlech. Smyčky způsobí, že kabely nikdy nebudou v ostrých úhlech. Zároveň lze

takto uchytit kabeláž pevně ke konstrukci bez obav ze změny délek kabeláže v jednotlivých úsecích. Nikde totiž nemůže vzniknout síla, která by táhla kabeláž k jinému úseku. Tyto smyčky také dobře respektují změnu přechodu rovin.

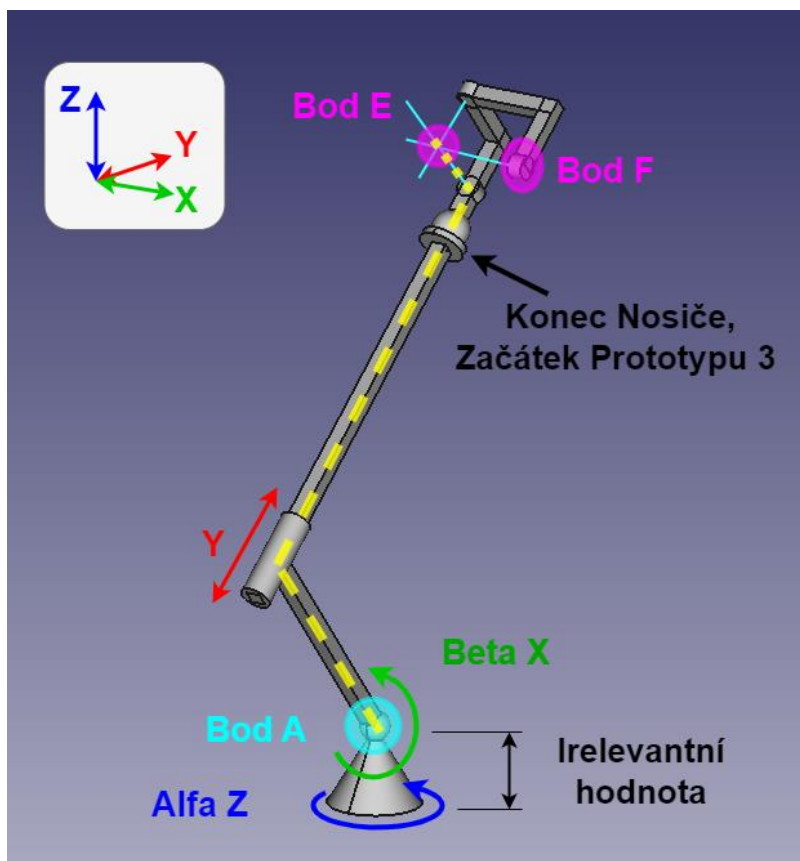


Obrázek 116 smyčky kabeláže

Na Obrázku 116 jsou vyobrazeny dvě smyčky, nahoře a dole svazky kabeláží značených modře A, C. V tomto případě jsem vynechal červený svazek B. Při změně úhlu ramen z  $90^\circ$  na  $270^\circ$  by totiž byla smyčka totožná. Zeleným svazkem A je vyobrazen úhel spojení  $270^\circ$  a modrým svazkem C pouze  $90^\circ$ . Nemůže se tedy stát, že na černě značené uchytení kabeláže bude vyvíjena síla od zkracování kabeláže. Toto zkracování se totiž promítne pouze do změny průměru smyčky. Jako vylepšení tohoto principu je vhodné například udělat dvě smyčky, a to v případě dostatečně velké konstrukce. Nebo také lze střed smyčky upevnit na více místech ke konstrukci. Já musel volit druhou variantu. Smyčky budou omotány kolem utahovacích madel šroubů.

## 5.4. Reálné zaměření polohy

Vycházím z kapitol (2.3.4. Zaměření polohy, 4.1 Rozdělení držáku na dvě části). V těchto kapitolách bylo demonstrováno zaměření modelu a vysvětlení rozdělení držáku na dvě části. Model je zde zjednodušenou interpretací Nosiče a Prototypu 3. Jsou vynechány doprovodné prvky jako držáky koutových odražečů a instalační páky. Alfa Z je číselná interpretace rotace kolem osy Z vzhledem k pozdějším výpočtům, obdobně tak Beta X.



Obrázek 117 zjednodušený model Nosiče a Prototypu 3

Jsou dva přístupy, kam umístit nulu. První je na začátek konstrukce – na samotnou základnu a zaměřit ji pomocí tří odražečů. Druhý je vložení počátku do Nosiče a využít vlastnosti konstrukce. Pro budoucí využití a univerzálnost je výhodnější využít druhý přístup. Začátek základny nemusí být viděn a umístění držáku nebude limitováno. Pro stanovení začátku uchycení celku lze využít konvenční přístroje jako například posuvné měřítko. Jde o stanovení žádané polohy v prostoru, nikoli počátku.

Stanovení počátku v konstrukci a využití stavby nosiče se provede pomocí laserového zaměřovače polohy, polohování kružnic v prostoru – obálek a následného výpočtu. Tento postup se nazývá kalibrace. Na Nosiči není umístěn žádný senzor. Využit bude koutový odražeč na hlavním dílu Základna-P3. S případnou patřičnou korekcí polohy senzoru – nemusí být nezbytně nutné. (dle zvoleného výpočtu)

- Laserový přístroj se zaměří na koutový odražeč, který je vhodně umístěn v prostoru. Vhodně znamená, že veškeré vykonávané pohyby (opsání obálky coby kružnice) nebudou zastíněny vzhledem ke konstrukci.
- Těchto obálek v prostoru se opíše pomocí laserového zaměřovače několik, pokaždé s jinou instalací v prostoru. K tomu využijeme pokaždé pouze jednu



rotaci – jen tělesa 1 v ose nebo tělesa 2 v ose. Je vhodné opsat celou kružnici, není to ovšem podmínka.

- Z těchto kružnic se stanoví osy otáčení, které se protnou v jednom bodě. Tento bod lze pak označit za počátek.

Podobným principem, jako u zaměření počátku, lze stanovit vzdálenost od kloubu tělesa 2 k tělesu 3. V tomto případě se stanoví orientovaná přímka pomocí sledování odražeče na prototypu a translačního pohybu tubusu. Od této přímky se stanoví kolmice k počátku, kolmice má nejkratší vzdálenost.

Na zjednodušeném Obrázku 117 jsou barevně zvýrazněny jednotlivé části konstrukce. Modře Bod A, fialově body E, F. Tyto body jsou stěžejní. Princip výpočtů bude spočívat ve využití konstrukce Nosiče a faktu, že mnou navržené rotační osy Prototypu 3 se protnou v jenom bodě. Žlutě je vyobrazena pomyslná cesta do bodu E, reprezentující jednotlivé vzdálenosti vynásobený příslušnými úhly pro dosažení polohy.

#### **Důležité**

- Bod A: Osa zvoleného počátku, kterou lze zkalibrovat.
- Bod E: první poloha, kam je nutné se dostat vzhledem k instalaci, také tento bod je středem otáčení os Prototypu 3. Tento bod je neměnný vzhledem k různému polohování Prototypu 3 (při zachování vzájemné polohy Nosiče a Základny-P3)
- Bod F: koncový bod reprezentující skutečnou polohu a natočení senzoru. Ve vztahu k bodu E se chová jako orientovaná přímka v prostoru s pevně daným počátkem.

#### **Nedůležité**

Irelevantní hodnota: vzdálenost k uchycení základny

- Nedůležité, polohu počátku stanovím a od toho bodu se dále dopočítají žádané posuvy.
- Tato hodnota také reprezentuje polohu kloubů rotace osy Z a X. Z hlediska matematiky není relevantním faktorem, jelikož nezáleží na vzájemné poloze dvou kloubů, ale zaleží na tom, že jsou v ose otáčení.

### **5.4.1. Dopočet instalace v prostoru**

Zde využijí principů popsaných v kapitole výše. Platí zde předpoklad, že veškeré využití rozměry byly již správně stanoveny pomocí kalibrace, nebo konvenčním měřením potažmo využití předpokladu přesnosti výroby. Hodnoty, které jsou použity, jsou zaznamenány v kinematických schématech. U prototypu jsou tyto hodnoty detailněji popsány v kapitole 4.4.

Návrh Prototypu 3. Dále využiji rozdělení na dva samostatné celky (nejdříve se instaluje Nosič a pak Prototyp, instalace probíhá v kooperaci). Také využiji spojení mezi Nosičem a Základnou-P3. Toto spojení bude pevné. Vycházím tak ze zkušeností s manipulací a zjednodušení výpočtů. Ač v této ose lze rotovat, upínání šroubu bývá svízelné a nedoporučuji rotaci ve velkém uplatňovat.

Využitá metoda bude na principu inverzní kinematiky. Ta spočívá ve znalosti polohy senzoru, počátku a žádané polohy. Dle znalosti, kde se nachází senzor a počátek, mohu stanovit pohyby potřebné k dosažení žádané polohy v prostoru. Mým cílem na uvedeném modelu je stanovit pět úhlů a jednu vzdálenost. Dva úhly a vzdálenost využiji pro Nosič. Tři úhly pro Prototyp.

Z hlediska výpočtů je velmi výhodné využití konstrukce nosiče, následné stanovení počátku (viz výše) jeho konstrukce a využití vhodně zvoleného návrhu – tří rotačních os, které se protnou v jednom bodě. Pomyslná cesta pro výpočet poloh je pak následující – počátek, bod E, bod F. Pokud pevně svážu výpočtem počátek a bod E, stačí mi pak jen už dopočítat tři zmiňované úhly, abych docílil žádané hodnoty senzoru v prostoru, včetně jeho natočení. Musím však zmínit, že mnou uváděné výpočty budou na konkrétních případech. Z matematického pohledu je více správných nastavení. Já však budu zmiňovat a popisovat metodiku na konkrétních instalacích modelu. Tyto poznatky byly nutné pro hlubší pochopení navrhovaného konceptu držáku doprovázené jeho funkcí. Také zde beru v potaz i korekce.

