



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV MECHANIKY TĚLES, MECHATRONIKY A BIOMECHANIKY

INSTITUTE OF SOLID MECHANICS, MECHATRONICS AND BIOMECHANICS

REALIZACE ZAMĚŘOVACÍHO MECHANISMU DĚTSKÉHO HVĚZDÁŘSKÉHO DALEKOHLEDU

REALIZATION OF THE AIMING MECHANISM OF A CHILDREN'S ASTRONOMICAL TELESCOPE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Michal Hájník

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Tomáš Profant, Ph.D.

BRNO 2025

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky
Student: **Michal Hájník**
Studijní program: Mechatronika
Studijní obor: bez specializace
Vedoucí práce: **doc. Ing. Tomáš Profant, Ph.D.**
Akademický rok: 2024/25

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.1111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Realizace zaměřovacího mechanismu dětského hvězdářského dalekohledu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Běžně cenově dostupné dětské hvězdářské dalekohledy jsou výbornou edukativní hračkou pro zvědavé budoucí absolventy vysokých škol. Avšak zaměření vesmírných objektů není u těchto jednoduchých optických zařízení snadné. Cílem práce je realizace zaměřovacího systému dalekohledu z běžně dostupných univerzálních součástí typu Arduino, Lego mindstorm, Raspberry Pi, Merkur, 3D tisku apod. s možností elektronického ovládání. Součástí práce by mělo být vytvoření elektronických schémat zapojení, využití výpočetních softwarů k pevnostním i jiným výpočtům, a různá konstrukční řešení a cenová bilance.

Cíle bakalářské práce:

1. Vytvoření numerického modelu zaměřovacího mechanismu dalekohledu.
2. Realizace zaměřovacího mechanismu dalekohledu.
3. Pevnostní kontrola vybraných součástí mechanismu zaměřovacího systému.
4. Vytvoření a naprogramování vlastního elektronického ovládání a pohonu zaměřovacího mechanismu dalekohledu.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Janíček P., Ondráček E., Vrbka J., Mechanika těles - Pružnost a pevnost I, 1992.
- [2] Florian, Z., Mechanika těles - Statika
- [3] Příklad, K., Kinematika

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2024/25

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Jindřich Petruška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

Abstrakt

Táto bakalárska práca sa zaoberá návrhom zameriavacieho systému pre detský hviezdarský ďalekohľad.

V teoretickej časti sú popísané rôzne komerčné typy montáží dostupné na trhu. Zároveň sú uvedené používateľské požiadavky, ktoré by mal spĺňať teleskop určený pre deti. Záver tejto časti tvorí prehľad troch vhodných modelov teleskopov pre začínajúcich astronómov.

Praktická časť je venovaná návrhu vlastnej montáže, vrátane mechanického, elektronického a softvérového riešenia. Súčasťou tejto časti je aj simuláciu namáhania najviac kritického komponentu.

V predposlednej kapitole bol prevedený a vyhodnotený terénny test montáže. V závere je zhrnutý celkový prínos práce a zhodnotený, či môže navrhnutá montáž slúžiť ako alternatíva k bežne dostupným komerčným produktom.

Summary

This bachelor's thesis focuses on the design of an aiming mechanism for a children's astronomical telescope.

The theoretical part presents various commercially available types of telescope mounts. It also outlines user requirements that a children's telescope should meet. The chapter concludes with an overview of three suitable telescope models for beginner astronomers.

The practical part is dedicated to the development of a custom mount, which consists of mechanical, electronic, and software sections. This segment also includes a simulation of the mechanical stress on the most critical component.

In the second to last chapter, a field test of the mount is carried out and evaluated. The final chapter summarizes the overall contribution of the thesis and assesses whether the proposed mount can serve as a viable alternative to commonly available commercial products.

Kľúčové slová

krokový motor, montáž teleskopu, detský teleskop, zameriavací mechanizmus, 3D tlač, Arduino, pevnostná analýza, Nemecká ekvatoriálna montáž

Keywords

stepper motor, telescope mount, children's telescope, aiming mechanism, 3D printing, Arduino, stress analysis, German equatorial mount

Bibliografická Citácia

HAJNIK, M. *Realizace zaměřovacího mechanismu dětského hvězdářského dalekohledu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2025. 54 s., Vedúci diplomovej práce: doc. Ing. Tomáš Profant, Ph.D..

Prehlasujem že táto bakalárska práca je mojím vlastným dielom, ktoré som vypracoval pod vedením doc. Ing. Tomáša Profanta, Ph.D. s použitím zdrojov uvedených v zozname.

Michal Hajnik

Brno

.

Rád by som sa chcel poďakovať vedúcemu svojej práce Ing. Tomášovi Profantovi, Ph.D za ochotu a čas ktorý mi venoval, MVDr. Lucíí Hájnikovej za pomoc s grafickou úpravou práce, Štefanovi Staroňovi za poskytnutie prostriekov pre 3D tlač a Martinovi Hájnikovi za cenné rady pri navrhovaní mechanickej a elektronickej časti bakalárskej práce.

Michal Hajnik

Obsah

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Úvod | 8 |
| 2 | Rešerš | 9 |
| 2.1 | Problém s bežnými hobby montážami | 9 |
| 2.2 | Základné typy montáži | 9 |
| 2.3 | Špeciálne typy montáži | 11 |
| 2.4 | Používateľské požiadavky na detský ďalekohľad | 15 |
| 2.5 | Porovnanie výrobkov | 16 |
| 3 | Numerický model | 19 |
| 3.1 | Nemecká ekvatoriálna montáž (GEM) | 19 |
| 3.2 | Iterácie modelu | 21 |
| 3.3 | Finálna verzia | 27 |
| 4 | Realizácia | 29 |
| 4.1 | Mechanická časť | 29 |
| 4.2 | Elektronická časť | 31 |
| 4.3 | Software | 36 |
| 4.4 | Simulácia namáhania komponentov | 38 |
| 5 | Testovanie | 42 |
| 5.1 | Overenie funkčnosti montáže | 42 |
| 5.2 | Testovanie v teréne | 42 |
| 5.3 | Mechanická odolnosť | 42 |
| 5.4 | zhodnotenie celkovej použiteľnosti | 43 |
| 6 | Záver | 44 |
| | Zoznam skratiek | 47 |
| | Zdroje | 48 |

1 Úvod

Hviezdársky teleskop býva častým darčekom, ktorý deti dostanú či už na narodeniny alebo Vianoce. Pozorovanie nočnej oblohy je totiž výborné hobby, ktoré rozvíja trpezlivosť a poznanie. Môže to byť zároveň aj prvý kontakt pre deti s vedou a technikou, ktorý môže prerásť do celoživotnej záľuby.

Cenovo dostupné teleskopy však majú viaceré problémy, ktoré môžu mladého užívateľa frustrovať, ba až odradiť od používania. Najčastejším problémom býva montáž teleskopu. Tie bývajú väčšinou dosť nepraktické. Zamerať hocijaký iný objekt na nočnej oblohe okrem mesiaca potom zaberie veľké úsilie a čas. Deti následne stratia všetku motiváciu a zavesia ďalekohľad na klinec.

V tejto bakalárskej práci sa preto budem zaoberať návrhom vlastnej montáže, ktorú si doma zvládne šikovnejšie dieťa postaviť, ale zároveň bude cenovo dostupnejšia ako komerčné montáže, ktoré sú bežne dostupné. Týmto spôsobom sa pozorovanie oblohy stane nielen viac finančne dostupné, ale aj edukatívne.

V prvej časti práce sa budem zaoberať základnými typmi montáží. Popíšem ich princíp fungovania, výhody a nevýhody a oblasti, kde sa najčastejšie používajú. Ďalej uvediem zopár základných cenovo dostupných teleskopov.

Následne predstavím vlastný numerický model. Popíšem montáž ktorá bola inšpiráciou a všetky iterácie navrhovaného numerického modelu. Pri každej iterácii zhodnotím zlepšenia oproti predchádzajúcej iterácií a diagnostikujem nové nedostatky, ktoré sa objavili. V závere uvediem finálnu verziu, ktorú podrobne popíšem.

V štvrtej kapitole rozdelím montáž na tri časti. Mechanická, elektronická a softvérová. V mechanickej časti sa budem zaoberať 3D tlačou komponentov, výberom súčiastok ako ložiská, šrúby a matky. V elektronickej popíšem schému zapojenia, výber komponentov a napájanie. V softvérovej časti popíšem kód. Na záver tejto kapitoly bude pevnostný výpočet pre najviac namáhané komponenty zostavy.

V kapitole päť overím funkčnosť a praktickosť montáže. Posúdím, či batérie vydržia celú noc. Overím, či je montáž dostatočne odolná, a porovnam presnosť zameriavania v porovnaní s pôvodnou montážou.

2 Rešerš

2.1 Problém s bežnými hobby montážami

V dnešnej dobe nie je problém stať sa hobby astronómom. Na internetových stránkach sa dajú nájsť teleskopy rôznych značiek, typov a cenových kategórií. Veľa začiatočníkov pri výbere svojho prvého teleskopu zohľadňuje predovšetkým optiku. Za 3500,- Kč už možno zakúpiť kvalitnú optiku, ktorá umožňuje pozorovanie Mesiaca, planét, hmloviny v Orióne alebo väčšiny objektov z Messierovho katalógu. Mnoho ľudí však zabúda, že montáž teleskopu je rovnako dôležitá ako jeho optika. Viaceré hobby ďalekohľady majú nestabilné montáže. Pri pozorovaní sa mi často stávalo, že po nastavení zvoleného objektu teleskop skĺzol do inej polohy. Nastavenie konkrétneho objektu taktiež vyžaduje značný čas. Tieto problémy komplikujú nastavenie teleskopu a môžu viesť k frustrácii a odradeniu od tohto koníčka.

Preto je potrebné zoznámiť sa s rôznymi typmi montáží, s ktorými sa začiatočník môže stretnúť pri výbere svojho prvého ďalekohľadu[1].

2.2 Základné typy montáži

Azimutálna montáž (AZ)

Azimutálna montáž, alebo aj Altitude-Azimuth, je jednou z dvoch najviac používaných montáží. Jej pomenovanie vychádza z toho, ako funguje. Altitude znamená, že sa pohybuje vertikálne, a azimuth, že sa pohybuje horizontálne. Hoci do tejto kategórie patrí množstvo pokročilých typov montáží, všeobecne patria k tým najjednoduchším. To platí hlavne pre začiatočnícke teleskopy. Zameranie objektu s touto montážou je veľmi jednoduché. Teleskop nastavíte do požadovanej polohy a jednoducho zaaretujete šrúby.

Azimutálne montáže sú vhodnejšie pre bežné pozorovanie než pre astrografiú. Je to hlavne z toho dôvodu, že pri astrografii sa robí dlhá expozícia, takže je potrebné objekt na oblohe sledovať. Azimutálna montáž je na tento eliptický pohyb nevhodná pre svoj spôsob pohybu (hore-dole, doprava-dola) [2].

Medzi výhody azimutálnej montáže patrí:

- ľahko sa používa
- ľahko sa nastavuje - nepotrebuje žiadnu kalibráciu
- ľahká a malá - nepotrebuje žiadne protizávažia

Medzi nevýhody azimutálnej montáže patrí:

- vyžaduje manuálne zamerať a sledovať objekt
- nevhodná pre astrografiú



Obr. 2.1: Azimutálna montáž [3].

Equatoriálna montáž (EQ)

Ekvatoriálna montáž je druhou najrozšírenejšou kategóriou montáží, popri azimutálnej. Hlavný rozdiel tejto montáže spočíva v tom, že umožňuje pohyb do hocakej strany, a nielen hore a dole alebo doprava-dolava.

To znamená, že dokáže presne sledovať objekt na nočnej oblohe. Táto vlastnosť ju robí ideálnou montážou pre astrografiu, kde je potrebné pozorovať objekt dlhší čas, aby sa mohli vytvárať kvalitné fotografie s dlhou expozíciou.

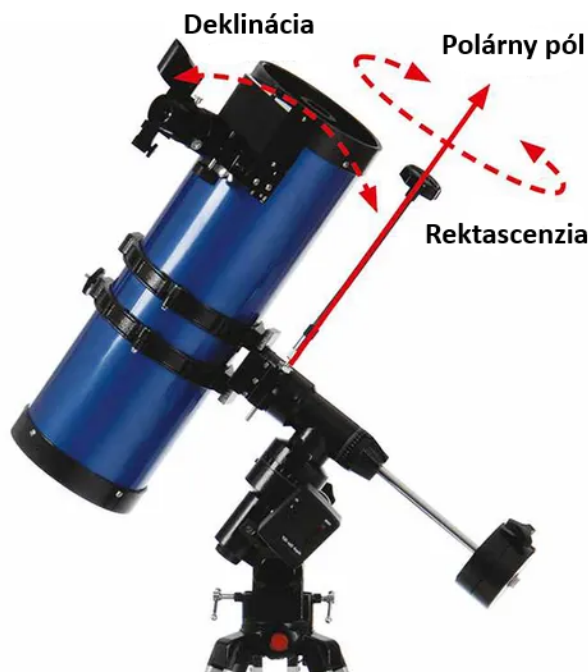
Do tejto kategórie spadá mnoho typov montáží. V podstate hocijaká montáž, ktorá dokáže sledovať objekt na oblohe len pomocou otáčania jednej osy, je ekvatoriálna. Tým pádom sem spadajú aj star trackery, vidlicové typy montáží, alebo aj azimuty, ktoré používajú rovníkový klin. Najčastejšie, keď niekto hovorí o ekvatoriálnej montáži, tak myslí jej nemeckú verziu [2].

Výhody equatoriálnej montáže:

- Najlepšia pre astrografiu

Nevýhody equatoriálnej montáže:

- Náročnejšia na použitie - potrebuje byť dobre vyvážená a správne nastavená
- Ťažšia - Zvyčajnejšie potrebuje protiváhy a je menej prenosná
- Objemnejšia - komplikovanejšie sa skladá



Obr. 2.2: Ekvatoriálna montáž [3].

2.3 Špeciálne typy montáží

Nemecká ekvatoriálna montáž (GEM)

GEM (obr. 2.3) patrí k najčastejším prevedeniam ekvatoriálnej montáže. Tento typ montáže používa protiváhy a je najvhodnejší pre astrografiú [2].

Stredovo vyvážené ekvatoriálne montáže (CEM)

CEM montáže (obr. 2.4) sú vyrábané výhradne firmou iOptron. Je to špeciálne upravená nemecká ekvatoriálna montáž, kde sú protiváhy bližšie k stredu montáže. Táto malá úprava zvyšuje nosnosť montáže vzhľadom k jej vlastnej hmotnosti [2].

Hybridné montáže (AZ/EQ)

Hybridné montáže (obr. 2.5) kombinujú prvky azimutálnej a ekvatoriálnej montáže, čím umožňujú teleskopu fungovať v dvoch režimoch. Tento hybrid je nielen jednoduchý na obsluhu, ale zároveň dokáže robiť astrografiú. Nevýhodou týchto montáží sú ich vysoké ceny [2].