### 5.4.2. Žádaná hodnota

Polohy jsou stanoveny z modelu. Požadovaná poloha senzoru vůči počátku v prostoru je  **$F_x = -30,32$  mm;  $F_y = 167,51$  mm;  $F_z = 343,86$  mm** v místě umístění má být natočen s úhly vůči základnímu souřadnicovému systému  **$\Theta_{XF} = -70^\circ$ ;  $\Theta_{YF} = 30^\circ$ ;  $\Theta_{ZF} = -15^\circ$** . Tyto hodnoty reprezentují bod umístění  **bodu F**.

Důležitá poloha  **bodu E**, který předchází bodu F a při instalaci držáku je prvním stupněm, jsou souřadnice  **$E_x = 51,37$  mm;  $E_y = 88,97$  mm;  $E_z = 316,05$  mm**. Pro koordinátory bodu E jsou nastavitelné parametry následující:  **$\Theta_x = 50^\circ$ ;  $\Theta_z = 30^\circ$ ;  $K = 250$  mm**.

### 5.4.3. Výchozí poloha a natočení

Bod  **$F_{Výchozí} = F_x = -62,42$  mm;  $F_y = 97,42$  mm;  $F_z = 215,17$  mm** s natočením  **$\Theta_{XF} = -86^\circ$ ;  $\Theta_{YF} = 5^\circ$ ;  $\Theta_{ZF} = -78^\circ$** .

Bod  **$E_{Výchozí} = E_x = 17,11$  mm;  $E_y = 80,52$  mm;  $E_z = 209,5$  mm** což odpovídá nastavení Nosiče  **$\Theta_x = 32^\circ$ ;  $\Theta_z = 12^\circ$ ;  $K = 130$  mm**.

Natočení do správné polohy se tedy provede pomocí instalace Nosiče a následně Prototypu. Při každé instalaci úseku je korekce vůči nule, jak je popsáno v kapitole 2.3.4. Zaměřování polohy. Do žádané polohy se musejí vykonat tyto pohyby:  $\Theta_x = 50^\circ$ ;  $\Theta_z = 30^\circ$ ;  $K = 250 \text{ mm}$ . Pro nastavení nosiče a následného  **bodu E**  je zapotřebí nastavit Nosič o následující hodnoty:

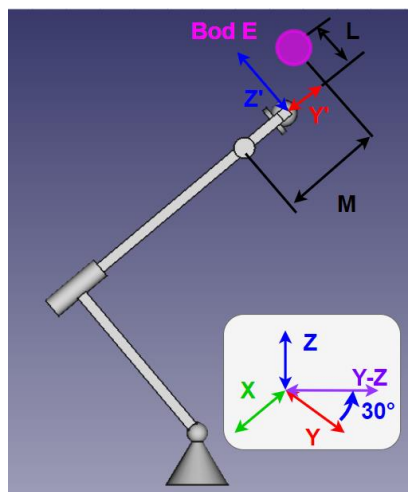
- $\Theta_x = 18^\circ$ ;  $\Theta_z = 18^\circ$ ;  $K = 120 \text{ mm}$

Pro nastavení koncového  **bodu F**  je nutné natočit jednotlivé části Prototypu 3 do hodnoty:

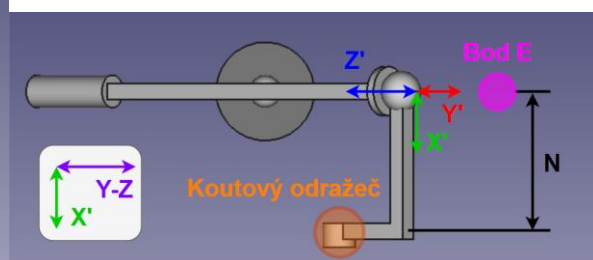
- $\Theta_{XF} = -16^\circ$ ;  $\Theta_{YF} = 25^\circ$ ;  $\Theta_{ZF} = -63^\circ$

#### 5.4.4. Korekce polohy koutových odražečů vůči modelu

Na měřeném držáku jsou umístěny tři koutové odražeče. Tyto odražeče jsou zaměřeny pomocí laserového zaměřovače polohy. Níže uvedený model sice pracuje s těmito hodnotami, ale je mnohem výhodnější tyto hodnoty kompenzovat. Není to nic jiného, než prosté posunutí v prostoru o známou hodnotu. Tím pádem se zaměřené místo přesune do osy, nebo do senzoru a dostaneme tak požadovanou hodnotu reprezentující skutečnou polohu. Tyto korekce se provádějí tři, jejich cílem je využít známé rozměry k dosažení požadovaných dat. Demonstrativně zde uvedu korekci prvního koutového odražeče. Umístění prvního odražeče lze vidět na Obrázku 118. Tento případ popisují na žádané poloze v prostoru.



Obrázek 118 schéma pro výčet



Obrázek 119 schéma – půdorys pro výpočet

Pro účely demonstrace zde použiji zjednodušený model. Jednotlivé vzdálenosti jsou upraveny tak, aby vyobrazené schéma bylo co nejsrozumitelnější. Vzdálenosti mohou být měřítkově rozdílné, úhly jsou zachovány. Na konci nosiče je zaveden nový souřadnicový systém s počátkem, má informativní charakter. Na Obrázku 119 je nejnižše položen koutový odražeč, od

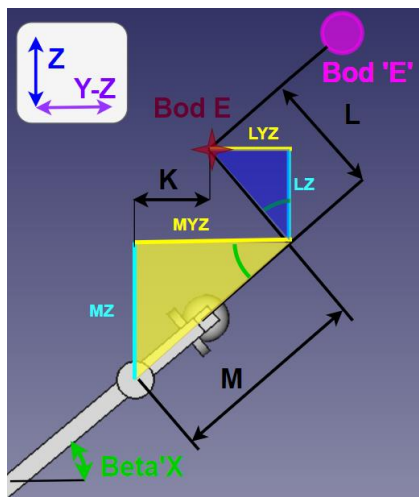
tohoto místa se bude provádět korekce. Koutový odražeč má následující koordináty: **KO1x=-6,77 mm; KO1y=95,72 mm; KO1z=229,06 mm**

Posunutí popíšu na základním levotočivém souřadnicovém systému. Celkově tedy započteme posunutí koutového odražeče v ose tubusu o 78,80 mm v ose X, o 42 mm v ose Y a o 45 mm v ose Z. Osa X je nakloněná o 40 ° a osa Z o 30 °. Osová rotace kolem osy Z je reprezentována fialovou rovinou Y-Z.

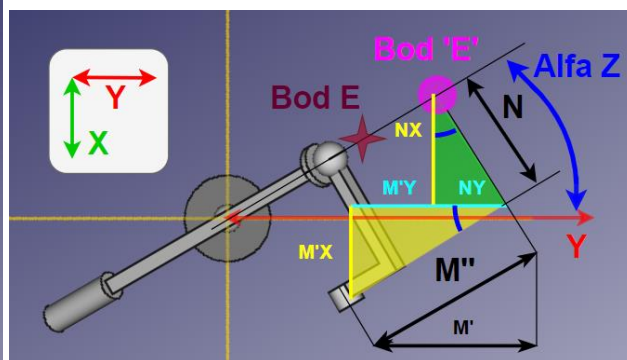
### 5.4.5. Rovnice pro stanovení korekce KO1

Cílem je stanovit jednotlivé vzdálenosti od koutového odražeče k bodu E a to v základním souřadnicovém systému. Stanovení se tedy týká složek X, Y, Z.

Pro demonstraci uvádím Obrázek 120 a Obrázek 121. Na obrázku vlevo je zobrazeno promítnutí roviny pomocí os Z a pomocné roviny Y-Z. Na obrázku vpravo je promítnutý půdorys se základním zobrazení roviny os X a Y. Vyskytuje se zde ale Bod 'E', který je zdánlivý (pro účely promítnutí jednotlivých trojúhelníků). Reálný Bod E by byl jinak téměř v zákrytu z pohledu půdorysu – jak je naznačeno značkou na pravém obrázku. Zdánlivý Bod 'E' je pouze posunut vůči Bodu E v ose Y-Z. Zdánlivý Bod 'E' tedy nahrazuje Bod E a jsou k němu vztaženy kóty v obrázku vpravo.



Obrázek 120 definice pro výpočet



Obrázek 121 definice 2 pro výpočet

Důležité, jsou rozměry **N = 42 mm; M = 75,8 mm; L = 45 mm**. Dále je třeba si uvědomit následující souvislost ve značení: **M' ≡ M'Y** (je zde pro lepší znázornění M'Y, které se překrývá s NY).

Stanovení posunutí v ose Z vychází z Obrázku 120. Konkrétně jsou to vzdálenosti MZ a LZ. Lze je stanovit pomocí úhlu Beta X a jeho doplňkového úhlu Beta'X do pravoúhlého trojúhelníka.

Některé rozměry, se musí naklopit dvakrát, abychom dostali jejich skutečný rozměr v základním souřadnicovém systému.

**Výpočet je tedy následující:**

$$MZ + LZ = \Delta Z \quad (1)$$

$$M * \sin(50^\circ) + L * \cos(50^\circ) = \Delta Z \quad (2)$$

$$75,8 * \sin(50^\circ) + 45 * \cos(50^\circ) = 87 \text{ mm} \quad (3)$$

Posunutí v ose Z bude tedy 87 mm. Tento případ byl nejjednodušší, protože naklopení se týkalo jen jedné osy. Obdobně tak stanovím rozměr K.

$$MYZ - LYZ = K \quad (4)$$

$$M * \cos(50^\circ) - L * \sin(50^\circ) = K \quad (5)$$

$$75,8 * \cos(50^\circ) - 45 * \sin(50^\circ) = 14,25 \text{ mm} \quad (6)$$

Vzdálenost K je totožná se vzdáleností M' a tudíž také s M'Y. Je třeba naklopit M' o Alfa Z (30°), abychom dostali hodnotu M'', která je potřebná k dalším výpočtům.

$$M'' = \frac{M'}{\cos(30^\circ)} = 16,25 \text{ mm} \quad (7)$$

Dále lze stanovit  $\Delta X$ .

$$M'X = M'' * \sin(30^\circ) = 16,25 * \sin(30^\circ) = 8,22 \text{ mm} \quad (8)$$

$$NX = N * \cos(30^\circ) = 42 * \cos(30^\circ) = 36,37 \text{ mm} \quad (9)$$

$$NX + M'X = \Delta X \quad (10)$$

$$36,37 + 8,25 = 44,6 \text{ mm} \quad (11)$$

Obdobně lze stanovit  $\Delta Y$ .

$$NY = N * \sin(30^\circ) = 42 * \sin(30^\circ) = 21 \quad (12)$$

$$M'Y - NY = \Delta Y \quad (13)$$

$$14,25 - 21 = -6,75 \quad (14)$$

Tyto hodnoty už jen přičtu k jednotlivým složkám koutového odražeče: **KO1x=-6,77 mm;** **KO1y=95,72 mm;** **KO1z=229,06 mm** a dostanu tak souřadnice bodu E žádané: **Ex=51,37mm;** **Ey=88,97 mm;** **Ez=316,05 mm.**

## 5.5. Pádové zkoušky

Do experimentálního testování patří i ověření funkčnosti v poruchových stavech. K tomuto účelu jsem vybral metodu pádových zkoušek. Výchozí výšku pro pádové zkoušky jsem stanovil na jeden metr. Většina předpokládaných využitých senzorů se nejčastěji nachází ve výšce do 1 metru.

Testování jsem začal s Prototypem 2. Prototyp 1 jsem záměrně vynechal. Činil jsem tak kvůli faktu, že konstrukce Prototypu 1 měla informativní charakter o vhodnosti konstrukce a prověření možné realizace. Po splnění svého účelu (vhodné teze k rozvoji) byla tato konstrukce vyřazena. Nebylo tedy třeba provádět jakékoli další zkoušky.

### 5.5.1. Pádové zkoušky Prototypu 2

U Prototypu 2 byly jednotlivé díly slepeny tavnou pistolí. Je to jedna z vyhovujících metod lepení podobných modelů. Bylo to z důvodu modularity a vyzkoušení eventuálních kombinací. Spoje se dají rozebrat bez větší hrozby poškození tištěných dílů. Hodí se také například kvůli nerovnosti povrchů vzniklých od filamentových vrstev.

Pro testování jsem vybral následující díly (kapitola 4.3. Návrh Prototypu 2): Základna + odrazka 1, L-profil 2 + odrazka 2, Zakončení.



Obrázek 122 Základna-P2+držák odrazky 1, L-Profil-2+držák odrazky 2, Zakončení

Výchozí podmínky testu jsem stanovil takto:

Každý z dílů bude upuštěn volným pádem z výšky jednoho metru v náhodných výchozích polohách. Test se pro jednotlivé objekty bude opakovat třikrát.

### 5.5.2. Výsledky testu pádových zkoušek Prototypu 2

Při posledním pádu objektu L-profil-2 + odrazka 2 se podařilo zneutralizovat lepený spoj mezi jednotlivými díly. Jeho oprava spočívala v odstranění původní vrstvy lepidla a opětovném

slepení, tentokrát však rychleschnoucím lepidlem. Veškeré díly vydržely pád bez zřetelné újmy. Síly při pádu patrně nebyly tak velké díky nízké hmotnosti jednotlivých výtisků.

## 5.6. Pádové zkoušky Prototypu 3

V tomto případě jsem testoval díly bez jednotlivých dílčích komponent (zejména krytky senzorů). Testoval jsem následující: Základna-P3, L-profil-A-P3, L-profil-B-P3, Zakončení-P3.

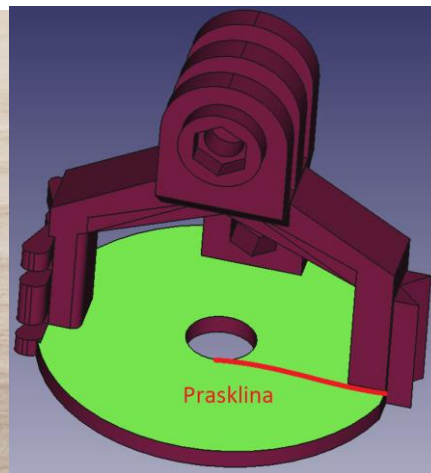
Podmínky testu jsem stanovil obdobně jako u Prototypu 2. Volný pád z výšky jednoho metru, s rozdílnými počátečními polohami.

### 5.6.1. Výsledky testu pádových zkoušek Prototypu 2

Při testování dílu nesoucího označení Základna-P3 se podařilo vytvořit prasklinu v místě dotyku dílu s Nosičem. Prasklina vedla od otvoru ke kraji konstrukce, pro lepší znázornění ukázka na modelu – Obrázek 123. Prasklina byla špatně opticky pozorována. Jedna ze stran byla v místě dotyku s tiskovou podložkou, takže prasklina splývá s okolními obtisknutými vrypy od podložky. Následně pak uvádím Obrázek 124 (díl je situován obráceně tzn. pohled zespodu, která byla učiněna až po zkouškách vibrací, aby prasklina byla co nejvíce zřetelná).



Obrázek 123 prasklina Základny P3



Obrázek 124 prasklina na modelu Základny

Tato deformace vede k možné úpravě dílu. Vhodné by bylo zvýšit tloušťku v místech šroubového spoje s Nosičem. V tomto směru jsem limitován šroubem s trojitým závitem. Tento šroub spojuje Nosič a Prototyp. Po bližším prozkoumání jsem se rozhodl ponechat stávající díl i do vibračních testů. Rozhodl jsem se tak na základě několika faktorů. Tato deformace nebrání funkčnosti. Je na opačné straně, než jsou tři stěžejní podpěry dílu Základna-P3. Tento díl se připevňuje k Nosiči pomocí šroubu, podložky a matice. Podložka rozkládá tlak od matice na celou

plochu dotyku s dílem. Tím pádem jsem schopen zajistit, po aplikaci šroubového spoje, vhodnou podporu pro celý díl.

### 5.6.2. Dodatečné testování Základna-P3-V2

Testování jsem podrobil i opravený díl. Tato oprava se jevila jako nutná po vibračních testech (kapitola 5.8. Vibrační testy). Testování dílu proběhlo z jednoho metru volným pádem při různých počátečních polohách. V tomto případě se projevilo zdeformování jednoho z výstupků lůžka. Na funkčnost tato deformace nemá vliv. K úpravám konstrukce jsem se v tomto případě neuchýlil. Došel jsem k tomu na základě několika faktorů a diskuzí. Dostačující zrobustnění lůžka, které by odolalo náporu, by znamenalo výrazný nárůst hmoty. Lůžko slouží k upnutí kabeláže, tato funkce zůstává i při této deformaci neporušena. Je pravděpodobné, že svazek kabelů by část síly dopadu pohltil. Další upnutí kabeláže je předpokládáno na straně ramena v blízké vzdálenosti k tomuto lůžku. Tudíž i při celkovém selhání lůžka na tomto dílu bude kabeláž pojištěna na svém správném místě.



Obrázek 125 deformace po pádové zkoušce dílu Základna-P3-V2

### 5.7. Uživatelské testování Prototypů

Tyto kapitoly budu hodnotit z pohledu koncového uživatele, který se přímo zaměřoval na tento Prototyp a pracoval s ním. Zaměřím se na dojmy, což je jeden z aspektů zadání (například intuitivní ovládání). Nejdůležitější konstrukční poznatky jsou již sepsány v závěrech při návrhách Prototypů (kapitola 4.2. Návrh Prototypu 2 a 4.3. Návrh prototypu 3).



### 5.7.1. Dojmy uživatele z Prototypu 2

Při ověření funkčnosti, tedy zaměřování a napolohování jednotlivých částí, mě jako první zaujaly malé rozměry konstrukce. Působila dojemem nízké hmotnosti. Bohužel po aplikaci tahu nebo tlaku měla konstrukce tendenci pružit a podvolovat se. Naštěstí se vždy vrátila do původní polohy. Pružil tedy samotný materiál. Téměř všechny součásti měly černou lesklou barvu. V celkovém konceptu bylo částečně obtížně hned na první pohled rozlišit jednotlivé součásti. Bylo to způsobeno jak monotónním vzezřením celku, ale i tenkou konstrukcí, tudíž části měly tendenci splývat. Některé lepené spoje (například pojištění matice proti prokluzu) působily nedůvěryhodně.

Okamžitě se při polohování projeví nedostatky plynoucí z tisku filamentovými vrstvami. Jasně se prokázal nešvar popsáný v kapitole 4.3.3 Poznanky po implementaci systému. Několikrát nastal problém při zakrytí (například rukou) zaměřovaného koutového odražeče – laserový přístroj si po malé chvilce našel jiný koutový odražeč a polohování muselo být opakováno.

Dosažená přesnost zaměřování a polohování téměř pouze závisí na šikovnosti operátora. Proti snaze o co nejpresnější napolohování, působí nejvíce citelně problémy spojené s filamentovými vrstvami. Nastavování může zabírat delší časový úsek (několik minut na jeden stupeň), což není aspekt, který bych hodnotil kladně. Při utahování šroubových spojů se konstrukce mírně vychyluje a pruží. Vždy se ale vrátí do původní polohy. Tento fakt musí operátor mít na paměti. Jakmile operátor přestane vyvíjet sílu při utahování šroubového spoje, poloha se mírně posune do původní polohy. Při polohování se mi osvědčilo využívat jednotlivých madel, pomocí kterých jsem přesunul působení momentu do větší vzdálenosti od osy rotace. Tudíž jsem byl schopen mít větší cit.

Stanovení přesnosti bych ohodnotil pouze známkou. Je to subjektivní hodnocení. Hodnocení jsem stanovil na základě rozmezí a dosažitelnosti přesnosti.