Star Trackers

Star Trackers (obr. 2.6) sú v podstate mini ekvatoriálne montáže. Hlavným rozdielom je, že sú prevážne určené pre DSLR/bez-zrkadlové kamery, než pre teleskopy. Tým pádom sú menšie a majú nižšiu nosnosť. Zvyčajne sa používajú na fotenie krajíniek a astrografiú mliečnej dráhy. Umožňujú robiť oveľa dlhšie expozície. Fotograf tak strávi menej času na postprodukcii obrázkov. Môžu byť použité aj pre astrografiú objektov hlbokého vesmíru s teleobjektívom alebo aj malým teleskopom. Zvyčajne nie sú automatizované ani GOTO [2].

Dobsonovská montáž (DOB)

DOB montáž (obr. 2.7) je špeciálny typ azimutálnej montáže. Dobson totiž nemá trojnožku. Namiesto toho stojí na okrúhlejšej základni, ktorá je položená na zemi. Tento typ montáže sa používa pre veľké teleskopy s Newtonovskými reflektormi. Dobsonovský teleskop je potom Dobsonovská montáž skombinovaná s newtonovským refraktorom. Tento typ teleskopu má najlepší pomer cena/výkon. Za pomerne nízku cenu viete dostať veľký teleskop s dobrou optikou. Väčšinou sú lepšie ako ostatné typy teleskopov v tejto kategórii, ako napríklad refraktory a kata-dioptrické teleskopy. Nevýhodou tejto montáže je jej veľkosť a váha. A keďže patrí do kategórie azimutov, tak je nevhodná pre astrografiú [2].

Jednoramenné montáže

Jednoramenné montáže (obr. 2.8) patria do kategórie azimutov. Názov tejto montáže pochádza z dizajnu teleskopu, kde teleskop je držaný jediným ramenom, ktoré je z jednej strany pripojené na teleskop. Tento dizajn je opakom vidlicových uchytení, kde je teleskop uchytený z oboch strán [2].

Vidlicové montáže

Vidlicová montáž (obr. 2.9) patrí do kategórie azimutálnych montáží. Charakteristikou tejto montáže je vidlicové uchytenie teleskopu z oboch strán. Výhoda tohto uchytenia oproti jednoramennému je vyššia stabilita a nosnosť. V porovnaní s nemeckou ekvatoriálnou montážou sú jednoduchšie na použitie a viac kompaktné. Nepotrebujú žiadne protizávažia. Vidlicové montáže sa s pridaním ekvatoriálneho klínu vedia stať ekvatoriálnymi [2].

U montáže

U montáže (obr. 2.10) sa používajú pre binokulárne ďalekohľady, ale zmestí sa do nich aj malý teleskop. U montáže sa nielen vizuálne podobá na vidlicovú montáž, ale aj sa k teleskopu rovnako pripevňuje [2].

Teleskopy s priamym pohonom

Montáže s priamym pohonom (obr. 2.11) sa od ostatných líšia v tom, že nepoužívajú žiadne ozubené prevody. Ich výhodou je vysoká presnosť so žiadnymi periodickými chybami a mechanickými vôľami. Sú tiež nenáročné na údržbu. Jedná sa o high-end montáže, ktoré vyrábajú spoločnosti ako PlaneWave a ASA. Montáže s priamym pohonom môžu byť jednoramenné alebo vidlicové [2].

Montáže s harmonickým pohonom

Montáže s harmonickým pohonom (obr. 2.12), tiež známe ako Strain Wave Drive Mounts, sú ďalším typom montáže, ktorý nepoužíva žiadne ozubené prevody. Toto eliminuje periodické chyby a mechanické vôle. Momentálne rastú na popularite u nadšencov astrografiie. Hlavným dôvodom je ich narastajúca kvalita a klesajúca cena oproti nemeckým ekvatoriálnym montážiam a montážiam s priamym pohonom. Populárne modely harmonických montáží vyrábajú firmy ako ZWO, Hobym a Rainbow Astro. iOptron tiež ponúka rôzne variácie tejto montáže, ako hybrid s ekvatoriálnou montážou (HEM), Strain Wave AZ/EQ montáže (HAE) a Strain wave azimutálne montáže (HAZ) [2].

Montáž s trecím pohonom

Montáže s trecím pohonom (obr. 2.13) nepoužívajú žiadne ozubené prevody. Tým pádom nemajú žiadnú mechanickú vôľu. Tento typ montáže je vzácny a väčšinou sa používa buď harmonická montáž, alebo montáž s priamym pohonom [2].

Anglická montáž (Yoke)

Anglická montáž (obr. 2.14), tiež známa ako Yoke, je montáž, ktorá sa používala v novovekých observatóriách. Dnes už sa nepoužíva a pre hobby astronómov je zbytočná. Má však aj moderné prevedenie, ktoré sa nazýva Prenosná Anglická montáž (PEm) ktorá sa dá kúpiť u špecializovaných výrobcov [2].



Obr. 2.3: Nemecká ekvatoriálna montáž Mount EQ3-2 - 8200 Kč [4].



Obr. 2.4: Stredovo vyvážená ekvatoriálna montáž CEM60 - 49 700 Kč [5].



Obr. 2.5: Hybridná montáž montáž Sky-Watcher AZ5 - 9200 Kč [6].



Obr. 2.6: BRESSER StarTracker astronomická montáž - PM-100 - 10 175 Kč [7].



Obr. 2.7: Teleskop s Dobsonovskou montážou N200/1200 Skyliner Classic DOB - 12 000 Kč [8].



Obr. 2.8: Teleskop s jednoramennou montáž SC 235/2350 NexStar Evolution 925 - 91 100 Kč [9].



Obr. 2.9: Vidlicová montáž HF2 - 8700 Kč [10].



Obr. 2.10: Vidlicová montáž pre veľký binokulár - 6300 Kč [11].



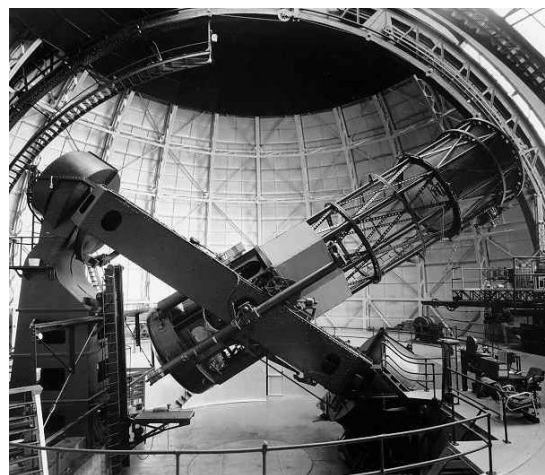
Obr. 2.11: Montáž L-350 Direct Drive - 18 550€ (463 527 Kč [12]).



Obr. 2.12: Montáž HEM15 iPolar - 39 900 Kč [13].



Obr. 2.13: Montáž P75 - Trident s trecím pohonom - 4169€ (104 178 Kč) [14].



Obr. 2.14: 3.9m Anglo-Austrálsky teleskop v Novom Walesse [15].

2.4 Používateľské požiadavky na detský ďalekohľad

Pri výbere teleskopu je potrebné zvážiť niekoľko kľúčových faktorov, aby bolo pozorovanie nielen zábavné, ale aj používateľsky priateľské.

Jednoduchá obsluha

Detský teleskop by mal byť ľahko rozložiteľný a intuitívny na použitie. Teleskopy, ktoré majú prosté ovládanie, jasné inštrukcie pre použitie a presný, ale nenáročný spôsob zameriavania, sú ideálne pre mladých nadšencov astronómie. Modely, ktoré sú kompatibilné so smartfónom, dokážu pozorovanie ešte viac spestriť [16].

Odolnosť a bezpečnosť

Odolnosť je kľúčová pri vyberaní hocakého produktu pre deti, a teleskop nie je žiadnou

výnimkou. Robustná konštrukcia z pevných materiálov, ktorá dokáže odolať niekoľkým pádom, je ideál. Čo sa bezpečnostných prvkov týka, nemali by byť prítomné žiadne ostré hrany a labilné komponenty, ktoré by mohli ohroziť deti [16].

Optika aparatúra

Pri výbere detského teleskopu netreba dbať na to, aby bol vybavený tými najkvalitnejšími šošovkami a objektívmi. Nemusíme sa striktne orientovať na najkvalitnejšie šošovky a objektívy, pretože primárnym cieľom je umožniť deťom pozorovanie vesmíru. Základné požiadavky by mali zahŕňať schopnosť pozorovať planéty, Messierové objekty a mesiace Jupitera, čo stačí na uspokojenie zvedavosti mladého astronóma po celý rok. Keď sa dieťa začne venovať astronómii seriózne, je možné prejsť na teleskopy s kvalitnejšou optikou, ktoré umožnia kvalitnejšie a detailnejšie pozorovania [16].

Prenosnosť

Prenosnosť je dobrým bonusom, najmä pokiaľ sa plánuje výlet do oblastí s nízkym svetelným znečistením. Lhká konštrukcia z kompozitných materiálov je ideálna [16].

2.5 Porovnanie výrobkov

Cometron FirstScope a Orion FunScope

Základná verzia, Celestron FirstScope, má nedostatočné okuláre a jeho sférické zrkadlo pri jasnejších objektoch slabo zaostruje. Ak nechceme detailne pozorovať objekty, ale iba oblohu, je vhodný. Verzia Cometronu disponuje lepším okulárom a celkovo je kvalitnejšia, na druhej strane je však o niečo drahšia. Verzia Orion FunScope predstavuje najdrahšiu alternatívu z týchto troch teleskopov. Síce využíva rovnaké zrkadlo, ale ponúka najlepšie príslušenstvo [17].



Obr. 2.15: Teleskop s Dobsonovou montážou N 114/500 DOB FunScope - 3650 Kč [18]

Prion SkyScanner a Zhumell Z100

Orion SkyScanner a Zhumell Z100 sú kvalitnejšie modely teleskopov ako FirstScope a to za priaznivú cenu. V mnohých aspektoch sú podobné FirstScopu, ale majú väčšie zrkadlo, ktoré je parabolické a nie sférické. Tým pádom je minimalizovaná sférická aberácia. Teleskop má navyše aj decentné okuláre. Z100 disponuje o niečo lepšou pozíciou hľadáča ako SkyScanner, avšak inak majú zhodné príslušenstvo a optiku. Oba teleskopy sú vhodné pre začínajúceho astronóma, ale Z100 je o niečo lepšou voľbou [17].



Obr. 2.16: Hvezdársky ďalekohľad Orion N 100/400 SkyScanner DOB - 139€ - 3400 Kč [19].

Zhumell Z114 a Orion StarBlast 4.5

Zhumell Z114 (skoro identický s Orion StarBlast 4.5 Astro) je reflektor, ktorý sa často nachádza v knižniciach a planetáriách, kde ho majú na vypožičanie. Má vysokú svetelnú priepusnosť, ľahko sa s ním manipuluje a má lepšiu optiku ako Orion SkyScanner/Zhumell Z100. Má lepšie uloženú optiku, takže nie je potrebné ju nastavovať, pokiaľ teleskop nespadol na zem alebo do neho niekto nedrgol. Pokiaľ ale chcete využiť jeho plné potenciál a dosiahnuť plné zväčšenie, tak si budete musieť zakúpiť dodatočné príslušenstvo. Zhumell Z114 sa väčšinou predáva lacnejšie ako StarBlast 4.5 Astro. Pokiaľ ale nájdete StarBlast v akcii, tak sa vyplatí viac. Pre deti sa ale neodporúča verzia s ekvatoriálnou montážou [17].



Obr. 2.17: Hvezdársky ďalekohľad Zhumell Z114 - 8500 Kč [20].

3 Numerický model

Aj keď azimutová montáž je viac priateľská pre začiatočníkov, rozhodol som sa pre nemeckú ekvatoriálnu montáž. Hlavnou výhodou tejto montáže je, že sa dá ľahko motorizovať. Ďalším dôvodom je, že nemecké ekvatoriálne montáže, a najmä tie motorizované, sú zvyčajne drahšie ako azimutové. Takže navrhovaná verzia, by bola cenovo dostupnejšou alternatívou k už existujúcim produktom.

3.1 Nemecká ekvatoriálna montáž (GEM)

GEM sú navrhnuté tak, aby kompenzovali rotáciu Zeme. Keďže sa Zem otáča, my, ako pozorovatelia nočnej oblohy, sa otáčame tiež. To vytvára zdanlivý dojem, že hviezdy na oblohe sa pohybujú po kružniciach. Pri pozorovaní nočnej oblohy voľným okom sa hviezdy pohybujú len veľmi pomaly (jedno otočenie za 24 hodín), no zväčšenie teleskopu urýchľuje tento pohyb proporcionálne. Napríklad hviezda, ktorú pozorujeme s teleskopom so 100-násobným zväčšením, sa bude pohybovať 100-krát rýchlejšie. Keď použijeme objektív, ktorý má zorné pole 50 stupňov, a teleskop so 100-násobným zväčšením, tak bude trvať približne len 2 minúty, kým sa hviezda vytratí z objektívu [21].

GEM používajú jemný ručný pohon alebo lanká na udržiavanie objektu v objektíve. Toto môže byť výhoda, ak všetko funguje správne, avšak ak je montáž preťažená alebo nie je správne vyvážená, tieto ovládacie prvky nemusia fungovať efektívne. K mnohým ekvatoriálnym montážam sa dá dokúpiť motorizované vylepšenie, ktoré umožňuje automatické sledovanie objektov. Existujú aj GEM, ktoré sú motorizované už od výroby. Motorizované GEM ale väčšinou spadajú už do vyššej cenovej kategórie [21].

Kategórie ekvatoriálnych montáží

- **EQ-1:** Celestron ich predáva pod menami CG-2 a CG-3. EQ-1 sú jedny z najmenších ekvatoriálnych montáží dostupných na trhu. Ak ju použijeme v kombinácii s teleskopom, ktorý nemá viac ako 3 kg, pevnou trojnožkou tak máme vhodný set. Celestron ale väčšinou páruje tieto montáže s teleskopmi ťažšími ako 4 kg [21].
- **EQ-2:** Orion a ostatní výrobcovia väčšinou volia lepšie kombinácie montáží a teleskopov tak, že montáž by mala vedieť uniesť teleskop aspoň teoreticky. EQ-2 sú zvyčajne mohutnejšie ako EQ-1 a vedia uniesť teleskop až do 4 kg. Vo väčšine prípadov sú sety s EQ-1 a EQ-2 stále trochu labilné [21].
- **High-end modely:** napríklad CG-4 sú výborné na použitie ale väčšinou nie sú párované so začiatočnickými ale s viac pokročilými teleskopmi [21].

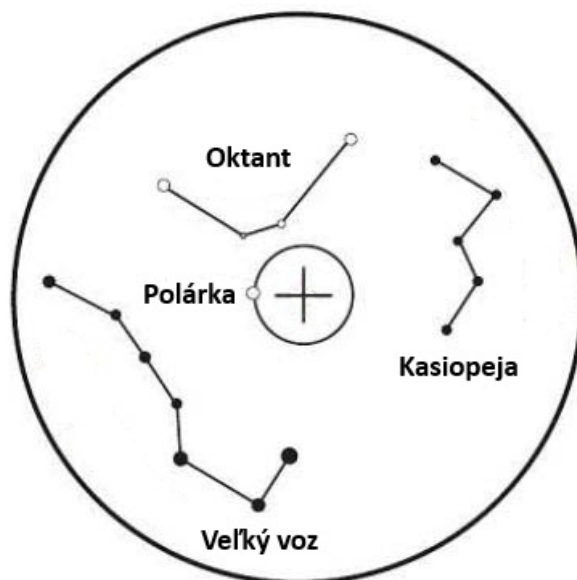
Teoreticky, ak je montáž správne nastavená a motor je zapnutý (alebo ak otáčame s nastavovacou páčkou), objekt zostane v zornom poli tak dlho, ako to pozorovateľ vyžaduje.