Rozmezí	Dosažitelnost přesnosti
0-0,15 mm	velmi obtížné
0,15-0,25 mm	spíše obtížné
0,25-0,4 mm	snadné
0,4 mm a více	velmi snadné

Tabulka 3 známkování dosažitelnosti přesnosti Prototypu 2

## 5.7.2. Dojmy uživatele z Prototypu 3

V této kapitole budu porovnávat hlavně s Prototypem 2, učiním tak opět na základě svých subjektivních dojmů. Celkový rozdíl dojmů z Prototypu 2 a Prototypu 3 je markantní.

Konstrukce působí spolehlivě, zejména pak spojení žeber sousedních dílů. Modrá barva výtisků je v kontrastu spolu s černými madly ovládající šroubové spojení. Tím pádem je ovládání velmi snadné a intuitivní. Co madlo, to jedna rotace. Dále zaujme pojištění matic, které je napevno s jednotlivými částmi a plní dobře svou funkci. Lůžka pro uchycení kabeláže vzbuzují dojem ladnosti a jednoduchosti použití. Největší pozornost ale přitáhnou držáky odrazek a krytky. Během několika vteřin lze snadno zjistit funkci. Je zapotřebí malé síly k obsluze krytek, ty vždy zapadnou lehce na své místo. Operátor tedy nemusí věnovat větší pozornost při otvírání a zavírání krytek. Krytky jsou polohovatelné za využití síly směrem vzhůru. Polohování krytky vyvolává tedy tendenci si zbytek konstrukce chytit. Což zamezuje nechtěnému rozladění instalace. Žebrové spoje se vůči sobě vzájemně plynule pohybují. Nejsou zde patrné žádné parazitní vlivy při pohybu. Velmi snadno lze pozorovat korelaci mezi pohybem a utáhnutím šroubového spoje, při postupném utahování je pohyb více a více omezován, přesto stále plynulý.

Nepřítomnost filamentových vrstev, hladkost povrchu a celkové zvýšení robustnosti se nejvíce projevily na hladkosti pohybů. Opět uvedu dosažitelné rozsahy a jejich subjektivní ohodnocení známkou.

Rozmezí	Dosažitelnost přesnosti
0-0,15 mm	spíše obtížné
0,15-0,25 mm	snadné
0,25 mm a více	velmi snadné

Tabulka 4 známkování dosažitelnosti přesnosti Prototypu 3

V rámci tohoto uživatelského testování jsem použil na jeden ze šroubových spojů samojistnou matici. Použití se mi jevilo jako nevhodné. Síla k utahování je příliš velká a nelze přesně polohovat.

## 5.8. Vibrační testy

Vibrační testy jsou velmi komplexní. Podléhají normám, čerpal jsem konkrétně ze svazku norem nesoucí označení ČSN EN 60068-2.

Stanovení konkrétních podmínek nebylo jednoduché a předcházelo jej mnoho úvah. Napíšu zde nejdůležitější. Aktuálně je v plánu vývoj pouze elektromobilů. Není tedy třeba zkoušet vibrace od spuštěného spalovacího motoru a podobných vnitřních komponent. Budu tedy uvažovat vlivy pouze od vozovky.

Normované vibrační testy jsou navrženy pro všeobecně komplexní podmínky, do kterých se vozidlo dostane. Prověřují celkovou odolnost s cílem garantovat použitelnost celku například i po stotisíci ujetých kilometrech. U simulovaných ujetých kilometrů je snaha o zachycení veškerých provozních rychlostí. Stejně tak se aplikují i vlivy od vozovky – různé rychlosti a různé třídy silnic. Normy také prověřují funkčnost při klasických provozních teplotách. Předpokládané užití senzorů je na karoserii, tedy mimo působení případných tepelných účinků elektromotoru.

Očekávaná aplikace držáku senzorů je při parkování. Toto vymezení vstupních podmínek neobsahuje žádné normy vztahující se k vibracím. Mohl bych testy vypracovat na základě rázů, ale ani případná srážka při parkování nevytvoří podmínky pro testování. Parkuje se při nízkých rychlostech a řada dílů karoserie je vytvořena z plastu, který dobře pohltí případné síly a zároveň je možné jeho promáčknutí o několik centimetrů, aniž by to celek vozidla zaregistroval.

Lze říci, že parkování v porovnání s jízdou na dálnici je zanedbatelné z hlediska působení okolních vlivů. Přesto bylo vhodné prověřit, jestli mnou navržený držák bude schopen vydržet případnou jízdu.

### 5.8.1. Podmínky testu

Vycházel jsem z normy „ČSN EN 60068-2-64 ed. 2, Zkoušení vlivů prostředí - Část 2-64: Zkoušky - Zkouška Fh: Širokopásmové náhodné vibrace a návod“. Vibrační test by měl prověřit působení vlivů od vozovky při veškerých rychlostech. K tomu využiji celek vibračního systému. Je to samotné vibrační zařízení, zvané *shaker*, nese název AIR COOLER VIBRATOR, konkrétní model V830-355 TRUNNION. Rozřadník signálu Brüel & Kjær type 2694. Program SignalCalc®350 umožňující nastavování hodnot. Piezoelektrický akcelerometr Brüel & Kjær 4508 001 detekující změnu polohy. Zesilovač LDS SPAK Series Amplifier SPA24K/16K, poskytuje potřebnou energetickou podporu a chlazení shakeru. [91]

Shaker je elektrické zařízení generující vibrace, má tvar soudku, ve kterém jsou umístěny cívky, které se snaží vychýlit středový díl za pomoci elektromagnetických sil. Střed je spojen s vrchní částí shakeru – plošinou na kterou přenáší vibrační pohyb. Soudkový obal se tedy nehýbe, pouze vrchní plošina.



Obrázek 126 shaker V830-355 [88]

Testování bude zjišťovat, zda-li se uvolní pozice vzájemných elementů pojištěných šroubovým spojením. Je nutné zdůraznit, že jestli má povolít, je vysoce pravděpodobné, že povolít úplně. Dalším aspektem bude odolnost celku, zda je vybraná konstrukce vhodná a vydrží vibrace.

Program pro testování pracuje s několika stěžejními parametry. Souhrnně jdou tyto parametry vyjádřit jako – spektrální výkonová hustota, reprezentující působení sil, průběh frekvence a efektivní zrychlení. Konečná hodnota amplitudy se nevyskytuje, její výskyt podléhá Gaussovo křivce. Frekvence se budou testovat v rozmezí 10-100 Hz. Základní průběh vibrací lze popsat jako sinusový signál s různými šumy. Dá se tedy říct, že program komplexně prověří držák a simuluje reálné vlivy vozovky.

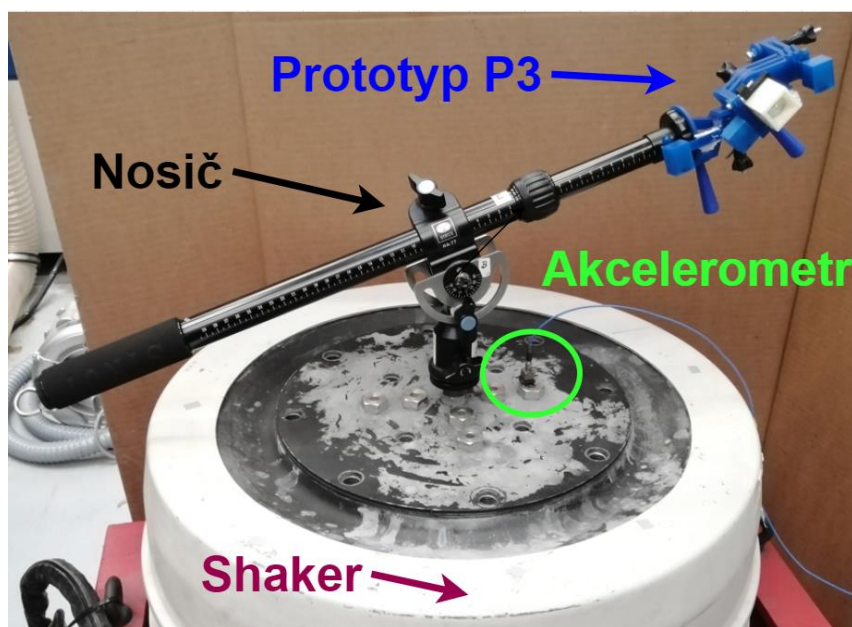
### 5.8.2. První test

Jak jsem již zmínil, cílem je otestovat případné selhání konstrukce. Hlavním výstupem bude ověření funkčnosti, toto hodnocení dostane na základě nepřítomnosti deformace (selhání celku) a povolení spojů.

První test je koncipován na odstupňování zátěže, s každým dalším stupněm se budou účinky (spektrální výkonová hustota) vibrací zvyšovat. Každý ze stupňů bude testován alespoň pět minut. Zátěž je reprezentována pomocí skutečného zrychlení, tento parametr lze nastavovat. Proběhnou dva hlavní testy, jejichž největší rozdíl je v hodnotách skutečného zrychlení. Část A ze sady testování operuje s menšími hodnotami skutečného zrychlení. Část B potom s většími. Toto rozdělení umožňuje přesnější stanovení případného selhání. Průběh testu interpretuji tabulkou. Zbylé testy se nacházejí v elektronické příloze. Stejně jako výchozí polohy Nosiče. Výchozí poloha žebrových spojů a případná změna vzájemné polohy bude

demonstrována pomocí značky. Fotodokumentace stavů před testováním a po něm jsou uvedeny spolu níže.

Na obrázku níže lze vidět Nosič, Držák – Prototyp 3, Shaker a Akcelerometr. Nosič a držák jsou umístěny na vibrační plošině. Stejně tak akcelerometr, který sleduje změny vibrací. Je nutné zopakovat, že díl Základna-P3 obsahoval deformaci z pádových zkoušek. Samotný Prototyp P3 má kvůli dlouhodobé nedostupnosti potřebných šroubů šrouby jiné. Tento aspekt jsem kompenzoval připojením matice po hlavičku šroubu – k prokluzu tedy nedochází. Díl U-Profil-P3 při montáži praskl. Nahradil jsem ho tedy dílem z Prototypu 2 - Ráhnem. Prototyp obsahuje i dutou světlou krychli s maticí uvnitř, to je maketa senzoru. Matice je uvnitř proto, aby bylo dosaženo potřebné hmotnosti. Místo koutových odražečů jsem použil šrouby obdobné hmotnosti.