Polárne zarovnanie pre GEM

Presná kompenzácia Zemskej rotácie je možná len v prípade, ak os Zeme a polárna os teleskopu sú perfektne rovnobežné. Narozdiel od azimutálnych montáží, ktoré majú len dve osy rotácie, GEM majú aspoň štyri. GEM používa dve osy (nadmorskej výšky a azimutu) čisto len na zarovnanie polárnej osy. Azimut nastavíme tak, aby bol teleskop otočený na sever. Výška predstavuje uhol medzi horizontom a nebeským pólom na oblohe. Astronómovia na severnej pologuli používajú Polárku ako referenciu pre severný pól. Polárka sa nachádza len $0,8^\circ$ od skutočného nebeského severného pólu. Väčšina GEM je vybavená systémom pre jednoduché zameranie severného pólu [21].

Hľadáčik

Astrografia si vyžaduje presné zarovnanie polárnej osi, pretože pri fotografovaní objektov s nízkou svetelnosťou je nevyhnutné použiť dlhú expozíciu. Hľadáčik výrazne napomáha pri nastavení teleskopu. Hľadáčik je malý teleskop, ktorý sa zvyčajne umiestňuje na tubus hlavného ďalekohľadu. Tieto teleskopy majú síce malé zväčšenie, avšak sú vybavené krížkom na šošovke. Stred krížku sa väčšinou zameriava na Polárku. Niektoré hľadáčiky majú okrem krížku aj ostatné súhvezdia v okolí Polárky pre ešte presnejšie nastavenie [21].



Obr. 3.1: Súhvezdia zobrazované na optike hľadáčika [22].

Keď sú azimut a výška raz nastavené, zaaretujeme skrutky a ponecháme ich tak počas celého pozorovania. Na prvý pohľad sa môže zdať zvláštne, že tieto osy nebudeme meniť počas celého pozorovania, avšak GEM má ďalšie dve osy pre zameranie nebeských objektov: deklináciu a rektascenziu [21].

Deklinácia

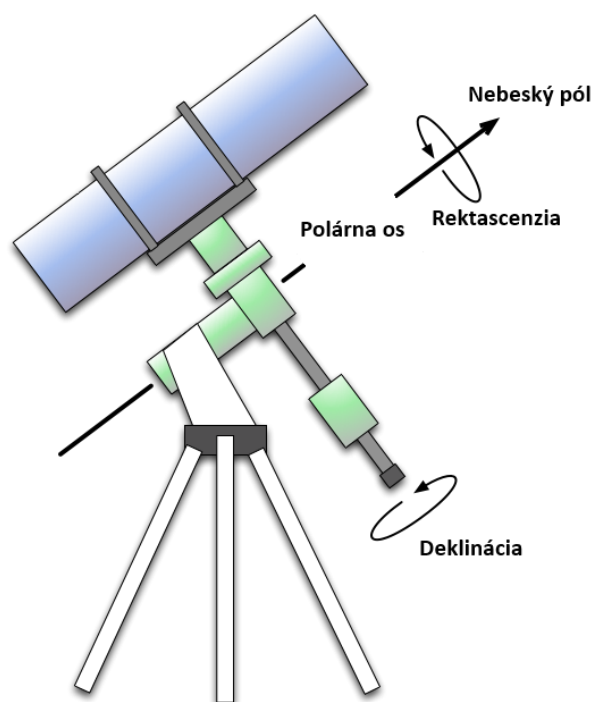
Nebeský rovník je projekcia zemského rovníka na nebeskú sféru. Deklinácia predstavuje uhol medzi zobrazovaným objektom a nebeským rovníkom. Rovnako ako zemepisná šírka, aj deklinácia sa vyjadruje v stupňoch. Ak je objekt severne od nebeského rovníka, jeho deklinácia sa pohybuje od 0° do 90° , zatiaľ čo ak je južne, deklinácia je od 0° do -90° . Tu sa prejavuje hlavná výhoda ekvatoriálnej montáže. Keďže sme polárnu os montáže zarov-

nali s osou Zeme, taktiež sme zarovnali rovník teleskopu s nebeským rovníkom. Nebeský rovník je vždy ortogonálny k zemskej osi. Deklinácia objektu je teda úplne nezávislá od polohy pozorovateľa na Zemi [21].

Pre začiatočníkov môže byť trochu náročné si predstaviť nebeský rovník a deklináciu. Jednoduchý spôsob, akým sa to dá predstaviť, je nahradiť Zem diskom o priemere Zeme, ktorého normálová os je totožná so zemskou osou. Ak umiestnime teleskop kdekoľvek na tejto ploche, uhol deklinácie sa nezmení. Napríklad galaxia v Androméde má deklináciu $41^{\circ}16'$ či už sa nachádzame v Brne, Osle alebo Madride [21].

Rektascenzia

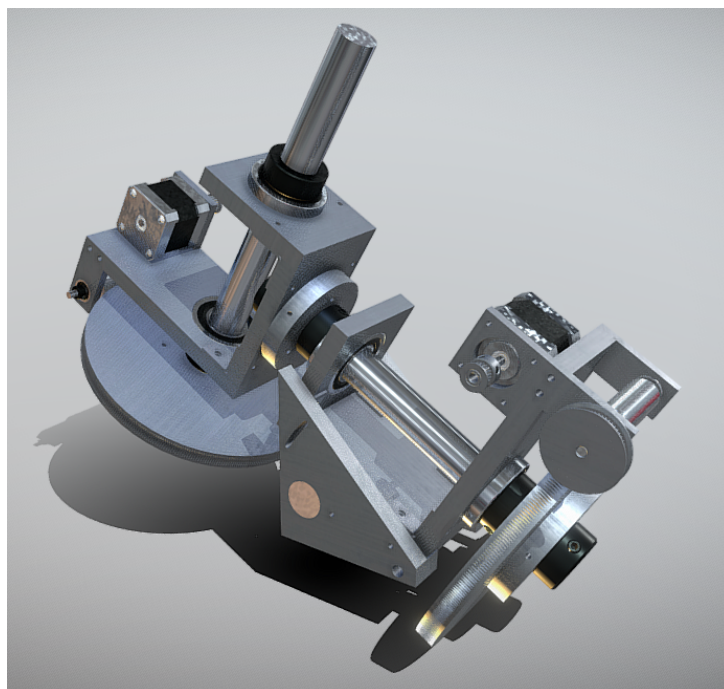
Posledný pohyb, ktorý GEM ovláda, je rektascenzia. Po správnom nastavení smeruje os rektascenzie na severný pól. Tým pádom akákoľvek rotácia okolo tejto osi kopíruje pohyb hviezd. Sledovanie objektu na nočnej oblohe je následne veľmi jednoduché. Rektascenzia sa uvádza v hodinách, minútach a sekundách [21].



Obr. 3.2: Nastavenie GEM [23].

3.2 Iterácie modelu

Ako modelovacie prostredie som si zvolil softvér od spoločnosti Autodesk, konkrétne Autodesk Inventor. Moja prvá verzia numerického modelu bola inšpirovaná týmto modelom GEM:

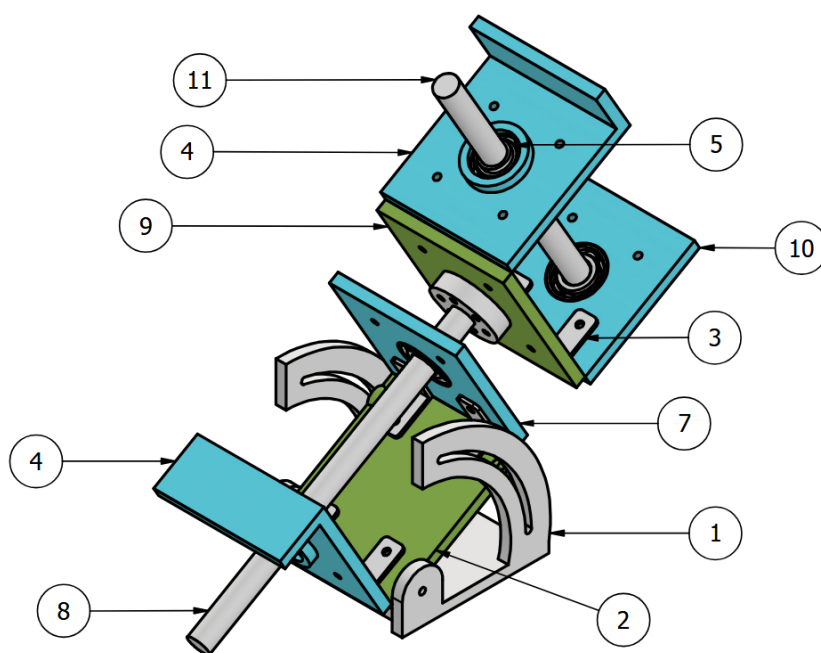


Obr. 3.3: Inšpirácia pre môj model montáže [24].

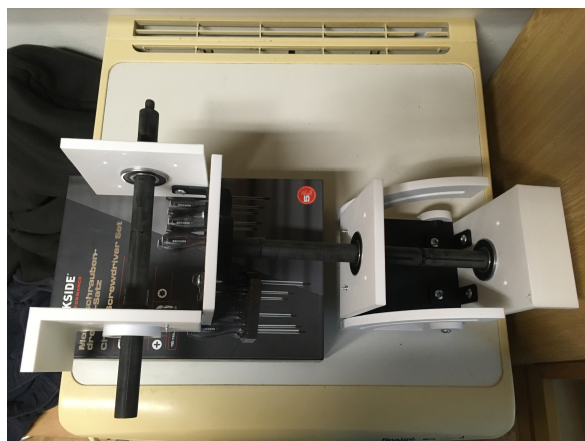
Prvá iterácia montáže

V prvej iterácii (obr. 3.4) som plánoval umiestniť motory do hornej časti komponentu 4. Medzi motorom a oskou by bol remeňový prevod. Uchytenie osiek 8 a 11 som navrhol z štyroch komponentov: 2,3,4,7 pre osku 8 a 3,4,9,10 pre osku 11. Bočné steny komponentu 1 sme nevyhotovili ako plné, ako to bolo v modeli, ktorý slúžil ako inšpirácia. Táto montáž bola konštruovaná tak, aby sa dala vložiť medzi trojnožku teleskopu a vidlicu, ktorý drží teleskop. Komponent 1 by sa prišruboval na trojnožku zospodu. Vidlica pôvodného teleskopu by bola pomocou červíka našrúbovaná na osku 11. Teleskop by bol uchytý do tejto vidlice.

Po 3D tlači komponentov a zostavení montáže sa ukázalo, že je veľmi labilná. Osky boli zbytočne dlhé, čo iba zvyšovalo redukovaný moment, ktorý motor následne pociťoval. Problém bol aj s komponentom 1. Hoci sa ušetrilo množstvo filamentu, keďže steny neboli plné ako v prípade obrázka 3.1, úchyty, ktoré držali komponent 2, boli veľmi krehké. Na komponente 1 dokonca vznikol aj štep (obr 3.6). Montáž bola celkovo zbytočne veľká (obr. 3.5).



Obr. 3.4: Prvá iterácia numerického modelu



Obr. 3.5: 3D vytlačená prvá verzia numerického modelu

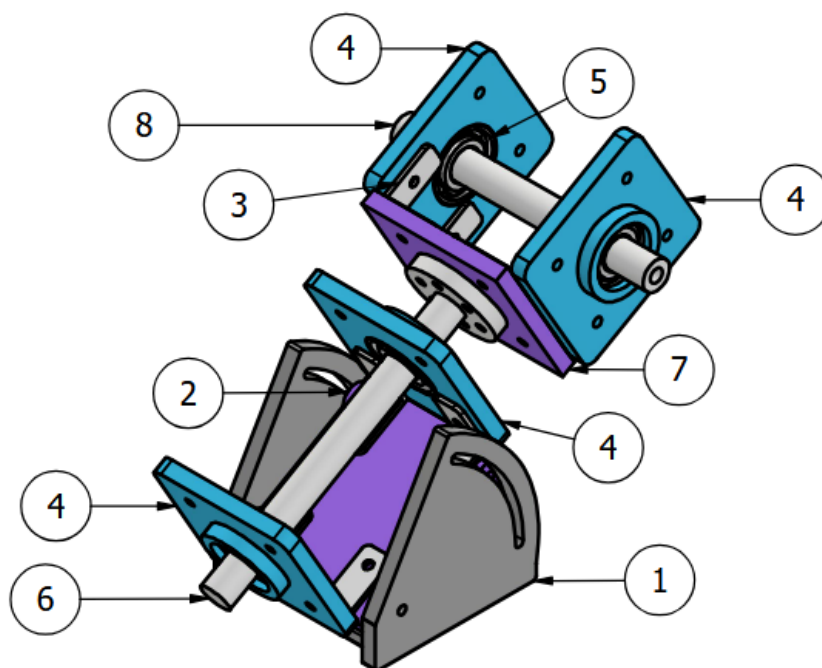


Obr. 3.6: Štep na komponente 1

Druhá iterácia montáži

V tejto iterácii (obr. 3.7) som sa rozhodol použiť planétovú prevodovku namiesto prevodu s remeňom. Na komponente 4 bola odstránená plocha, na ktorej mal byť umiestnený krokový motor. Taktiež boli zaoblené rohy komponentu 4 z bezpečnostných dôvodov. V komponente 1 boli bočné steny vyplnené. Od tejto úpravy nedošlo k žiadnym prasklinám na súčiastke 1. Osky 8 a 6 boli skrátané s cieľom znížiť redukovaný moment, ktorý bude pôsobiť na motor.

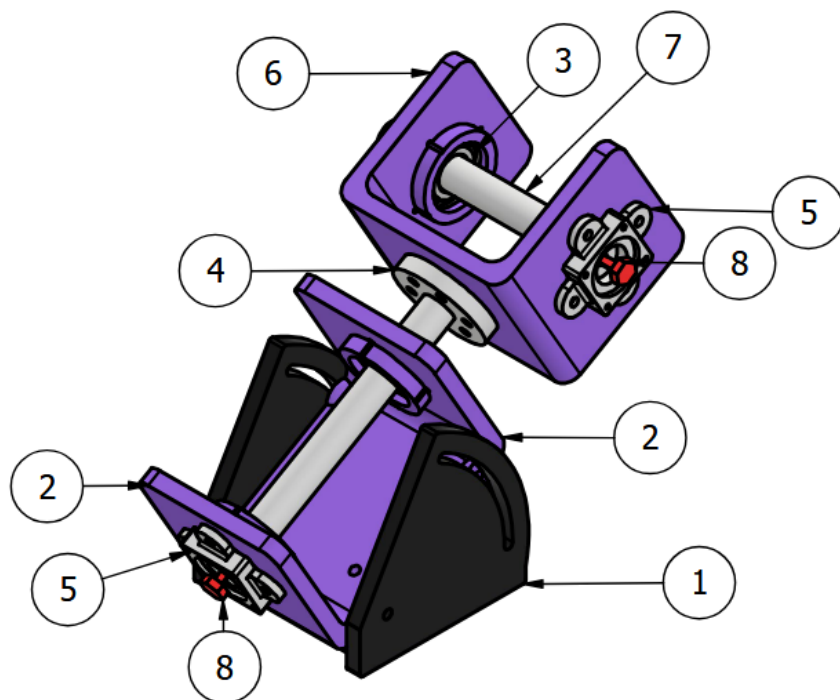
K realizácii tejto montáže nedošlo kvôli predpokladu vysokej labilitý spojovacích L-komponentov (3).



Obr. 3.7: Druhá iterácia numerického modelu

Tretia iterácia montáži

V tejto iterácii (obr. 3.8) montáže bola realizovaná jedna z najvýznamnejších zmien. Uchytenie osiek ktoré sa v predošlej iterácii skladalo až zo 7 komponentov bolo spojené do jednej časti 2 a 6. Táto zmena výrazne zvýšila tuhosť zostavy. Domodelovaný bol vrch planétovej prevodovky 5. Vymodelovaný bol aj komponent 8, ktorý bude prenášať moment z planétovej prevodovky na osky. Osy 3 a 7 boli opäť skrátené, čím sa znovu znížil redukovaný moment na hriadeli motora. Pridané boli aj otvory pre skrutky, ktoré budú držať vrchol planetovej prevodovky (5) na komponentoch 6 a 2.



Obr. 3.8: Tretia iterácia numerického modelu

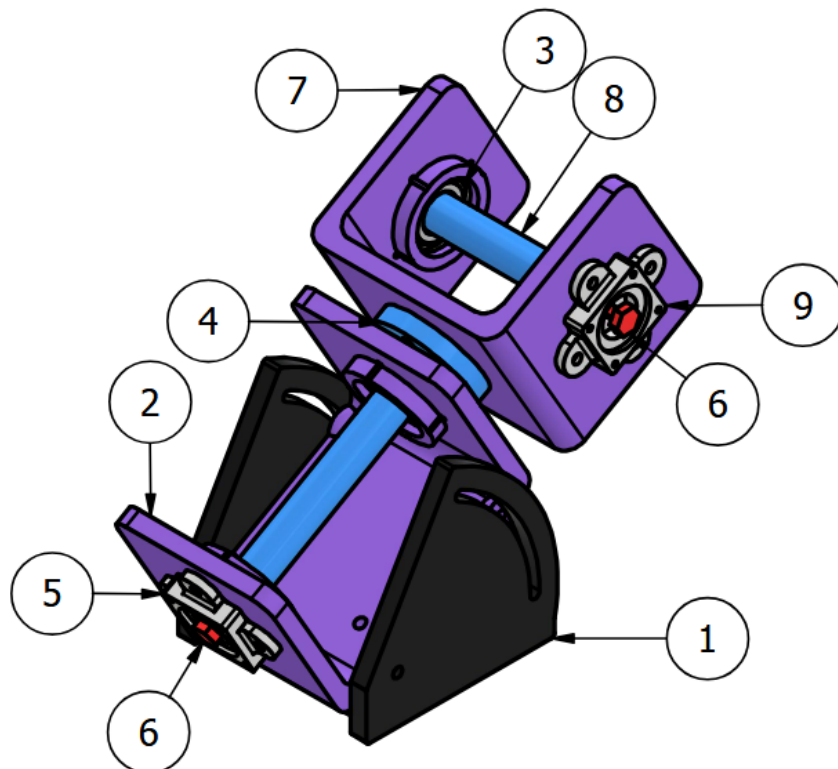


Obr. 3.9: 3D vytlačená iterácia tretia iterácia

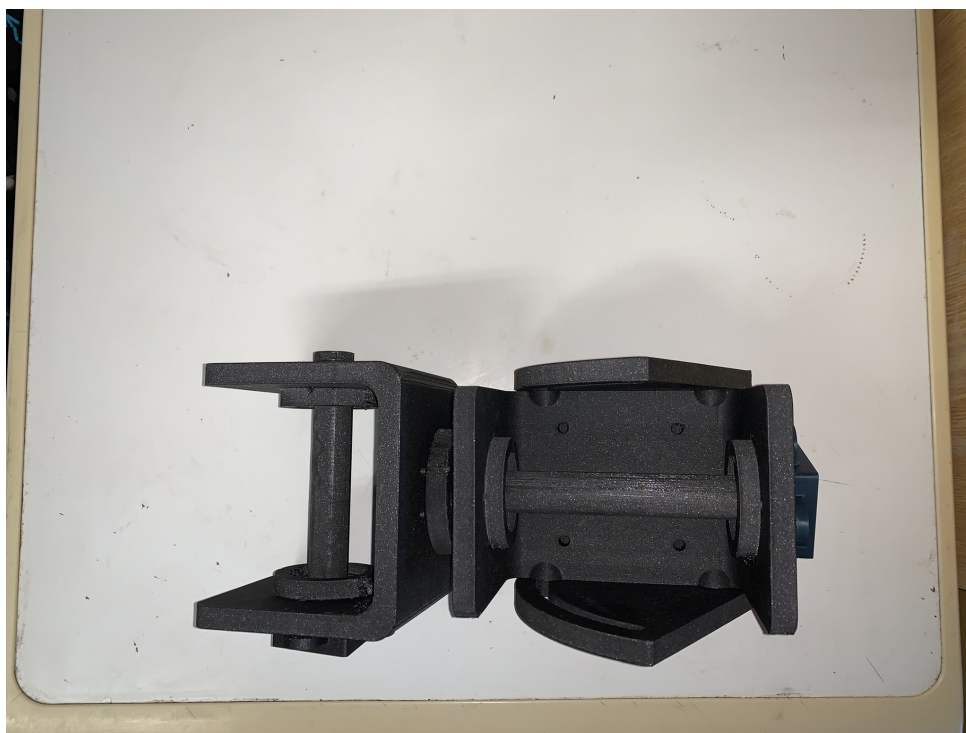
Štvrtá iterácia montáže

Jediný rozdiel v tejto iterácii (obr. 3.10) oproti predchádzajúcej spočíva v skrátení osiek 4 a 8. Na problém som narazil, keď som rozoberal túto zostavu. Šrúby ktoré spojovali vrchú časť planétovej prevodovky (9) s komponentami 7 a 2, boli len zašrubované do týchto

komponentov. Pri vyšrubovávaní sa totiž závit v plastovom materiály trhal a šróby ostali uviaznuté. Museli byť vybrané s použitím výraznej sily. Pri opätovnom našrúbovaní už tak dobre nedržali.



Obr. 3.10: Štvrtá verzia numerického modelu

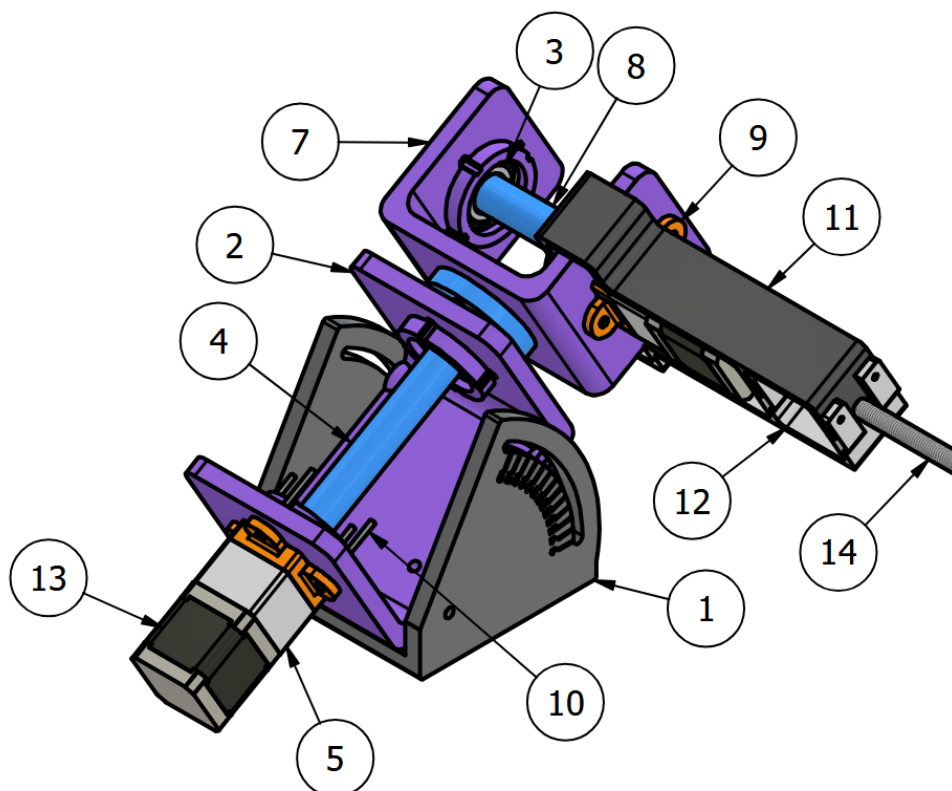


Obr. 3.11: 3D vytlačená štvrtá iterácia

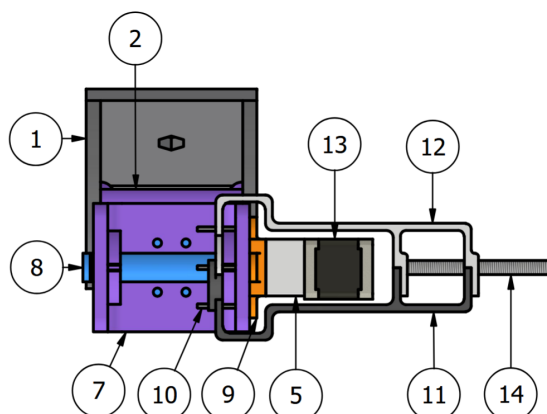
3.3 Finálna verzia

V tejto iterácii (obr. 3.12) boli diery v súčiastkach 9 a 2, cez ktoré sa vrch planetovej prevodovky (9) prichytí, zväčšené o 0,2 mm. Tým pádom sa skrutka (10) nemusela zafixovať do plastu. Na druhej strane bol vytvorený šesťhranný otvor pre maticu DIN 985 M3 nerez A2 (obr. 3.12). Tento spoj bol nielen lepšie rozoberateľný ale aj tuhší. Komponent 7 bol zmenšený o 20 mm na dĺžku. Tým došlo nielen k zníženiu redukovaného momentu na oske 4, ale aj k úspore materiálu pri 3D tlači. Zároveň sa ťažisko posunulo bližšie k zvislej osi trojnožky. Pridaná bola aj uhlová stupnica na komponente 1 pre ľahšie nastavovanie. Hlavné vylepšenie oproti ostatným verziám je však pridanie vyvažovania teleskopu. Toto vyvažovanie je tvorené komponentami 11,12 a 14. Komponenty 11 a 12 obopínajú motor (13) s planetovou prevodovkou (5) a zabezpečujú držanie závitovej tyče (14) M10. Závitová tyč je prichytená ku komponentom 11 a 12 pomocou matíc DIN 934 M10 [08] pozink. Na závitovú tyč sa nasunú závažia tak, aby vyvážili teleskop. Ako protizávažia som použil hokejové puky.

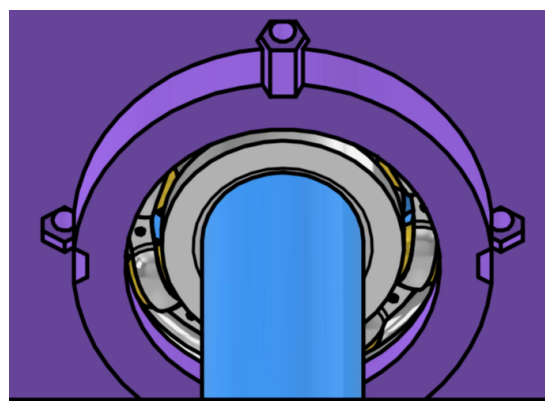
Komponenty finálnej verzie boli tlačené na tlačiarni Voron Trident 250. Materiál použitý na tlač komponentov bol Fiberlogy ABS, Gembird PLA a Filamentree Blaster. Výška jednej vrstvy bola 0,2 mm s tryskou 0,4 mm. Výplň komponentov je 40 %. Maximálna rýchlosť tlače bola 100 mm/s. Zostavená montáž bez teleskopu je na obr. 3.13.



Obr. 3.12: Finálna verzia numerického modelu



Obr. 3.13: Pohľad zhora na vyvažovaciu časť montáže



Obr. 3.14: Otvory pre matice v súčiastke 2



Obr. 3.15: Pracovné zmontovanie finálnej iterácie

4 Realizácia

4.1 Mechanická časť

Montáž

Komponenty montáže, ktoré som navrhol ja, boli podrobne opísané v predchádzajúcej kapitole. Pri číslovaní komponentov sa budem riadiť obrázkom 3.12. Osky sú uložené v ložiskách MTM 6204 2RS. Komponenty 1 a 2 sú spojené šrúbami s valcovou hlavou - imbus DIN 912 M6x40-8.8. Na spojenie trojnožky a komponentu 1 bola použitá skrutka s valcovou hlavou - imbus DIN 912 M10x40-10.9 a matica DIN 934 M10 [08] pozinkovaná. Na prichytenie komponentu 9 boli použité skrutky DIN 7985 PH M3 x 40 a samoistné matice DIN 985 M3 nerez A2. Na uchytenie komponentu 7 s oskou 4 boli použité rovnaké skrutky ako v prípade komponentov 1 a 2. Do osky 8 bola našrubovaná nábytkárska matica s imbusom. Vidlica teleskopu, ktorá je vidieť na obrázku 3.14, je prichytená k oske pomocou skrutky DIN 931 M6x60-8.8, ktorá bola zašrubovaná do nábytkárskej matice.

Planetová prevodovka

V mojej bakalárskej práci som využil existujúcu planetovú prevodovku [25] pre krokový motor NEMA 17 . Táto prevodovka má prevodový pomer 9:40, čo zabezpečuje značné zníženie rýchlosti a zvýšenie momentu. Ozubené kolieska boli vytlačené so 100% výplňou a výškou vrstvy 0,15 mm, aby bola zabezpečená dostatočná pevnosť. Použité normované komponenty v planetovej prevodovke sú v tabuľke 4.1.