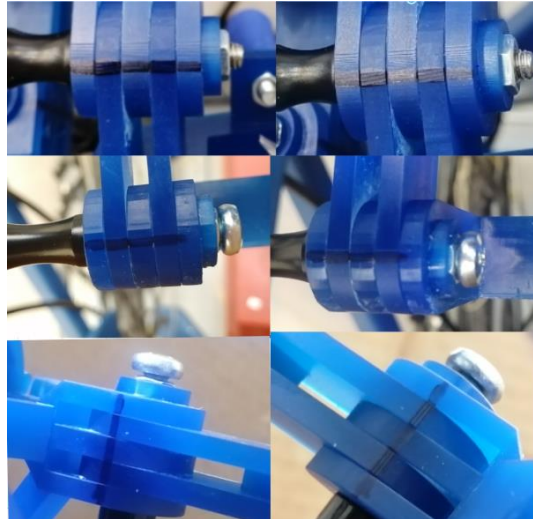
Obrázek 127 instalace celku na shakeru

Skutečné zrychlení mírně kolísalo během testování, toto kolísání nepřesáhlo jednotky. V tabulce bude zaznamenána aktuální hodnota z fotek v elektronické příloze. Při 3. stupni testu Části B se objevila deformace.

Test 1		Část B	
Část A	Skutečné zrychlení [m/s <sup>2</sup> ]	Skutečné zrychlení [m/s <sup>2</sup> ]	
1. stupeň	2,86	1. stupeň	8,67
2. stupeň	5,75	2. stupeň	17,06
3. stupeň	7,9	3. stupeň	23,8
4. stupeň	11,14		

Tabulka 5 přehled průběhu vibračního Testu 1

Část A proběhla bez větších obtíží. Žádná změna vzájemných poloh žebrových spojení se neobjevila. Tento fakt lze vidět na společném obrázku. Jsou na něm polohy před testováním Části A a po testování. Tedy před testem B. V plné obrazové kvalitě jsou v elektronické příloze. Na obrázku vlevo jsou výchozí stavy před testováním, vpravo pak po testování Části A, zároveň před testováním Části B.



Obrázek 128 polohy před testováním a po testování Části A

Při Části B se skutečným zrychlením  $23,8 \text{ m/s}^2$  došlo k deformaci dílu Základna-P3. Následně pak Prototyp P3 spadl a došlo k deformaci dalších dílů, například krytek. Vzhledem k pádu nelze přesně stanovit vzájemné polohy žebrových spojů. Deformace základny je na obrázku níže. Nová deformace patrně postupovala od deformace po pádové zkoušce a dále pokračovala na vnitřní straně tří nosných ramen, která nesla plnou váhu celku.



Obrázek 129 deformace při vibracích

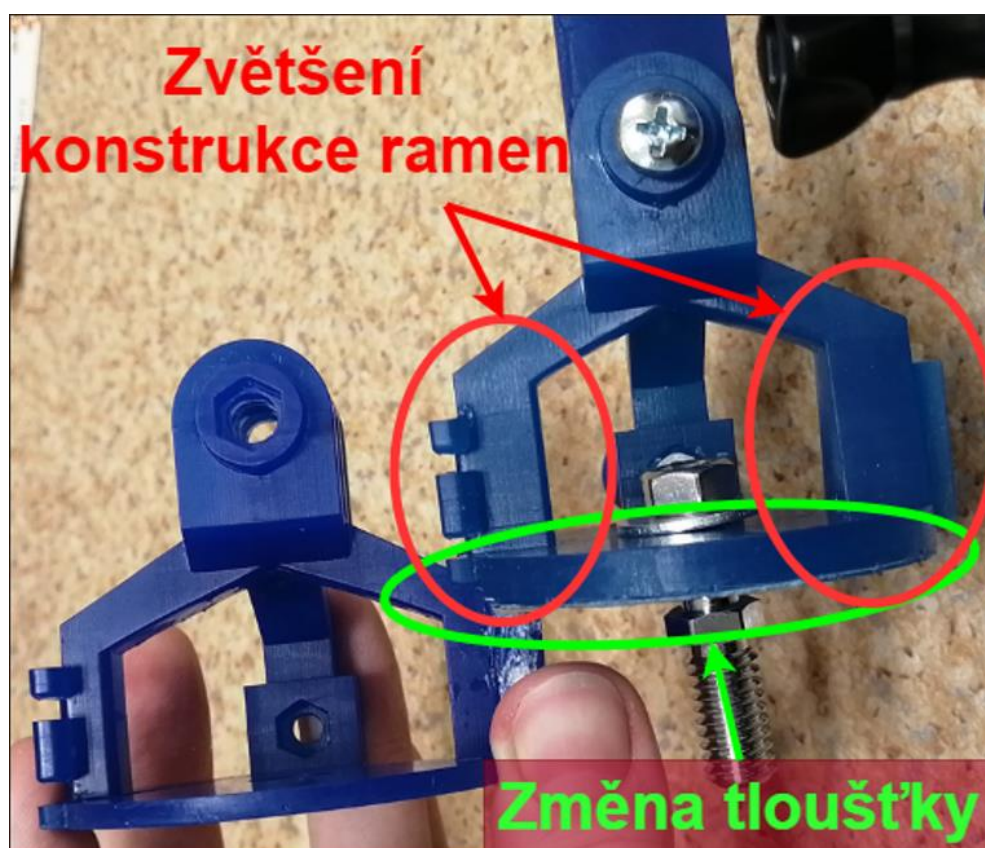


### 5.8.3. Závěr prvního vibračního testu

Potvrdila se jedna z premis ohledně úpravy dílů Základna-P3. Ohledně Části A lze říci, že žebrová spojení vůči sobě neměnila svou polohu. V Části B je tento fakt neprůkazný vzhledem k deformaci a následnému pádu. Konstrukce vydržela 2/3 plné síly vibrací z maximální hodnoty udané v normě, která simuluje vibrace vlivem vozovky i z jízdy v plné rychlosti na dálnici. Samozřejmě při mnohonásobně kratším časovém úseku (pět minut).

### 5.8.4. Druhý test

Toto testování má stejné vstupní parametry jako předchozí test. Rozdíly jsou následující. Prototyp 3 obsahuje nový díl Základna-P3V2, který se liší od původního větší tloušťkou v místě deformace a zvětšenými rameny. Pro srovnání uvádím Obrázek 130, na které jsou reálné výtisky.



Obrázek 130 srovnání Základny-P3 a Základny-P3V2

Další ze změn vůči původnímu testu je vynechání systému krytek na dílu Základna-P3V2 a L-Profil-B-P3. Hmotnost této sestavy Prototypu 3 je 248 g. Hmotnost například celku krytky L-Profilu-B-P3 jsou 4 gramy. Tyto prvky se dají považovat za nosníky bez zatížení. Nenesou tedy žádnou hlavní váhu konstrukce. Rozhodl jsem se je tedy na sestavu pro toto testování neumístit. Následující fotka ukazuje celkovou instalaci.



Obrázek 131 instalace celku na shakeru – Test 2

Z prvních vibračních testů je zřejmé, že nízkým hodnotám skutečného zrychlení konstrukce odolá. Přistoupil jsem tedy rovnou k testování vyšších hodnot zrychlení. Následující tabulka obsahuje záznam o testování jednotlivých stupňů a skutečného zrychlení. Setrvání na jednotlivých stupních bylo alespoň pět minut. V elektronické příloze se také nachází video z testování 4. stupně. Nebyly patrné ani změny poloh žebrového spojení – k nahlédnutí uvedu již jen v elektronické příloze.

Test 2	Skutečné zrychlení [m/s <sup>2</sup> ]
1. stupeň	7,57
2. stupeň	15,08
3. stupeň	21,8
4. stupeň	30,82

Tabulka 6 přehled průběhů vibračního Testu 2

### 5.8.5. Závěr druhého vibračního testu

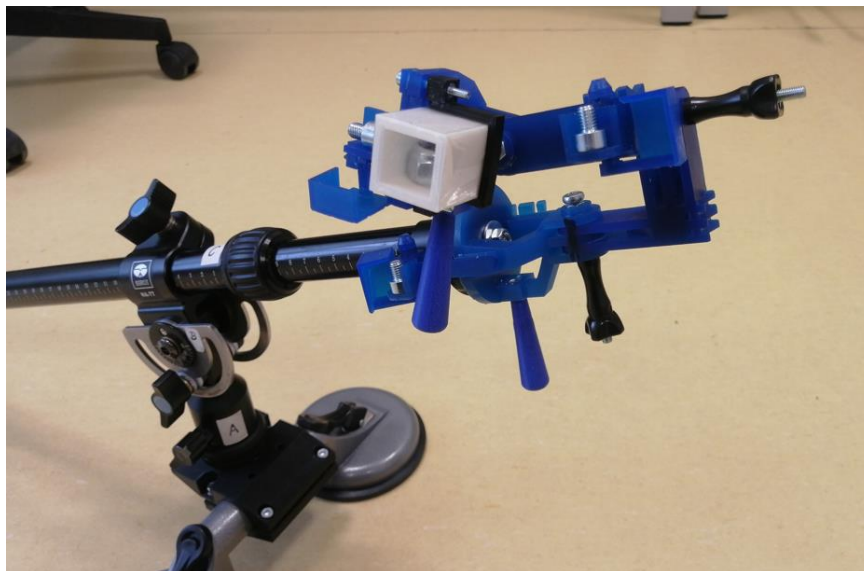
Druhé vibrační testování neodhalilo žádné nedostatky. Nebyly patrné žádné změny poloh žebrových spojení. Nevznikly ani žádné deformace. Konstrukce vydržela skutečné zrychlení 30,82 m/s<sup>2</sup> ve frekvencích 10-100 Hz. Tyto vibrace by se daly přirovnat špatnému technickému stavu silnice při jízdě v plné rychlosti na dálnici. Tudiž pro použití při parkování je konstrukce vyhovující.