Tabuľka 4.1: Zoznam normovaných súčiastok pre planetovú prevodovku

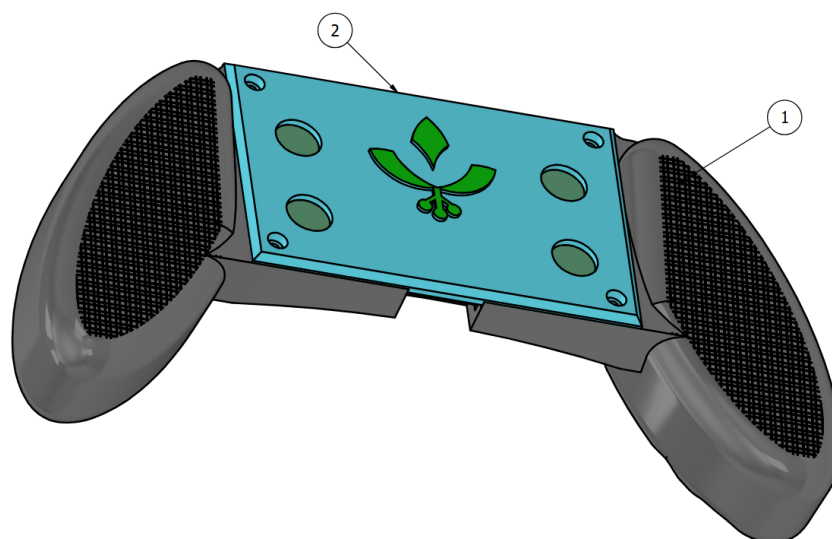
| Komponent | DIN norma |
|---|------------------|
| Skrutka M3 × 12 mm (imbusová) | DIN 912 |
| Matica M3 (šesthranná) | DIN 934 |
| Staviaca skrutka M3 × 6 mm (bez hlavy) | DIN 913 |
| Skrutka M3 × 35 mm (imbusová) | DIN 912 |
| Ložisko 608 2RS (8×22×7 mm, s tesnením) | ISO 15 |



Obr. 4.1: 3D tlačená planetová prevodovka pre motor NEMA 17 a jej komponenty

Kryt ovládača

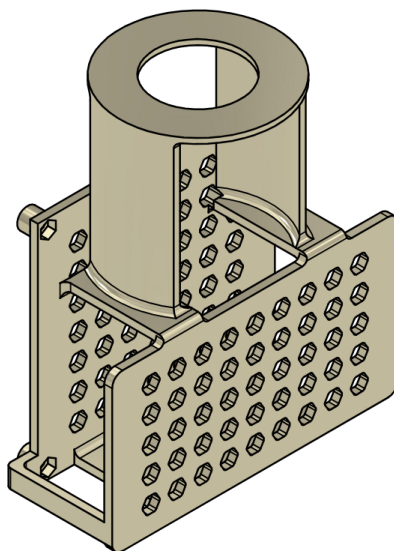
Toto plastové puzdro pre dosku plošných spojov (DPS) bolo inšpirované ovládačom pre PlayStation 5. Bolo navrhnuté s dôrazom na ergonomiu, aby minimalizovalo únavu zápästia pri dlhodobom používaní. Kryt pre DPS-ku ovládača sa skladá z dvoch komponentov, a to handle (1) a vrch ovládača (2). Kryt bol vyrobený na tej istej 3D tlačiarňi ako predchádzajúce komponenty. Jedinou výnimkou je, že bol vytlačený z priesvitného filamentového materiálu Filamentree Blaster. Priesvitný materiál bol zvolený tak, aby pri zapojení ovládača bolo vidieť svietiacu LED diódu na DPS. Prvok handle (1) na obrázku 4.2 predstavuje najzložitejší komponent v celom projekte.



Obr. 4.2: Ovládač pre montáž teleskopu

Držiak riadiacej DPS-ky a batérie

Tento držiak bol navrhnutý špeciálne na stabilné upevnenie riadiacej DPS-ky spolu s napájacou batériou. Zvolil som otvorený dizajn s priedušnými stenami, aby sa DPS a batéria lepšie chladili. Pripája sa k trojnožke pomocou priechodky M-32, ktorá je našrubovaná na hornú kruhovú plochu. Bol vytlačený na rovnakej 3D tlačiarňi ako predchádzajúce komponenty.

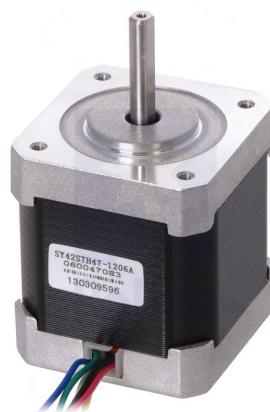


Obr. 4.3: Držiak pre PCB ovládač a batériu

4.2 Elektronická časť

Krokové motory

V svojej bakalárskej práci som sa rozhodol použiť krokové motory NEMA 17, konkrétne dva motory typu SY42STH47-1206A, obr. č. 4.4. Tieto motory som zvolil predovšetkým kvôli ich dostupnosti, kompaktnej veľkosti a spoľahlivosti. Sú navrhnuté na presný pohyb, čo ich robí ideálnymi pre aplikácie ako sú CNC stroje a 3D tlačiarne. Vzhľadom na ich široké rozšírenie je dostupné množstvo príslušenstva, vrátane ovládačov, prevodoviek a rôznych upevňovacích systémov. Okrem toho je na internete k dispozícii množstvo manuálov a návodov, čo zjednodušuje prácu s nimi. Motory sú zaznačené modrou na obr. č. 4.8.



Obr. 4.4: Krokový motor SY42STH47-1206A [26].

Napájanie

Keďže pozorovanie nočnej oblohy je vonkajšia aktivita, je potrebné zvoliť vhodný prenosný zdroj energie. Rozhodol som sa pre batériu CNHL LiPo 6S 22.2V 2200mAh 70C s konektorom XT60, obr. č. 4.5. Táto batéria sa často využíva v dronoch a RC automobiloch. Vyznačuje sa nízkou hmotnosťou a kompaktnými rozmermi, čo je kľúčové, keďže jednou z hlavných vlastností teleskopu má byť prenosnosť. Jej nevýhodou je relatívne nízka kapacita. Hoci je možné nájsť batérie s vyššou kapacitou, tieto sa zvyčajne nachádzajú vo vyššej cenovej kategórii. Batéria je zaznačená červenou na obr. č. 4.8. Nevýhodou batérií typu LiPo je, že pre správne používanie vyžadujú balancery, ktoré zabezpečujú, že všetky články batérie sa vybíjajú rovnomerne. Taktiež zabraňujú tomu, aby sa batéria vybila pod kritickú úroveň.



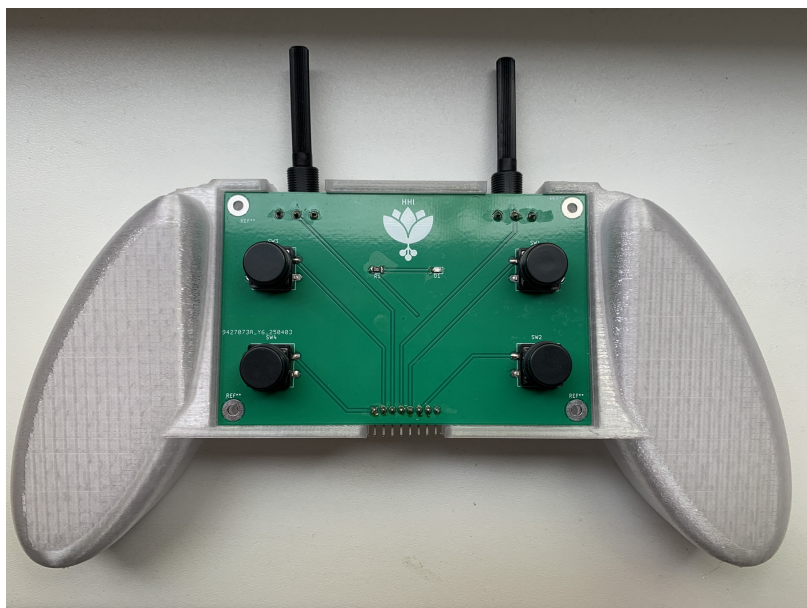
Obr. 4.5: Batéria CNHL LiPo 6S 22.2V 2200mAh 70C s konektorom XT60 [27].

DPS ovládača

Pre riadenie celej montáže som sa rozhodol vytvoriť ovládač. Hlavné vlastnosti, ktoré by mal tento ovládač spĺňať, sú ergonómia, spoľahlivosť a intuitívnosť používania. Ergonómiu ovládača som už zmienil v predchádzajúcej kapitole 4.1 Mechanická časť. Aby bol ovládač jednoduchý a spoľahlivý, zvolil som ovládanie pomocou tlačidiel a potenciometrov. Každý motor ovláda dve tlačidlá a jeden potenciometer. Jedno tlačidlo riadi otáčanie motora v smere hodinových ručičiek, zatiaľ čo druhé ovláda pohyb proti smeru hodinových ručičiek. Pomocou potenciometra sa následne nastavuje rýchlosť motora. DPS ovládača ešte obsahuje osem pinový konektor. Ten slúži na prepojenie DSP ovládača s radiacou DPS. Posledné komponenty, ktoré sa na doske nachádzajú sú dióda s rezistorom. Tá sa rozsvieti keď je ovládač zapnutý. Prvky patriace do DPS ovládača sú vyznačené oranžovou farbou na obr. č. 4.8.

Tabuľka 4.2: Zoznam elektronických komponentov s označeniami

| Množstvo | Komponent | Označenie |
|----------|--------------------|---|
| 1× | Zahnuté piny | Pin Header 1x8 P2.54mm Horizontal |
| 4× | Mikrospínač | SW Tactile Connfly DS1041-24KKAS |
| 4× | Hmatník pre spínač | Knob DS1011-10SBS1B7 |
| 2× | Potenciometer | Potentiometer Piher PC-16 Single Horizontal |
| 1× | Rezistor | R 1206 1k |
| 1× | SMD LED | LED 0805 Green |



Obr. 4.6: Riadiaca DPS v kryte ovládača.

Riadiaca DPS

Keďže som pre riadenie montáže potreboval viaceré elektronické súčiastky, použitie prototypovacích dosiek (breadboard) by bolo nepraktické a neefektívne. Rozhodol som sa preto vytvoriť vlastnú riadiacu DPS (obr. 4.9). Na tejto doske sa nachádza arduino, drivere pre krokové motory, stepdown menič a svetelná signalizácia rýchlosti krokových motorov. Prvky patriace do riadiacej DPS sú vyznačené zelenou na obr. č. 4.8.

- **Arduino**

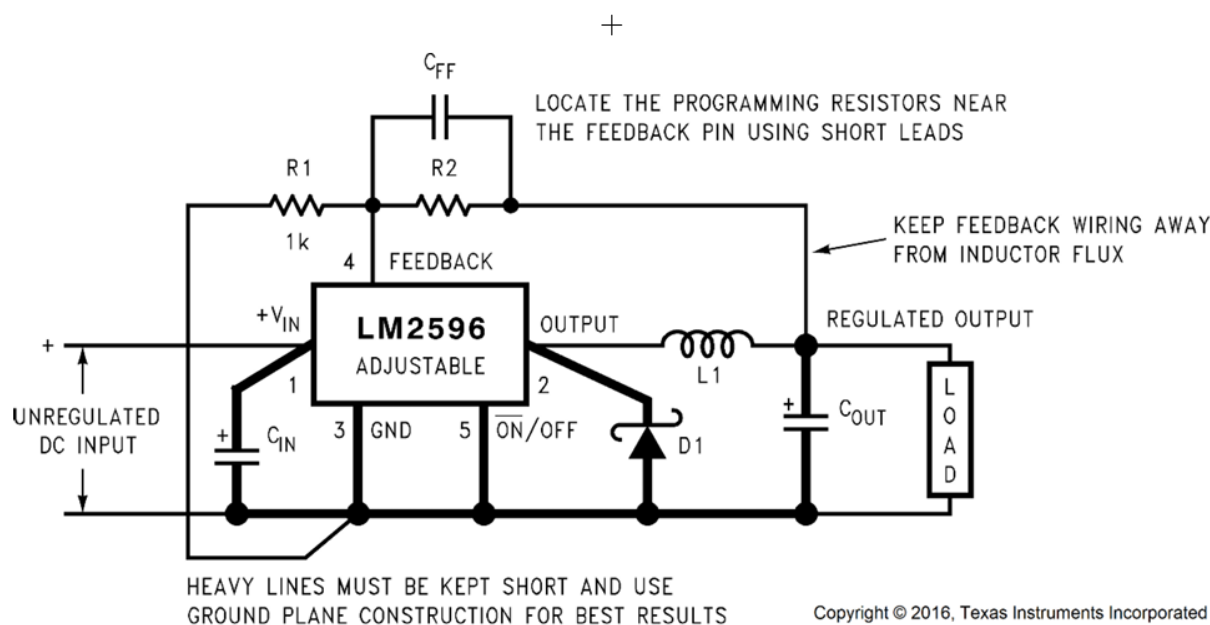
Pre arduino som sa rozhodol, lebo je to rozšírená a spoľahlivá riadiaca jednotka. Konkrétne som si vybral Arduino nano kvôli jeho malým rozmerom. Na internete sú dostupné mnohé návody a tutoriály, takže nieje problém sa z nim naučiť zaobchádzať. Na DPS sa nachádzajú 2.54 mm sockety do ktorých sa arduino nano iba zacvakne.

- **Drivere**

Krokové motory potrebujú pre svoj chod drivere. Drivere ovládajú smer otáčania motora a krok motora. Ja som sa rozhodol pre drivere A4988, keďže sú bežne dostupné a kompatibilné s krokovými motormi NEMA 17. Keďže sú drivere napájané priamo zo zroja tak som použil 25V elektrolytický kondenzátor, aby malo napätie na drivery ustálenejší priebeh. Drivere sú na doske upevnené rovnako pomocou socketou ako arduino. Motory sa k driverom pripájajú pomocou 2,54 mm pinov ktoré sa na doske nachádzajú.

- **Step down menič**

Arduino nano sa dá napájať dvoma spôsobmi. Buď cez mini USB typ B alebo cez VIN pin (Voltage in). Ja som sa rozhodol pre druhú možnosť. Tento pin sa však môže napájať napätím v rozsahu 7-12V [28]. Potreboval som tak znížiť 22.2V na minimálne 12V. Preto som sa rozhodol pre Step-down menič. Konkrétne pre typ SMD LM2596S-ADJ TO-263-5. Schéma zapojenia tohto meniča ja na obrázku 4.7.



Obr. 4.7: Step-down menič SMD LM2596S-ADJ TO-263-5 [29].

Tento menič má voliteľné výstupné napätie v rozsahu od 1,2V až do 37V. Ja som sa rozhodol pre napätie 10V. Toto napätie spadá do rozsahu napájacieho napätia VIN pinu (7 -12V). Túto hodnotu napájacieho napätia dosiahneme voľbou rezistorov R_1 a R_2 zo vzorca [29]:

$$V_{OUT} = V_{REF} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

V_{REF} je 1,23V a R_1 si zvolíme 1k Ω . Presný odpor nám potom vyjde 7130 Ω . Taký rezistor sa však nevyrába. Najbližší dostupný je rezistor s odporom 6800 Ω . S týmto rezistorom nám vychádza výstupné napätie 9,6V. Tým pádom nemusíme ani použiť rezistor C_{FF} , ktorý sa používa iba pri napätiach vyšších ako 10V. V tabuľke 4.3 sú uvedené komponenty ktoré som použil pre zapojenie tohoto meniča.

Tabuľka 4.3: Zoznam elektronických komponentov pre LM2596 – nastaviteľná verzia

| Označenie | Komponent |
|-----------|--|
| R1 | SMD rezistor 0805, 1 k Ω |
| R2 | SMD rezistor 0805, 6.8 k Ω |
| Cin | Elektrolytický kondenzátor 470 μ F / 50 V (Hitano EHR) |
| Cout | Elektrolytický kondenzátor 220 μ F / 35 V (Hitano EXR) |
| CFF | Nepoužitý (CFF nie je osadený) |
| L1 | Tlmivka 68 μ H SMD (Schmid-M SSPS1306-680) |
| D1 | Usmerňovacia dióda 1N5822 |
| U1 | Step-down menič LM2596S-ADJ TO-263-5 |

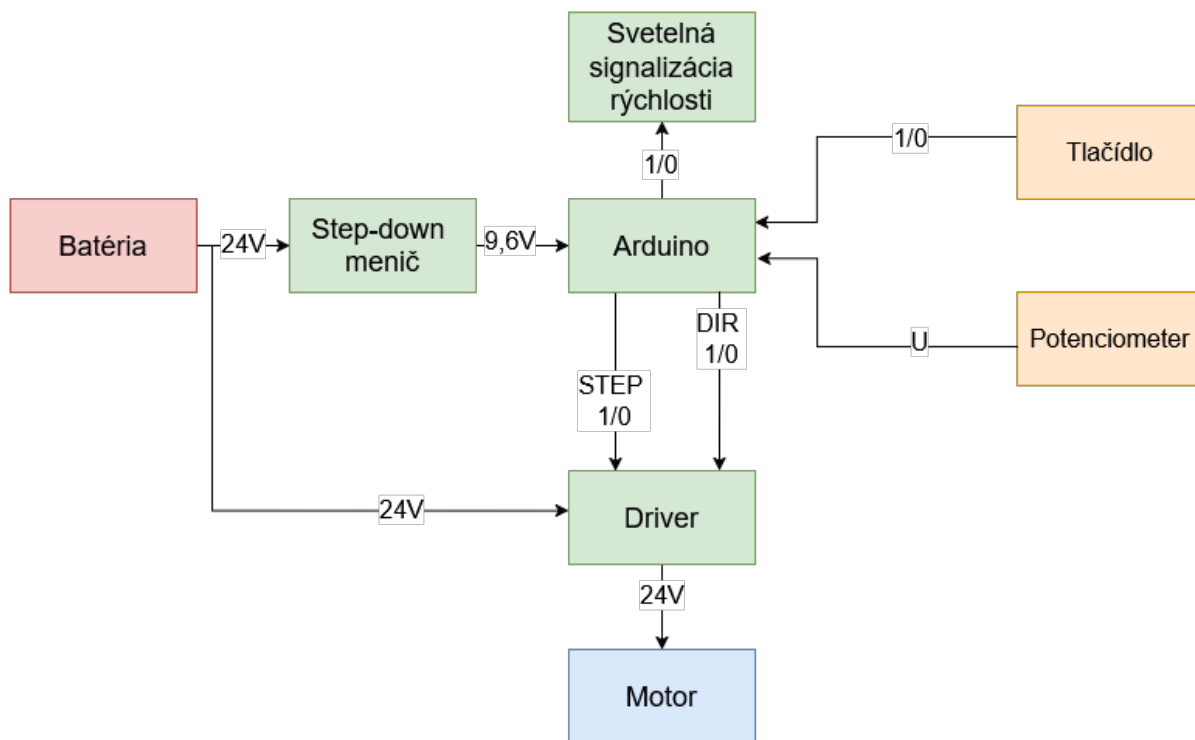
- **Svetelná signalizácia rýchlosti**

Pre zlepšenie prehľadu o aktuálnych rýchlostiach jednotlivých motorov som sa rozhodol využiť signalizáciu pomocou LED diód. Rýchlosť každého motora je indikovaná trojicou LED diód, pričom:

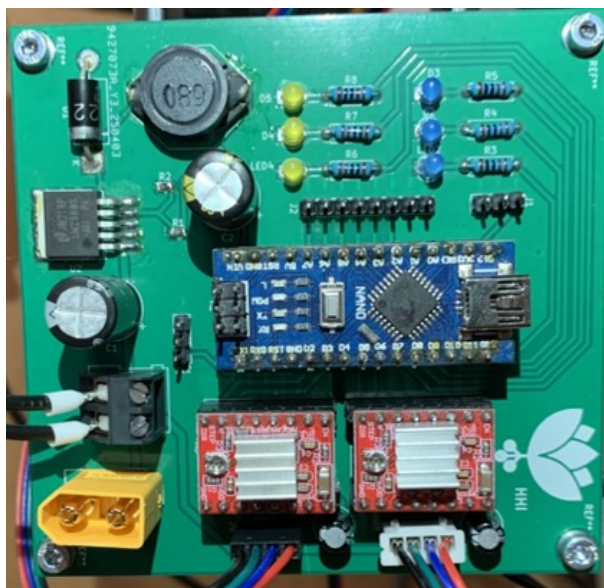
- rozsvietené tri diódy signalizujú vysokú rýchlosť motora,
- dve diódy predstavujú strednú rýchlosť,
- jedna dióda označuje nízku rýchlosť.

Týmto spôsobom je možné jednoducho vizuálne identifikovať približnú rýchlosť každého motora. Použil som 3 mm LED diódy a $1k\Omega$ THT predradný rezistor.

Na DPS-ke sa ešte nachádzajú dve $3 \times 2,54$ mm piny, ktoré umožňujú k arduino pripojiť Mechanický koncový spínač RAMPS 1.4. Tento spínač zabezpečuje maximálnu koncovú polohu, do ktorej sa teleskop môže dostať. Na doske ešte nájdeme konektor XT60 male, ktorý slúži k pripojeniu batérie. Posledným komponentom na je šrúbovací svorkovnica, kde je pripojený vypínač.



Obr. 4.8: Zjednodušená schéma zapojenia.



Obr. 4.9: Riadiaca DPS

4.3 Software

Ako programovacie prostredie som si vybral Arduino IDE. Hlavným dôvodom, prečo som si zvolil toto prostredie, je jeho kompatibilita s doskami Arduino.

Kód spracováva signály od tlačidiel a potenciometrov ovládača a následne riadi krokové motory na základe týchto vstupov. Môj kód sa skladá z nasledujúcich častí:

Deklarácia pinov

Na začiatku programu sú definované všetky použité piny:

- STEP_PIN_1, DIR_PIN_1, POT_PIN_1 – riadenie a čítanie údajov pre prvý motor,
- STEP_PIN_2, DIR_PIN_2, POT_PIN_2 – pre druhý motor,
- BTN_RIGHT_1, BTN_LEFT_1, BTN_RIGHT_2, BTN_LEFT_2 – tlačidlá na zmenu smeru otáčania,
- LED_YELLOW1-3, LED_BLUE1-3 – LED diódy na vizualizáciu rýchlosti.

Funkcia setup()

Funkcia `setup()` inicializuje všetky digitálne piny ako vstupy alebo výstupy. Tlačidlá pre druhý motor sú nastavené s interným `INPUT_PULLUP` odporom. Sériová komunikácia je spustená rýchlosťou 9600 baudov pre účely ladenia a monitorovania. Táto časť kódu slúžila predovšetkým na jeho debugovanie.

Funkcia loop()

Hlavná slučka `loop()` zabezpečuje:

1. **Čítanie vstupov:** Hodnoty z potencietrov (`analogRead()`) a tlačidiel. Tlačidlá prvého motora sa čítajú ako analógové hodnoty (stlačené, ak hodnota < 20), druhého ako digitálne (stlačené pri LOW).

2. **Mapovanie rýchlosti:** Hodnoty z potenciometrov sú mapované na časový interval medzi 7000 a 1000 mikrosekúnd pomocou funkcie `map()`. Menší čas znamená vyššiu rýchlosť.
3. **Riadenie motorov:** V závislosti od stlačených tlačidiel sa nastaví smer (`DIR_PIN`) a cez funkciu `stepMotor()` sa vyšle krokový impulz.
4. **Vizualizácia LED:** Pomocou funkcie `updateLEDs()` sa podľa zistenej rýchlosti rozsvietia príslušné LED diódy:
 - `<= 3000 µs`: svieti jedna LED (najnižšia rýchlosť),
 - `<= 5000 µs`: svietia dve LED (stredná rýchlosť),
 - `> 5000 µs`: svietia všetky tri LED (najvyššia rýchlosť).
5. **Sériový výstup:** Aktuálna hodnota oneskorenia (nepriamo rýchlosť) sa vypisuje do sériového monitora.

Pomocné funkcie

- **`stepMotor(int stepPin, int delayTime)`** – zabezpečuje vytvorenie jedného kroku krokového motora. Signál sa odošle s oneskorením `delayTime` mikrosekúnd medzi HIGH a LOW, v podstate to predstavuje pauzu medzi krokmi.

```
1 void stepMotor(int stepPin, int delayTime) {
2     digitalWrite(stepPin, HIGH);
3     delayMicroseconds(delayTime);
4     digitalWrite(stepPin, LOW);
5     delayMicroseconds(delayTime);
6 }
```

Listing 4.1: Funkcia `stepMotor()` - vytvorenie krokového signálu

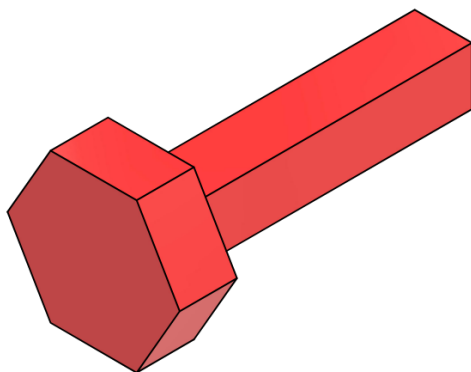
- **`updateLEDs(int speedDelay, int led1, int led2, int led3)`** – na základe rýchlosti rozhodne, ktoré LED diódy majú byť zapnuté. Slúži ako jednoduchý indikátor aktuálnej rýchlosti motora.

```
1 void updateLEDs(int speedDelay, int led1, int led2, int
2 led3) {
3     if (speedDelay <= 3000) {
4         digitalWrite(led1, HIGH);
5         digitalWrite(led2, HIGH);
6         digitalWrite(led3, HIGH);
7     } else if (speedDelay <= 5000) {
8         digitalWrite(led1, HIGH);
9         digitalWrite(led2, HIGH);
10        digitalWrite(led3, LOW);
11    } else {
12        digitalWrite(led1, HIGH);
13        digitalWrite(led2, LOW);
14        digitalWrite(led3, LOW);
15    }
```

Listing 4.2: Funkcia updateLEDs() - ovládanie LED podľa rýchlosti

4.4 Simulácia namáhania komponentov

Pri práci s 3D tlačou som sa viackrát stretol s problémom, že mi nejaký komponent praskol alebo sa zlomil. Preto som sa rozhodol overiť pevnosť komponentu 6 z obr. č. 3.10. Tento komponent prenáša krútiaci moment z planétovej prevodovky na osku.



Obr. 4.10: Komponent 6 z obrázku 3.10S

Voľba prostredia

Pre simuláciu namáhania tohto komponentu som si zvolil softvér ANSYS. ANSYS som vybral predovšetkým preto, že umožňuje import modelov z CAD softvérov. Týmto spôsobom môžem priamo nahrať svoj model z Inventoru a nemusím ho znova modelovať.

Engineering data

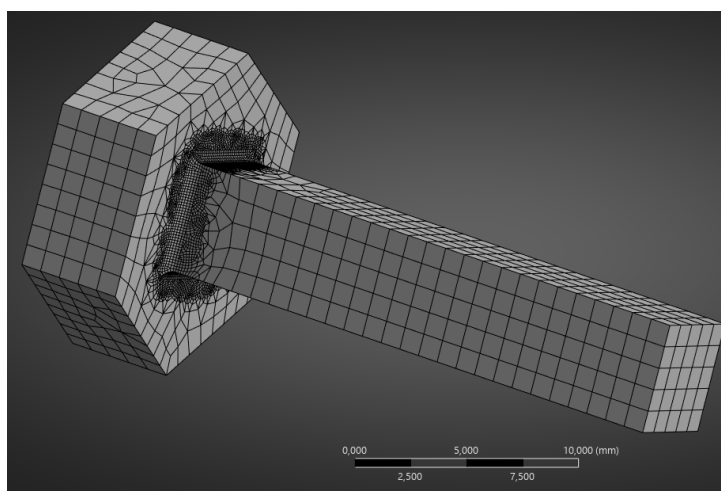
Komponent bol vyrobený z Fiberology ABS a má 100% vyplnenie. Údaje ktoré som potom zadal v záložke engineering dáta sú uvedené v tab. č. 4.4 aj z ich zdrojmi. Tieto údaje sú len orientačné, keďže na vlastnosti 3D tlačných prvkov vplýva viacero faktorov, ako napríklad použitá tryska, rýchlosť tlačenia atď.

Tabuľka 4.4: Mechanické vlastnosti materiálu Fiberology ABS (3D tlač, 100 % výplň)

| Vlastnosť | Hodnota | Zdroje |
|---|------------------------|-----------------------|
| Modul pružnosti v ťahu E | 1,75 GPa | [30] |
| Poissonovo číslo ν | 0,36 | [31] |
| Hustota ρ | 1040 kg/m ³ | [32] |
| Pevnosť v ťahu – medza klzu $\sigma_{t,y}$ | 42 MPa | [30] |
| Pevnosť v ťahu – maximálna $\sigma_{t,u}$ | 32 MPa | [32] |
| Pevnosť v tlaku – medza klzu $\sigma_{c,y}$ | 50 MPa | [31] |
| Pevnosť v tlaku – maximálna $\sigma_{c,u}$ | 65 MPa | [31] |
| Šmykový modul G | 0,64 GPa | vypočítané z E, ν |
| Objemový modul K | 2,08 GPa | vypočítané z E, ν |

Sieť konečných prvkov

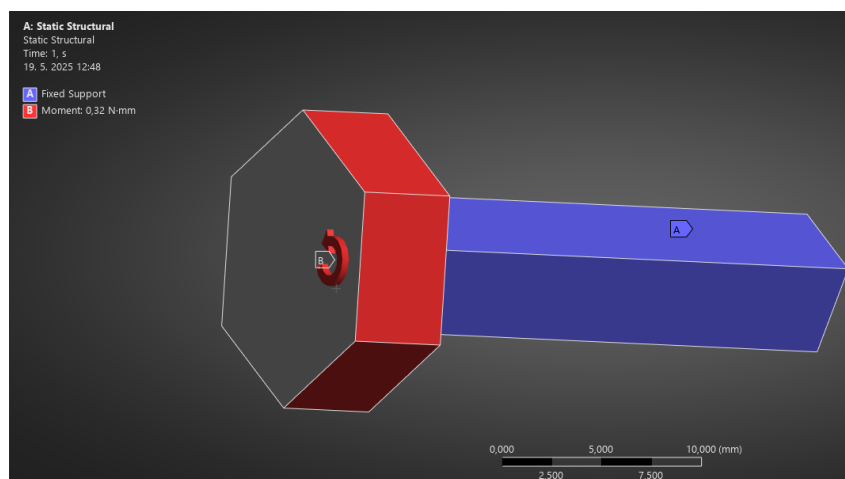
Pre čo najpresnejší výpočet som zvolil metódu Hex dominant pre celé teleso, a nastavil som veľkosť hrany elementárneho prvku na 1 mm. V rádiuse kde sa stretáva štvorcová časť komponentu s hexagonálnou plochou som veľkosť hrany prvku nastavil na 0,125 mm. V okolí 1 mm od hrán tohto rádiusu som takisto nastavil veľkosť prvku na 0,125 mm, aby bol prechod medzi sieťami plynulejší. Sieť konečných prvkov potom vyzerala ako na obrázku 4.11.