## 5.9. Skutečná podoba spojení Nosiče a Prototypu 3

Podoba se ustálila po druhém testování vibrací. Na Prototypu 3 jsem použil díl Rážno z Prototypu 2 místo původního dílu U-Profil-P3, který praskl při dotahování makety senzoru. Díl Rážno vydržel utahování, vibrační testy a úspěšně dokázal udržet maketu při vibracích. Neshledal jsem tedy důvod tento díl nahrazovat výtiskem z resinu. Celek na fotkách je připojen



k mechanickým přísavkám. Tyto přísavky, ani jejich propojení, nejsou dílem mé práce. Byly pouze využity při prezentaci zadavateli jako důkaz univerzállosti aplikování. Následně pak na konstrukci zůstaly pro lepší ukázky. Koutové odražeče jsou nahrazeny šrouby o stejné hmotnosti. Stejně tak je učiněno s maketou senzoru. Pracovní prostor tvoří polokoule o průměru 125 cm, pokud neuvažují natočení pod osy počátku a samotný střed Prototypu 3.



*Obrázek 132 sestavení celku – Nosič a Prototyp 3*



*Obrázek 133 detail sestavení celku – Nosič a Prototyp 3*

## 6. Závěr

Ve své práci jsem uvedl požadavky zadavatele, které jsem následně rozvedl pro hlubší pochopení dané problematiky. Rozbor se týkal konkrétně předpokládaného využití senzorů, plánované aplikace držáku a důležitosti přesného polohování. Pro účely zaměření v prostoru jsem pojednal o souřadnicových měřicích přístrojích a koutových odražečích. Pro vhodný návrh svých modelů jsem provedl rešerši různých existujících realizací držáků, byla to laboratorní technika, profilové konstrukce, filmová aparatura a ostatní jako například vojenská zaměřovací technika. U jednotlivých skupin jsem provedl zhodnocení kladů a záporů a další možné využití, u nejdůležitějších zástupců jsem provedl kinematický rozbor. Pro účely realizace svého návrhu jsem provedl rozbor aktuálních 3D tiskáren. Popsal jsem typy tiskáren – dnes již hojně rozšířený typ FFF, resinovou tiskárnu SLA a práškovou tiskárnu pro plasty a kovy SLS. U těchto tiskáren jsem rozebral možnosti realizace tisku, které jsem následně vyzkoušel v praxi na skutečných výtiscích modelů prototypů.

Pro dosažení co nejlepší přesnosti jsem koncept rozdělil na dvě části – na nosič, kterým se stalo rameno Sirui HA-77 umožňující velké pohyby v prostoru a prototypy, které umožní jemné polohování senzoru v rámci tří rotačních os. Základem prototypů se stala modifikace teze držáků GoPro. Prototyp 1 jsem tiskl na práškové tiskárně SLS s cílem ověřit skutečné možnosti, univerzálnost a modifikace této teze. Po zhodnocení přínosů a nedostatků jsem navrhl Prototyp 2, který byl vytištěn na klasické filamentové tiskárně (FFF metoda). U tohoto prototypu se vyskytly nové podněty pro zlepšení a zároveň se ověřila správnost konstrukce. Nejdůležitějšími poznatky jsou nevhodnost filamentového tisku a potřeba zrobustnění konstrukce. I přes nedokonalosti byl Prototyp 2 úspěšně odprezentován zadavateli v kombinaci s laserovým zaměřovacím přístrojem a koutovými odražeči. Na základě zkušeností, poznatků a testů jsem navrhl Prototyp 3. Prototyp 3 byl tisknut na resinové tiskárně typu SLA, tento prototyp řešil nedostatky Prototypu 2. V rámci testování jsem prověřil čtyři typy lepidel. Pojednal jsem o výběru šířky pro žebrová spojení Prototypu 3. Na modelové situaci jsem znázornil zaměření polohy, na níž jsem demonstroval důležitost protnutí tří rotačních os. Pomocí výpočtů jsem uvedl korekci odražečů, stejný princip slouží k určení polohy senzoru. Provedl jsem pádové zkoušky Prototypu 2 a Prototypu 3, následně i opraveného dílu Prototypu 3. Zhodnotil jsem Prototyp 2 a Prototyp 3 z pohledu koncového operátora. Podrobil jsem Prototyp 3 vibračním testům na základě normy vibračních vlivů od vozovky. Test 1 přinesl deformaci a ukázal nutnost změny konstrukce jednoho dílu do finální podoby Základny-P3-V2. V Testu 2 již celek odolal vibracím z normy po dobu 5 minut. Můj Prototyp 3 umožňuje velmi přesnou koncovou instalaci

v prostoru při zachování nízké hmotnosti, je to díky oddělitelnosti jednotlivých pohybů. Senzor na konci Prototypu 3 lze polohovat ve třech rotačních osách. . Podařilo se mi tak sestrojít funkční stavitelný senzorový držák podle požadavků zadavatele.

## Zdroje

- [1] Auto, A. (n.d.). *Couvací Kamera*. Couvací kamera | AAA AUTO auto bazar. Retrieved January 22, 2023, from <https://www.aaaauto.cz/slovník/39506/couvaci-kamera.html>
- [2] *Škoda Octavia - Snadné parkování: škoda auto A.S.* ŠKODA AUTO Česká republika. (n.d.). Retrieved January 22, 2023, from <https://www.skoda-auto.cz/modely/octavia/octavia/octavia-snadne-parkovani>
- [3] *Radar sensors*. Banner Engineering. (n.d.). Retrieved January 22, 2023, from <https://www.bannerengineering.com/us/en/products/sensors/radar-sensors.html?pageNum=1&#all>
- [4] *Banner Engineering*. (n.d.). Retrieved January 22, 2023, from <https://info.bannerengineering.com/cs/groups/public/documents/literature/214094.pdf>
- [5] *O VLNĚNÍ A RADARECH*. Vyuka.hradebni.cz. (n.d.). Retrieved January 22, 2023, from [https://vyuka.hradebni.cz/file.php/47/O\\_VLNEN\\_A\\_RADARECH.pdf](https://vyuka.hradebni.cz/file.php/47/O_VLNEN_A_RADARECH.pdf)
- [6] Jost, D. (2019, October 7). *What is an ultrasonic sensor?* Fierce Electronics. Retrieved January 22, 2023, from <https://www.fierceelectronics.com/sensors/what-ultrasonic-sensor>
- [7] Burnett, R. (2021, March 4). *Understanding how ultrasonic sensors work*. MaxBotix Inc. Retrieved January 22, 2023, from <https://www.maxbotix.com/articles/how-ultrasonic-sensors-work.htm>
- [8] *Snímače měření vzdálenosti*. SICK. (n.d.). Retrieved January 22, 2023, from [https://www.sick.com/cz/cs/snimace-mereni-vzdalenosti/c/g132151?q=%3ADef\\_Type%3AProduct](https://www.sick.com/cz/cs/snimace-mereni-vzdalenosti/c/g132151?q=%3ADef_Type%3AProduct)
- [9] Valášek, D. (2017, June 7). *Jak fungují Parkovací Senzory? A co všechno Umí Parkovací asistent?* Deník.cz. Retrieved January 22, 2023, from <https://www.denik.cz/zivot-ridice/jak-funguji-parkovaci-senzory-a-co-parkovaci-asistent-20170607.html>
- [10] redakce, O. (2023, January 4). *Parkovací Senzory + jak vybrat?* Recenzer.cz. Retrieved January 22, 2023, from <https://www.recenzer.cz/parkovaci-senzory/>
- [11] *Understanding laser trackers*. FARO.com. (n.d.). Retrieved January 22, 2023, from <https://www.faro.com/en/Resource-Library/Article/understanding-laser-trackers>
- [12] *How laser trackers work*. schaeffer precision alignment. (2013, September 16). Retrieved January 21, 2023, from <http://www.schaefferprecision.com/blog/how-laser-trackers-work>

- [13] *Laser tracker*. KEYENCE. (n.d.). Retrieved January 22, 2023, from <https://www.keyence.com/ss/products/measure-sys/measurement-selection/type/laser-tracker.jsp>
- [14] Manufacturing intelligence. Hexagon. (n.d.). Retrieved January 21, 2023, from <https://www.hexagonmi.com/cs-cz/products/laser-tracker-systems>
- [15] Topinfo s.r.o. (2019, December 16). Zaj. TZB. Retrieved January 21, 2023, from <https://elektro.tzb-info.cz/merici-a-regulacni-technika/20008-zajimavosti-o-laserovych-mericich-pristrojich-a-ultrazvukovych-dalkomerech>
- [16] Transfer Multisort Elektronik. (2019, September 30). *Laserový dálkoměr – jak funguje a jaký vybrat?* Elektronické díly. Distributor a obchod online - Transfer Multisort Elektronik. Retrieved January 22, 2023, from <https://www.tme.eu/cz/news/library-articles/page/21956/laserovy-dalkomer-jak-funguje-a-jaky-vybrat/>
- [17] CAD CAM services, 3D scanner, 3D scanning, 3D CAD modeling services ... (n.d.). Retrieved January 21, 2023, from <http://www.creativeinfocom.com/pdfs/leica-absolute-tracker-at930-brochure.pdf>
- [18] Leica AT403. nms. (n.d.). Retrieved January 21, 2023, from <http://www.cz.nms-int.com/produkty/leica-at403/>
- [19] Majer, D. (2020, October 5). *Proč mají lasery Zasáhnout rover perseverance?* Kosmonautix.cz. Retrieved January 22, 2023, from <https://kosmonautix.cz/2020/10/proc-maji-lasery-zasahnout-rover-perseverance/>
- [20] *Red Ring Reflector*. Shop.hexagonmi.com. (n.d.). Retrieved January 22, 2023, from <https://shop.hexagonmi.com/emea/cs/EUR/Katalog/Laserov%C3%A9-trackery/Reflektory/Red-Ring-Reflector-0-5%22-%2528RRR%2529-2-Pack/p/576238>
- [21] *Break Resistant Reflector*. Shop.hexagonmi.com. (n.d.). Retrieved January 21, 2023, from <https://shop.hexagonmi.com/emea/cs/EUR/Katalog/Laserov%C3%A9-trackery/Reflektory/Break-Resistant-Reflector-1-5%22-%28BRR%29/p/576244>
- [22] *Stojany a držáky*. P-lab. (n.d.). Retrieved January 22, 2023, from <https://www.p-lab.cz/stojany-a-drzaky>
- [23] Laboratorní Pomůcky Z jiných materiálů. Laboratorní pomůcky z jiných materiálů | Mercishop.cz. (n.d.). Retrieved January 21, 2023, from <https://www.mercishop.cz/category/laboratorni-pomucky-z-jinych-materialu>
- [24] *Fiber coupling and spatial filter systems*. Thorlabs, Inc. - Your Source for Fiber Optics, Laser Diodes, Optical Instrumentation and Polarization Measurement & Control. (n.d.). Retrieved January 21, 2023, from [https://www.thorlabs.com/newgrouppage9.cfm?objectgroup\\_id=997](https://www.thorlabs.com/newgrouppage9.cfm?objectgroup_id=997)