Obr. 4.11: Sieť konečných prvkov komponentu 6

Okrajové podmienky

Najväčší moment, ktorým môže byť oska zaťažaná, je zároveň aj maximálnym momentom, ktorý dokáže vyvinúť motor. Maximálny moment nášho motora je $3,2 \text{ kg/cm}$ [26]. Hexagonálna časť je umiestnená v planétovej prevodovke, zatiaľ čo štvorcová časť je pripojená k oske. Budeme teda uvažovať, že štvorcová časť komponentu je fixná, a moment pôsobí na šesť plôch hexagonálnej časti. Štyri plochy štvorcovej časti zaväzbíme tak aby mali nula stupňov voľnosti. Na šesť plôch hexagonálnej časti aplikujeme moment. Okrajové podmienky komponentu sú na obr. č. 4.12.

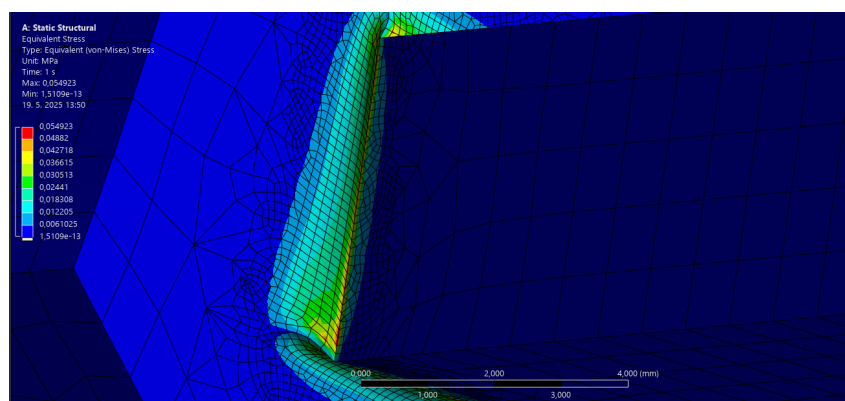


Obr. 4.12: Okrajové podmienky komponentu 6

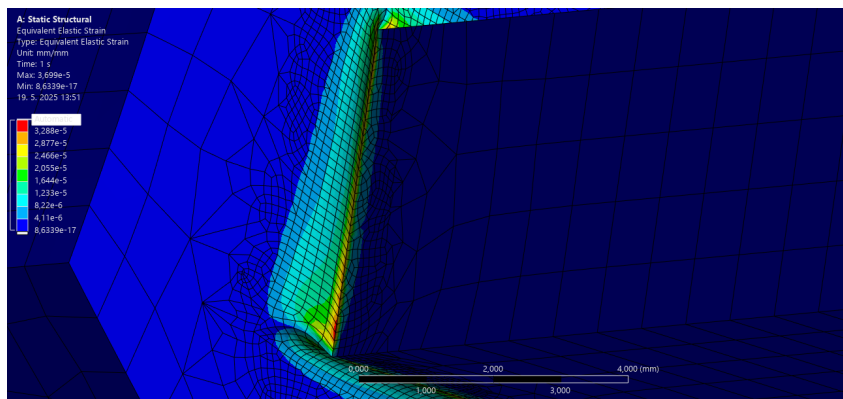
Vyhodnotenie výsledkov

Vyhodnocoval som prevažne redukované napätie podľa kritéria Von Misesa a pretvorenie taktiež podľa kritéria Von Misesa. V oboch prípadoch sa ako kritické miesto ukázal rádus medzi štvorcovou časťou telesa a bokom hexagonálnej plochy. Maximálne redukované napätie bolo $0,05 \text{ MPa}$ (obr. 4.13) a maximálne pretvorenie $3,7 \cdot 10^{-5}$ (obr. 4.14).

Stabilita vrubu sa nedá kvantifikovať pomocou redukovaných napätí. Ak by sme to kvantifikovať chceli, museli by sme použiť metódu lomovej mechaniky. Toto však presahuje rámec tejto práce a pre naše účely postačuje, že z týchto výsledkov je možné kvalitatívne identifikovať kritické miesta.



Obr. 4.13: Redukované napätie podľa podmienky Von Mises komponentu 6



Obr. 4.14: Redukované pretvorenie podľa podmienky Von Mises komponentu 6

V skutočne 3D vytlačенých komponentoch nie sú také ostré hrany ako v modeloch, takže skutočné napätie bude menšie. Nič to však nemení na tom, že toto miesto je kritické, ako je možné vidieť na obr. 4.15, kde sa mi jeden takýto komponent skutočne zlomil. Nová verzia tohto komponentu na obr. 3.12 má dlhšiu stranu štvorcovej časti aby bola odolnejšia.



Obr. 4.15: Lom komponentu 6

5 Testovanie

5.1 Overenie funkčnosti montáže

Zostrojenie

Zostavenie montáže je relatívne jednoduchý proces. Jediné komponenty v mechanickej časti, ktoré sa ťažšie montujú, sú súčiastky 11 a 12 z obr. 3.12. Pri montovaní týchto komponentov pomáha buď skrútiť skrutky (10) o 5 mm alebo rovno kúpiť kratšie. Čo sa týka balancovania, tak moja závitová tyč má približne 60 cm a ako závažie som použil hokejové puky s vyvrtanou dierou v stredu. Je možné použiť aj kratšiu závitovú tyč ale musia byť použité ťažšie závažia. Je to kompromis medzi váhou montáže a priestorom ktorý zaberá.

V elektronickej časti by nemal byť problém s pájkovaním žiadnych súčiastok. Najmenšie rezistory sú síce typu 805, ale sú od seba dostatočne vzdialené, takže by nemal byť problém ich napájkovať. Treba si dávať pozor aby sa pri pájkovaní nespojili nožičky meniča.

Motory a ovládač

Nastavovanie rýchlosti pomocou potenciometrov je funkčné. Reakcia elektromotorov na tlačidlá je bezproblémová. Je potrebné dbať na to, aby bol ovládač správne prepojený s riadiacou DPS-kou. Keď je rýchlosť elektromotora nastavená na najpomalšiu, motory môžu byť trochu hlučné. Najvýznamnejším problémom je deklinácia teleskopu. Teleskop má totiž úchyty pre vidlicu umiestnené presne v strede. Vidlica je však zahnutá, takže teleskop nie je vyvážený v osy deklinácie. Motor potom nevie teleskop úplne otočiť okolo tejto osy.

5.2 Testovanie v teréne

Pozorovanie

Montáž dokáže držať stálu polohu teleskopu bez väčších problémov. Pri maximálnych a stredných rýchlostiach motorov môže teleskop prekmitnúť požadovanú polohu. Avšak pri nižších rýchlostiach nie je problém udržiavať objekt v zornom poli.

Ak by som to mal porovnať z pôvodnou montážou tak je to zlepšenie.

Keďže batéria nemá balancer ako som spomínal v kapitole 4.2 a nechcel som ju vybiť pod kritickú úroveň, tak som pozoroval iba hodinu. S klesajúcim napätím batérie zároveň klesá aj výkon motorov, takže v osi deklinácie sa dá pohybovať stále menej. Batéria bola potom v poriadku. Myslím si že pre deti je hodinové pozorovanie dostačujúce. Pre dlhšie pozorovanie je možné si kúpiť viacej batérií a meniť ich.

5.3 Mechanická odolnosť

Pri bežnom zaobchádzaní s montážou sa zlomil len komponent 6, ktorého pevnostný výpočet sme urobili v kapitole 4.4. Čo sa týka nárazov, tak montáž je schopná prežiť občasné drgnutie. Pri páde sa ale obávam, že by to montáž neprežila.

5.4 zhodnotenie celkovej použiteľnosti

Hlavnou nevýhodou je, že teleskop nie je možné úplne otočiť okolo celej osi deklinácie. Hlučnosť motora je tiež rušivá, najmä uprostred noci, keď je okolo ticho. To by sa dalo vyriešiť kúpením kvalitnejších driverov. Na druhej strane, zameriavanie objektov na nočnej oblohe je príjemnejšie. Do budúca plánujem navrhnuť vidlicu, ktorá nie je zahnutá, aby bol teleskop lepšie vyvážený. Rovnako by som chcel pridať balancer a možno aj indikátor úrovne nabitia batérie. Táto doma vyrobená montáž je finančne výhodnejšia (viď. Cenník a obr. 2.3) oproti komerčne vyrábaným montážam podobných parametrov.



Obr. 5.1: Montáž spolu s teleskopom

6 Záver

Cielom tejto bakalárskej práce bolo navrhnuť zameriavací systém detského hvezdárskeho ďalekohľadu. Základné požiadavky na tento systém boli, aby bol funkčný, edukatívny a cenovo dostupný. Bonusom je, že si ho je možné zostrojiť doma bez nejakých väčších problémov.

V kapitole rešerš boli predstavené existujúce typy montáží. Po ich zhodnotení som si vybral nemeckú ekvatoriálnu montáž, predovšetkým z dôvodu, že ju možno jednoducho motorizovať a automatizovať.

Následne som sa zaoberal vývojom vlastného numerického modelu. Po piatich iteráciách som dospel k finálnej verzii. Okrem ložísk a spojovacieho materiálu sú všetky komponenty montáže vyrobené pomocou 3D tlače..

V ďalšej časti práce bola predstavená elektronická a softvérová časť montáže. Riadenie montáže je realizované pomocou mikrokontroléra Arduino Nano. O pohon sa starajú dva krokové motory NEMA 17. Vyrobil som aj vlastný ovládač, ktorým možno riadiť rýchlosť a smer otáčania motorov. Na riadiacej DPS sa nachádza aj LED signalizácia aktuálnej rýchlosti. Celý systém je napájaný pomocou LiPo batérie.

Keďže väčšina mechanických častí je vytlačená na 3D tlačiarňi, existuje vyššia pravdepodobnosť mechanického opotrebenia alebo poškodenia. Z tohto dôvodu bola v štvrtej kapitole vykonaná pevnostná analýza najviac namáhaného komponentu. Výsledky simulácie sa potvrdili aj v praxi, keď sa komponent poškodil presne v predpokladanom mieste.

Na záver bol vykonaný terénny test ktorý poukázal na viaceré nedostatky, ale aj vyzdvihol silné stránky montáže. Montáž by sa dala vylepšiť viacerými spôsobmi. Medzi tie najlepšie vylepšenia patria: vybalancovanie montáže v osy deklinácie, balancér pre batériu, bezdrôtový ovládač a kvalitnejšie drivere pre krokové motory.

So spomenutými vylepšeniami by sa navrhnutá montáž mohla stať reálnou alternatívou ku komerčným riešeniam. Cenovo je táto montáž dostupnejšia ako komerčné prevedenia.

Cenník

Tabuľka 6.1: Cenník použitých komponentov pre zameriavací mechanizmus

| Položka | Množstvo | Cena za kus[€] | Cena spolu[€] |
|--|----------------|---------------------------|---------------|
| Krokový motor NEMA 17 [33] | 2 | 33,03 | 66,06 |
| Arduino Nano (klon) [34] | 1 | 5,45 | 5,45 |
| A4988 driver [35] | 2 | 1,65 | 3,30 |
| Kábliky 8 vodičov [36] | 1 | 0,60 | 0,60 |
| Balenie 1206 rezistorov 660 kusov [37] | 1 | 7,90 | 7,90 |
| Zahnuté piny [38] | 1 | 0,20 | 0,40 |
| LiPo batéria 6S 2200 mAh [27] | 1 | 35,36 | 35,36 |
| Filament Prusa PLA | 1 kg | 35,00 | 35,00 |
| DPS-ky [39] | 10 | 42,36 | 42,36 |
| SMD LED 0805 [40] | 1 | 0,95 | 0,95 |
| Konektor XT60 [41] | 1 | 0,65 | 0,65 |
| Piny MALE 2,54mm [42] | 1 | 0,15 | 0,15 |
| Piny FEMALE 2,54mm [43] | 2 | 0,20 | 0,40 |
| Rezistory THT [44] | 1 balenie | 2,90 | 2,90 |
| LED-ka 3mm Modrá [45] | 3 | 0,03 | 0,09 |
| LED-ka 3mm Žltá [46] | 3 | 0,03 | 0,09 |
| Elektrolytický kondenzátor 25V [47] | 10 ks balenie | 0,09 | 0,90 |
| Káblík pre krokové motory 1 meter [47] | 2 | 1,10 | 2,20 |
| Step-down menič [48] | 1 | 0,50 | 1,00 |
| SMD rezistor 0805 1k Ω [49] | 10 ks balenie | 0,25 | 0,25 |
| SMD rezistor 0805 6.8k Ω [50] | 10 ks balenie | 0,25 | 0,25 |
| Usmerňovacie diódy [51] | 100 ks balenie | 2,95 | 2,95 |
| MTM Ložisko 6204 2RS [52] | 4 | 1,28 | 5,12 |
| Tlmivka [53] | 1 | 0,85 | 0,85 |
| Elektrolytický kondenzátor 50V [54] | 2 | 0,19 | 0,38 |
| Elektrolytický kondenzátor 35V [55] | 2 | 0,17 | 0,34 |
| Svorkovnica [56] | 1 | 0,47 | 0,47 |
| Potenciometer [57] | 2 | 1,69 | 3,38 |
| Tlačidlo [58] | 4 | 0,21 | 0,84 |
| Hmatník pre tlačidlo [59] | 4 | 0,17 | 0,68 |
| Vypínač [59] | 1 | 1,05 | 1,05 |
| Káblová priechodka [60] | 1 | 1,11 | 1,11 |
| Spojovací materiál | - | - | 15,00 |
| Hokejový puk [61] | 4 | 1,97 | 7,88 |
| Zväzkovacia špirála [62] | 1 | 5,11 | 5,11 |
| Spolu | | 251,42 (6243,- Kč) | |

Zoznam skratiek

- ABS** Acrylonitrile Butadiene Styrene – typ plastového filamentového materiálu pre 3D tlač
- AZ** Alt-Azimuth – azimutálna montáž
- AZ/EQ** Hybrid Alt-Azimuth/Equatorial Mount – hybridná montáž kombinujúca azimutálny a ekvatoriálny režim
- CEM** Center-Balanced Equatorial Mount – stredovo vyvážená ekvatoriálna montáž
- DOB** Dobsonian Mount – dobsonovská montáž (špeciálna azimutálna montáž)
- DPS** Doska plošných spojov
- EQ** Equatorial Mount – ekvatoriálna montáž
- GEM** German Equatorial Mount – nemecká ekvatoriálna montáž
- IDE** Integrated Development Environment – integrované vývojové prostredie
- LED** Light Emitting Diode – svetlo emitujúca dióda
- LiPo** Lithium-Polymer – typ dobývateľnej batérie
- PLA** Polylactic Acid – typ biologicky odbúrateľného plastu pre 3D tlač
- RAMPS** RepRap Arduino Mega Pololu Shield – ovládací modul pre 3D tlačiarne/CNC
- SMD** Surface-Mount Device – súčiastka pre povrchovú montáž
- THT** Through-Hole Technology – technológia pre súčiastky s vývodmi prechádzajúcimi cez dosku
- USB** Universal Serial Bus – univerzálna sériová zbernica

[63]

Zdroje

- [1] *Types of Mounts in Beginner Telescopes* [online]. 2023. [cit. 2025-04-20]. Dostupné z : <https://telescopicwatch.com/types-of-mounts-in-beginner-telescopes/>.
- [2] *Types of Telescope Mounts* [online]. neuvvedeno. [cit. 2025-04-21]. Dostupné z : <https://skiesandscope.com/types-of-telescope-mounts/>.
- [3] *What's the difference between an equatorial mount and an altazimuth mount?* [online]. 21.7.2023. [cit. 2025-05-03]. Dostupné z : <https://www.skyatnightmagazine.com/advice/difference-equatorial-altazimuth-mount>.
- [4] *Mount EQ3-2* [online]. 2025. [cit. 2025-05-12]. Dostupné z : <https://www.astroshop.eu/equatorial-without-goto/skywatcher-mount-eq3-2/p,16080>.
- [5] *Mount CEM60 GoTo* [online]. 2025. [cit. 2025-05-03]. Dostupné z : <https://www.astroshop.eu/equatorial-with-goto/ioptron-mount-cem60-goto/p,50024>.
- [6] *Mount AZ5 with Tripod* [online]. 2025. [cit. 2025-05-03]. Dostupné z : <https://www.astroshop.eu/alt-azimuth-without-goto/skywatcher-mount-az5-with-tripod/p,49495>.
- [7] *BRESSER StarTracker astronomická montáž - PM-100* [online]. 2025. [cit. 2025-05-03]. Dostupné z : <https://www.dalekohledy-mikroskopy.cz/p/bresser-startracker-astronomicka-montaz-pm-100-zaklad>.
- [8] *Dobson telescope N 200/1200 Skyliner Classic DOB* [online]. 2025. [cit. 2025-05-03]. Dostupné z : <https://www.astroshop.eu/telescopes/skywatcher-dobson-telescope-n-200-1200-skyliner-classic-dob/p,4440>.
- [9] *Schmidt-Cassegrain telescope SC 235/2350 NexStar Evolution 925* [online]. 2025. [cit. 2025-05-03]. Dostupné z : <https://www.astroshop.eu/telescopes/celestron-schmidt-cassegrain-telescope-sc-235-2350-nexstar-evolution-925/p,44974>.

- [10] *HF2 fork mount* [online]. 2025. [cit. 2025-05-03]. Dostupné z : <https://www.astroshop.eu/mounts/vixen-hf2-fork-mount/p,21662>.
- [11] *Fork mount for large binoculars* [online]. 2025. [cit. 2025-05-03]. Dostupné z : <https://www.astroshop.eu/mounts/omegon-fork-mount-for-large-binoculars/p,54299>.
- [12] *L-350 Direct Drive Mount* [online]. 2025. [cit. 2025-05-03]. Dostupné z : <https://www.planewave.eu/en/products/mount/1-350-direct-drive-mount>.
- [13] *Mount HEM15 iPolar* [online]. 2025. [cit. 2025-05-03]. Dostupné z : <https://www.astroshop.eu/equatorial-with-goto/ioptron-mount-hem15-ipolar/p,78997>.
- [14] *P75 - Trident Direct Friction Drive Telescope Mount* [online]. 2025. [cit. 2025-05-03]. Dostupné z : <https://www.apm-telescopes.net/en/p75-trident-direct-friction-drive-teleskop-montierung>.
- [15] *Equatorial mountings* [online]. 2011. [cit. 2025-05-03]. Dostupné z : https://vikdhillon.staff.shef.ac.uk/teaching/phy217/telescopes/phy217_tel_equatorial.html.
- [16] *Top 3 Best Telescopes for Kids: Hand-Picked by Experts* [online]. 9.10.2024. [cit. 2025-05-01]. Dostupné z : <https://vegavision.co.uk/blogs/related-blogs/best-telescopes-for-kids-hand-picked-by-experts%5C#:~:text=Kids%5CE2%5C%80%5C%99%5C%20telescopes%5C%20should%5C%20be%5C%20easy,interactive%5C%20element%5C%20that%5C%20kids%5C%20love>.
- [17] *Best Kids Telescopes* [online]. 11.3.2022. [cit. 2025-05-01]. Dostupné z : <https://astronomysource.com/best-telescopes/kids-telescopes/%5C#:~:text=or%5C%20the%5C%20National%5C%20Parks%5C%20Foundation,Avoid%5C%20these>.
- [18] *Dobson telescope N 114/500 DOB FunScope* [online]. 2025. [cit. 2025-05-03]. Dostupné z : <https://www.astroshop.eu/telescopes/orion-dobson-telescope-n-114-500-dob-funscope/p,51932>.

- [19] *Hvězdářský dalekohled Orion N 100/400 SkyScanner DOB* [online]. 2025. [cit. 2025-05-03]. Dostupné z : https://www.novedalekohledy.cz/catalog/telescopes/reflectors/view/telescope_orion_n_100_400_skyscanner_dob_art_no_23287/.
- [20] *Zhumell Z114 Portable Altazimuth Reflector Telescope* [online]. 2025. [cit. 2025-05-03]. Dostupné z : <https://zhumell.com/products/zhumell-z114-portable-altazimuth-reflector-telescope>.
- [21] *German Equatorial Mounts (GEMs) – Overview and Working* [online]. 17.6.2011. [cit. 2025-05-08]. Dostupné z : <https://astronomysource.com/german-equatorial-mount/>.
- [22] *Avalon instruments* [online]. 2025. [cit. 2025-05-12]. Dostupné z : <https://www.avalon-instruments.com/support/13-troubleshooting/104-polar-alignment-using-the-new-skywatcher-polar-scope>.
- [23] *L03: Reflector Design & Practical Use* [online]. 2021. [cit. 2025-05-12]. Dostupné z : <https://sheffield-mps.github.io/PHY241/lectures/103/>.
- [24] *Equatorial Telescope Mount* [online]. 2021. [cit. 2025-05-08]. Dostupné z : <https://sketchfab.com/3d-models/equatorial-telescope-mount-88215528b8aa47db98706c64df0fd>.
- [25] *Compact Planetary Gearbox* [online]. 2012. [cit. 2025-05-13]. Dostupné z : <https://www.thingiverse.com/thing:20884>.
- [26] *Stepper Motor: Unipolar/Bipolar, 200 Steps/Rev, 42×48mm, 4V, 1.2 A/Phase* [online]. 2025. [cit. 2025-05-17]. Dostupné z : <https://www.pololu.com/product/1200/resources>.
- [27] *Battery CNHL LiPo 6S 22.2V 2200mAh 70C XT60* [online]. 2025. [cit. 2025-05-18]. Dostupné z : <https://www.hobbydrone.cz/cnhl-lipo-6s-2200mah-70c-xt60/>.
- [28] *Powering Alternatives for Arduino Boards* [online]. 2025. [cit. 2025-05-18]. Dostupné z : <https://docs.arduino.cc/learn/electronics/power-pins/>.
- [29] *LM2596 SIMPLE SWITCHER® Power Converter: 150 kHz 3A Step-Down Voltage Regulator*. Rev. J. Texas Instruments, 2016. Dostupné tiež z: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2596.pdf>.

- [30] HAMROL, Adam; GÓRALSKI, Błażej; WICHNIAREK, Radosław; KUCZKO, Wiesław. The Natural Moisture of ABS Filament and Its Influence on the Quality of FFF Products. *Materials*. 2023, roč. 16, č. 3, s. 938. Dostupné z DOI: 10.3390/ma16030938.
- [31] *ABS (heat resistant, injection molding)* [<https://simulatentoast.files.wordpress.com/2013/03/abs-heatresistant.pdf>]. 2012. CES EduPack (Granta Design) – typical material data.
- [32] *Fiberlogy ABS Filament (850 g) - Filament2Print* [<https://filament2print.com/en/abs/2418-fiberlogy-abs-5902560993820.html>]. [B.r.]. Accessed 2024.
- [33] *STEPPER MOTOR: BIPOLAR 42x48MM 4V* [online]. 2025. [cit. 2025-05-23]. Dostupné z : <https://www.tme.eu/sk/details/pololu-1200/krokove-motory/pololu/stepper-motor-bipolar-42x48mm-4v/>.
- [34] *Arduino Nano klon s micro USB* [online]. 2025. [cit. 2025-05-23]. Dostupné z : <https://techfun.sk/produkt/arduino-nano-klon-s-micro-usb/>.
- [35] *A4988 motor driver 2A* [online]. 2025. [cit. 2025-05-23]. Dostupné z : <https://techfun.sk/produkt/a4988-motor-driver-2a/>.
- [36] *Káblíky 2/3/4/5/6/7/8 vodičov* [online]. 2025. [cit. 2025-05-23]. Dostupné z : https://techfun.sk/produkt/kabliky-2-3-4-5-6-7-8-vodicov/?attribute_pa_pocet-pinov=8-pinov.
- [37] *Balenie 1206 rezistorov 660kusov* [online]. 2025. [cit. 2025-05-23]. Dostupné z : <https://techfun.sk/produkt/balenie-1206-rezistorov-660kusov/>.
- [38] *Piny 40 kusov ZAHNUTÉ 2.54 mm 1 riadok* [online]. 2025. [cit. 2025-05-23]. Dostupné z : <https://techfun.sk/produkt/piny-40-kusov-zahnute-2-54-mm-1-riadok/>.
- [39] *2025* [online]. 2025. [cit. 2025-05-23]. Dostupné z : <https://j1cpcb.com/>.
- [40] *SMD LED 0805 rôzne varianty 10 kusov* [online]. 2025. [cit. 2025-05-23]. Dostupné z : https://techfun.sk/produkt/smd-led-0805-rozne-varianty/?attribute_pa_farba=zelená.

- [41] *Konektor XT60 samica/samec* [online]. 2025. [cit. 2025-05-23]. Dostupné z : https://techfun.sk/produkt/konektor-xt60-samica-samec/?attribute_pa_konektor=xt60-m-samec.
- [42] *Piny 40 kusov MALE 2.54 mm 1 riadok* [online]. 2025. [cit. 2025-05-23]. Dostupné z : <https://techfun.sk/produkt/piny-40-kusov-male-2-54-mm-1-riadok/>.
- [43] *Piny 40 kusov FEMALE 2.54 mm 1 riadok* [online]. 2025. [cit. 2025-05-23]. Dostupné z : <https://techfun.sk/produkt/piny-40-kusov-female-2-54-mm-1-riadok/>.
- [44] *Rezistory balenie 30 hodnôt x 20 kusov* [online]. 2025. [cit. 2025-05-23]. Dostupné z : <https://techfun.sk/produkt/rezistory-balenie-30-hodnot-x-20-kusov/>.
- [45] *LED-ka 1 kus 3mm rôzne farby* [online]. 2025. [cit. 2025-05-23]. Dostupné z : https://techfun.sk/produkt/led-ka-1-kus-3mm-rozne-farby/?attribute_pa_farba-led-ky=modra.
- [46] *LED-ka 1 kus 3mm rôzne farby* [online]. 2025. [cit. 2025-05-23]. Dostupné z : https://techfun.sk/produkt/led-ka-1-kus-3mm-rozne-farby/?attribute_pa_farba-led-ky=zlta.
- [47] *Elektrolytický kondenzátor 25V rôzne kapacity* [online]. 2025. [cit. 2025-05-23]. Dostupné z : https://techfun.sk/produkt/elektrolytickyy-kondenzator-47uf-25v/?attribute_pa_typ=47uf-balenie-10-kusov.
- [48] *Step-down menič SMD LM2596S-ADJ TO-263-5* [online]. 2025. [cit. 2025-05-23]. Dostupné z : <https://techfun.sk/produkt/step-down-menic-smd-lm2596s-adj-to-263-5/>.
- [49] *SMD rezistor 0805 rôzne varianty 10 kusov 1k* [online]. 2025. [cit. 2025-05-23]. Dostupné z : https://techfun.sk/produkt/smd-rezistor-0805-rozne-varianty-10-kusov/?attribute_pa_odpor=1k.
- [50] *SMD rezistor 0805 rôzne varianty 10 kusov 6,8k* [online]. 2025. [cit. 2025-05-23]. Dostupné z : https://techfun.sk/produkt/smd-rezistor-0805-rozne-varianty-10-kusov/?attribute_pa_odpor=6-8k.
- [51] *Balenie usmerňovacích diód 100 kusov* [online]. 2025. [cit. 2025-05-23]. Dostupné z : <https://techfun.sk/produkt/balenie-usmernovacich-diod-100-kusov/>.

- [52] *MTM Ložisko 6204 2RS* [online]. 2025. [cit. 2025-05-23]. Dostupné z : https://www.svx.sk/loziska-gufera-klinove-remene-a-prislusenstvo-62xx/lozisko-6204-2rs-20-47-14-2rs-mtm_12874/.
- [53] *SCHMID-M SSPS1306-680 tlumivka SMD* [online]. 2025. [cit. 2025-05-23]. Dostupné z : <https://www.gme.cz/v/1494500/schmid-m-ssps1306-680-tlumivka-smd>.
- [54] *HITANO CE 470u/50VT HIT-EHR 10x21 RM5 BULK elektrolytický kondenzátor* [online]. 2025. [cit. 2025-05-23]. Dostupné z : <https://www.gme.cz/v/1484943/hitano-ce-470u-50vt-hit-ehr-10x21-rm5-bulk-elektrolyticky-kondenzator>.
- [55] *HITANO CE 220u/35VIT HIT-EXR 10x16 RM5 BULK elektrolytický kondenzátor* [online]. 2025. [cit. 2025-05-23]. Dostupné z : <https://www.gme.cz/v/1486948/hitano-ce-220u-35vit-hit-exr-10x16-rm5-bulk-elektrolyticky-kondenzator>.
- [56] *AK300/2-5,0-GRAUPTR MESSTECHNIK* [online]. 2025. [cit. 2025-05-23]. Dostupné z : <https://www.tme.eu/cz/en/details/tb-5.0-k45-2p/pcb-terminal-blocks/ptr-messtechnik/ak300-2-5-0-grau/>.
- [57] *PIHER PC16SH10IP06103A2020TA potenciometr* [online]. 2025. [cit. 2025-05-23]. Dostupné z : <https://www.gme.cz/v/1485422/piher-pc16sh10ip06103a2020ta-potenciometr>.
- [58] *CONNFLY DS1041-24KKAS mikrospínač* [online]. 2025. [cit. 2025-05-23]. Dostupné z : <https://www.gme.cz/v/1502441/connfly-ds1041-24kkas-mikrospinac>.
- [59] *CONNFLY DS1011-10SBS1B7 hmatník pro spínač DS1041, O11,5mm* [online]. 2025. [cit. 2025-05-23]. Dostupné z : <https://www.gme.cz/v/1496667/connfly-ds1011-10sbs1b7-hmatnik-pro-spinac-ds1041-o115mm>.
- [60] *Káblková priechodka -32* [online]. 2025. [cit. 2025-05-23]. Dostupné z : <https://www.firn.sk/m-32-p204>.
- [61] *Puk official* [online]. 2025. [cit. 2025-05-23]. Dostupné z : <https://www.bauerhockey.cz/produkt-puk-official>.

- [62] *Zväzkovacia špirála 10m/10mm WSN 10S* [online]. 2025. [cit. 2025-05-23]. Dostupné z : <https://www.hornbach.sk/p/zvazkovacia-spirala-10m-10mm-wsn-10s/7229003/>.
- [63] ANDERSON, Brian D. O.; MOORE, John B. (John Barratt). *Optimal filtering*. 2005, s. 357. ISBN 978-0486439389.