- [25] *Optical Imaging: Laser Optics: Edmund optics*. Edmund Optics Worldwide. (n.d.). Retrieved January 21, 2023, from <https://www.edmundoptics.com/>
- [26] *Translation & Rotation Stages - catalog - opto-mechanical products*. Standa. (n.d.). Retrieved January 21, 2023, from [https://www.standa.lt/products/catalog/translation\\_rotation](https://www.standa.lt/products/catalog/translation_rotation)
- [27] *Optical tables, breadboards, and supports*. Thorlabs. (n.d.). Retrieved January 21, 2023, from [https://www.thorlabs.com/navigation.cfm?guide\\_id=40](https://www.thorlabs.com/navigation.cfm?guide_id=40)
- [28] *Manual translation stages and slides: Edmund Optics*. Edmund Optics Worldwide. (n.d.). Retrieved January 21, 2023, from <https://www.edmundoptics.com/c/manual-translation-stages-and-slides/646/>
- [29] KG, H. K. I. P. P. W. (n.d.). *Obrobek Upínací Technika*. KIPP. Retrieved January 22, 2023, from <https://www.kipp.cz/cz/cs/Produkty/Up%C3%ADnac%C3%AD-technika/Obrobek-up%C3%ADnac%C3%AD-technika.html>
- [30] Solidpixels., H. (n.d.). *Hliníkový Konstrukční systém: ALUTEC KK s.r.o.* ALUTEC KK. Retrieved January 21, 2023, from <https://www.aluteckk.cz/hlinikovy-konstrukcni-system>
- [31] *Hliníkové Konstrukční prvky a profily: Mm průmyslové spektrum*. www.mmspektrum.com. (n.d.). Retrieved January 21, 2023, from <https://www.mmspektrum.com/clanek/hlinikove-konstrukcni-prvky-a-profil>
- [32] Alusic-profil.cz. (n.d.). Hliníkové profily a příslušenství: ALUSIC Profily. alusic. Retrieved January 21, 2023, from <https://www.alusic-profil.cz/hlinikove-profil-a-prislusenstvi/>
- [33] s.r.o., H. (n.d.). *Materiál a příslušenství (MB)*. Přejít na úvodní stránku. Retrieved January 21, 2023, from <https://www.haberkorn.cz/material-a-prislusenstvi/>
- [34] Reklamní agentura MARF, www.marf.cz. (n.d.). *Stavební Systém – Hliníkové Konstrukční profily*. MAREK Industrial a.s. Retrieved January 21, 2023, from <https://www.marek.eu/hlinikove-profil/>
- [35] Katalog Alutec K&K. (n.d.). Retrieved January 21, 2023, from <http://katalogaluteckk.aspone.cz/#>
- [36] *Smallrig otočný a Naklonitelný držák monitoru S držákem cold shoe 2905*. SYNTEX.CZ. (n.d.). Retrieved January 21, 2023, from <https://www.syntex.cz/smallrig-swivel-and-tilt-adjustable-monitor-mount-with-cold-shoe-mount-2905>
- [37] *Smallrig swivel and tilt monitor mount with Shoe Adapter Mount*. B&H Photo Video Pro Audio. (n.d.). Retrieved January 21, 2023, from [https://www.bhphotovideo.com/c/product/1582518-REG/smallrig\\_2905\\_swivel\\_and\\_tilt\\_adjustable.html/specs](https://www.bhphotovideo.com/c/product/1582518-REG/smallrig_2905_swivel_and_tilt_adjustable.html/specs)

- [38] Film-Technika. (n.d.). *Video hlavy, Fluidní Hlavy: Film-technika*. film. Retrieved January 21, 2023, from <https://www.film-technika.com/stativy/>
- [39] Fotoobchod, s.r.o. (n.d.). *Manfrotto MH293D3-Q2 3-cestná pan/tilt hlava S Rychloupínací Destičkou 200PL-14 (RC2)*. www.oehling.cz. Retrieved January 21, 2023, from <https://www.oehling.cz/manfrotto-mh293d3-q2#product-tabs=tab-popis>
- [40] Fotoobchod, s.r.o. (n.d.). *Manfrotto 056 hlava 3D junior*. www.oehling.cz. Retrieved January 21, 2023, from <https://www.oehling.cz/manfrotto-056-hlava-3d-junior>
- [41] Film-Technika. (n.d.). *Manfrotto 234RC stativová hlava pro monopody - film-technika*. film. Retrieved January 21, 2023, from <https://www.film-technika.com/manfrotto/manfrotto-234rc-stativova-hlava-pro-monopody/>
- [42] Film-Technika. (n.d.). *Flexibilní Rameno - Husí Krk (1 kg nosnost) - film-technika*. film. Retrieved January 21, 2023, from <https://www.film-technika.com/grip/magic-flex-arm-gooseneck--5kg-nosnost/>
- [43] Fotoobchod, s.r.o. (n.d.). *Syrp Pan tilt konzole*. www.oehling.cz. Retrieved January 21, 2023, from <https://www.oehling.cz/syrp-pan-tilt-bracket>
- [45] Film-Technika. (n.d.). *GoPro šroub, šroub Pro Sportovní Kamery - Film-Technika*. film. Retrieved January 22, 2023, from <https://www.film-technika.com/gopro-prislusenstvi/gopro-sroub--sroub-pro-sportovni-kamery/>
- [45] Film-Technika. (n.d.). *Moza Aircross 2 professional kit - gimbal pro bezzrcadlovky I kamery - film-technika*. film. Retrieved January 21, 2023, from <https://www.film-technika.com/gimbaly/moza-aircross-2-professional-kit/>
- [46] *Rollei panoramic head 200 Mark II - Amazon.com*. (n.d.). Retrieved January 21, 2023, from <https://www.amazon.com/Rollei-Panoramic-Head-200-Mark/dp/B0778TZV26>
- [47] FotoŠkoda, C. (n.d.). *Kiwi Makrosáňky FC-1 II S destičkou*. FotoŠkoda. Retrieved January 21, 2023, from <https://www.fotoskoda.cz/kiwi-makrosanky-fc-1-ii-s-destickou/>
- [48] Film-Technika. (n.d.). *4-směrový Kloub Pro GoPro Hero 10/9/8/7/6/5 a další Sportovní Kamery - film-technika*. film. Retrieved January 21, 2023, from <https://www.film-technika.com/gopro-prislusenstvi/4-smerovy-kloub-pro-gopro-hero-9-8-7-6-5-a-dalsi-sportovni-kamery/>
- [49] Film-Technika. (n.d.). *Gigantická Sada 60V1 příslušenství Pro Sportovní Kamery (GoPro, SJCAM, DJI Osmo Action, Niceboy apod.) GoPro 10/9/8/7/6/5/4/3 - Film-Technika*. film. Retrieved January 21, 2023, from <https://www.film-technika.com/gopro-prislusenstvi/giganticka-sada-prislusenstvi-pro-sportovni-kamery/>

- [50] Film-Technika. (n.d.). *Držák na řídítka pro gopro hero 10/9/8/7/6/5/4/3 a SJCAM - film-technika*. film. Retrieved January 21, 2023, from <https://www.film-technika.com/gopro-prislusenstvi/drzak-na-riditka-pro-gopro-hero-9-8-7-6-5-4-3-a-sjcam-2/>
- [51] a.s., A. (n.d.). *Terronic basic UH - 400 - držák*. Alza. Retrieved January 21, 2023, from <https://www.alza.cz/terrionic-basic-uh-400-d562641.htm?o=1>
- [52] a.s., M. (n.d.). *Sony Rameno VCT-AMK1 Pro Action cam*. Mironet.cz. Retrieved January 21, 2023, from <https://www.mironet.cz/sony-rameno-vctamk1-pro-action-cam-cerna+dp207886/>
- [53] Film-Technika. (n.d.). *PROAIM 14ft Kamerový Jeřáb (rameno + stativ) - film-technika*. film. Retrieved January 21, 2023, from <https://www.film-technika.com/kamerove-jeرابy--jiby/proaim-12ft-kamerovy-jerab-rameno-stativ/>
- [54] Film-Technika. (n.d.). *Sirui ha-77 horizontální boom Rameno - film-technika*. film. Retrieved January 21, 2023, from <https://www.film-technika.com/kamerove-jeرابy--jiby/sirui-ha-77-horizontalni-boom-rameno/>
- [55] *Mum*. OPTICS TRADE, spol. s r. o. (2019, October 17). Retrieved January 21, 2023, from <http://www.opticstrade.cz/zamerovace/mum/>
- [56] *MPM-44*. OPTICS TRADE, spol. s r. o. (2019, October 29). Retrieved January 21, 2023, from <http://www.opticstrade.cz/zamerovace/mpm-44/>
- [57] *Max LCD Držák MTM7609FM | Mall.cz*. (n.d.). Retrieved January 21, 2023, from <https://www.mall.cz/drzaky-stolky-televize/max-lcd-drzak-mtm7609fm>
- [58] *Adjustable tablet mount with clamp for wheelchair, rotating & tilting - black*. Displays2go. (n.d.). Retrieved January 21, 2023, from <https://www.displays2go.com/P-28367/iPad-Wheelchair-Mount-Adjustable-Articulating-Arm>
- [59] *Stolní pracovní Lampa Hobby černá*. Osvětlení DayLight. (n.d.). Retrieved January 21, 2023, from [https://osvetleni-daylight.cz/klipove-stolni-lampy/376-stolni-pracovni-lampa-hobby-cerna-4004353898549.html?search\\_query=Stolni%2Bpracovni%2Blampa%2BHOBBY%2Bcerna&results=687](https://osvetleni-daylight.cz/klipove-stolni-lampy/376-stolni-pracovni-lampa-hobby-cerna-4004353898549.html?search_query=Stolni%2Bpracovni%2Blampa%2BHOBBY%2Bcerna&results=687)
- [60] *STL Soubory*. Part2Print. (2021, August 3). Retrieved January 21, 2023, from <https://part2print.cz/dokumenty/stl-files/>
- [61] a.s., A. (n.d.). *Creality Ender 3 Pro - 3D tiskárna*. Alza. Retrieved January 21, 2023, from <https://www.alza.cz/creality-ender-3-pro-d5522742.htm>
- [62] YouTube. (2021, November 18). *7 tips to improve surface quality of your 3D prints*. YouTube. Retrieved January 21, 2023, from <https://www.youtube.com/watch?v=eHn5IJeLCoQ>



- [63] xboxfitnesstest. (2021, September 10). *How to make any resin 3D print more flexible*. YouTube. Retrieved January 21, 2023, from <https://www.youtube.com/watch?v=fsyn6ODGtVY>
- [64] YouTube. (2021, June 5). *Siraya blu vs tenacious VS 50-50% mix*. YouTube. Retrieved January 21, 2023, from [https://www.youtube.com/watch?v=Gqb\\_IIN\\_AM](https://www.youtube.com/watch?v=Gqb_IIN_AM)
- [65] *Základy 3D tisku S Josefem Průšou: 3D Tiskárny original Prusa Přímo od Josefa průši*. Prusa3D by Josef Prusa. (n.d.). Retrieved January 21, 2023, from [https://www.prusa3d.com/cs/stranka/zaklady-3d-tisku-s-josefem-prusou\\_490/](https://www.prusa3d.com/cs/stranka/zaklady-3d-tisku-s-josefem-prusou_490/)
- [66] *Typy Tiskáren a rozdíly Mezi Nimi*. Prusa Knowledge Base. (n.d.). Retrieved January 21, 2023, from [https://help.prusa3d.com/cs/article/typy-tiskaren-a-rozdily-mezi-nimi\\_112464](https://help.prusa3d.com/cs/article/typy-tiskaren-a-rozdily-mezi-nimi_112464)
- [67] KAMARÁD, Josef, Jan OTÁHAL, Jiří PODZIMEK a Vratislav ŠULC. *Základní kvalifikační učebnice - přesná mechanika a optika*. Praha: Práce, 1974.
- [68] visualio.cz, V. (n.d.). *SLS (Selective Laser Sintering)*. 3D tisk, výroba prototypů a sériová výroba. Retrieved January 21, 2023, from <https://www.cotu.cz/blog/126/sls-selective-laser-sintering>
- [69] (www.nux.cz), N. s.r.o. (n.d.). *3D tisk A jeho možnosti*. 3D tisk a jeho možnosti | ČVUT Fakulta strojí. Retrieved January 21, 2023, from <https://www.fs.cvut.cz/ostatni/sekce-3dtisk/3dtisk/moznosti-3dtisk/>
- [70] Simplify3D Software. (2019, June 21). *Materials guide*. Simplify3D Software. Retrieved January 22, 2023, from <https://www.simplify3d.com/resources/materials-guide/>
- [71] Michálek, T. (n.d.). *Typy 3D TISKÁREN*. MakersLab. Retrieved January 21, 2023, from <https://makerslab.cz/typy-3d-tiskaren/>
- [72] Isaac. (2021, June 3). *Druhy 3D TISKU: Vše, co potřebujete O této technice vědět*. Hardware libre. Retrieved January 21, 2023, from <https://www.hwlibre.com/cs/tipos-impresion-3d/>
- [73] <https://visualio.cz>, V. (n.d.). *SLS (Selective Laser Sintering)*. 3D tisk, výroba prototypů a sériová výroba. Retrieved January 21, 2023, from <https://www.cotu.cz/blog/126/sls-selective-laser-sintering>
- [74] Simplify3D Software. (2022, November 22). *Properties table*. Simplify3D Software. Retrieved January 21, 2023, from <https://www.simplify3d.com/support/materials-guide/properties-table/>
- [75] YouTube. (2021, June 5). *Siraya blu vs tenacious VS 50-50% mix*. YouTube. Retrieved January 21, 2023, from [https://www.youtube.com/watch?v=Gqb\\_IIN\\_AM&t=332s](https://www.youtube.com/watch?v=Gqb_IIN_AM&t=332s)

- [76] (www.nux.cz), N. s.r.o. (n.d.). *SLS. SLS | ČVUT Fakulta strojní*. Retrieved January 21, 2023, from <https://www.fs.cvut.cz/ostatni/sekce-3dtisk/3dtisk/moznosti-3dtisk/rozdeleni-technologie-3dtisk/sls-3dtisk/>
- [77] *SLS 3D printing – the ultimate guide*. All3DP Pro. (2022, November 30). Retrieved January 21, 2023, from <https://all3dp.com/1/sls-3d-printing-the-ultimate-guide/>
- [78] *Selective Laser Sintering (SLS): Vstup do světa AM*. ONE3D. (2022, May 31). Retrieved January 21, 2023, from [https://www.one3d.cz/technologie/detail/selective-laser-sintering-sls/?gclid=CjwKCAjwtp2bBhAGEiwAOZZTuAMK9g24-mM77QF5oPoczACEJpW\\_4JFN-dPGiy4fQ\\_xuybbGX4wv2xoCv5IQAvD\\_BwE](https://www.one3d.cz/technologie/detail/selective-laser-sintering-sls/?gclid=CjwKCAjwtp2bBhAGEiwAOZZTuAMK9g24-mM77QF5oPoczACEJpW_4JFN-dPGiy4fQ_xuybbGX4wv2xoCv5IQAvD_BwE)
- [79] *HP Jet Fusion 5200 series - 3dees*. (n.d.). Retrieved January 22, 2023, from [https://www.3dees.cz/images/printers/hp/jet-fusion-5200-series/HP-Jet-Fusion-5200-Series-3D-Printing-Solutions-Brochure\\_May-2021.pdf](https://www.3dees.cz/images/printers/hp/jet-fusion-5200-series/HP-Jet-Fusion-5200-Series-3D-Printing-Solutions-Brochure_May-2021.pdf)
- [80] *Stahovací Pásek*. Česká republika. (2022, November 23). Retrieved January 22, 2023, from <https://www.kopos.cz/cs/produkt/2987-stahovaci-pasek>
- [81] Shop.hexagonmi.com. (n.d.). Retrieved January 22, 2023, from <https://shop.hexagonmi.com/emea/cs/EUR/Katalog/Laserov%C3%A9-trackery/Reflektory/Reflectors-for-Fixed-Installation-0-5%22-%2528RFI%2529%252C-5-Pack/p/575848>
- [82] a.s., A. (n.d.). *Uhu Super Glue Pipette 3 G - Lepidlo*. Alza. Retrieved January 22, 2023, from <https://www.alza.cz/hobby/uhu-super-glue-pipette-3-g-d6675062.htm?o=1>
- [83] *Pattex 100% Univerzální Lepidlo 50g OD 80 KČ* - heureka.cz. (n.d.). Retrieved January 22, 2023, from <https://tmely-silikony-lepidla.heureka.cz/pattex-100-univerzalni-lepidlo-50g/>
- [84] *Uhu por 50ml/40g kontaktní Lepidlo na pěnový polystyren*. Profimodel.cz. (n.d.). Retrieved January 22, 2023, from <https://profimodel.cz/cs/kontaktni/243791-uhu-por-50ml-40g-na-styropor-4026700413410.html>
- [85] *Lepidlo uhu na všechny druhy plastů*. Knihkupectví Luxor. (n.d.). Retrieved January 22, 2023, from <https://www.luxor.cz/product/lepidlo-uhu-all-plastics-30-g-zbo000314376>
- [87] 2022, D. F. 12. 07. (2022, July 12). *Esun hard tough resin - tvrdý resin pro 3d Tiskárny - Sharplayers*. eshop.sharplayers.cz. Retrieved January 22, 2023, from <https://eshop.sharplayers.cz/p/esun-hard-tough-resin-tvrdy-resin-pro-3d-tiskarny>
- [88] *Product data: LDS V830-335 Imperial Shaker (BN0534)* - Brüel & Kjær. (n.d.). Retrieved January 22, 2023, from <https://www.bksv.com/~media/literature/Product%20Data/bn0534.ashx>

- [89] FotoŠkoda, C. (n.d.). *NOVOFLEX ball 19 - Kulová Hlava*. FotoŠkoda. Retrieved January 22, 2023, from <https://www.fotoskoda.cz/novoflex-ball-19-kulova-hlava-153183/>
- [90] Lenka Tajbrová (text), D. (foto). (2019, October 20). *Jak slepit plasty, Aby Spoj Opravdu Vydržel?* Český Kutil.cz. Retrieved January 22, 2023, from <https://ceskykutil.cz/clanek-125822-lepeni-plastu-podle-druhu>
- [91] eStudio.cz. (n.d.). *ČSN EN 60068-2-64 ed.2 (345791)*. TECHNOR print - Technické normy ČSN. Retrieved January 23, 2023, from <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-60068-2-64-ed-2-345791-183479.html#>

# Seznam příloh

Složka obsahující modely Prototypu 3

Složka obsahující fotky z vibračních testů