

Szakdolgozat

Hermann Ádám Benjámín

Gépészmérnök alapszak

Gödöllő

2024

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Szent István Campus
Műszaki Intézet
Gépészmérnök alapképzési szak

**CSILLAGVIZSGÁLÓ TÁVCSŐ ÁLLVÁNYZAT STABILITÁSÁNAK
FEJLESZTÉSE GYORSULÁS MÉRÉS ALAPJÁN**

Belső konzulens: Dr. Oldal István
egyetemi docens

Készítette: **Hermann Ádám Benjámín**
B1CQNL
nappali tagozat

Tanszék: Műszaki Intézet
Gépszerkezzettani Tanszék

Gödöllő
2024

Tartalom

1. Motiváció	3
2. Bevezetés	4
2.1 Az asztrofotózás történelme.....	4
2.2 Az asztrofotózás alapismeretei	5
2.2.1 Látómező.....	6
2.2.2 Expozíció	7
2.2.3 Mechanizmus szerepe.....	8
2.2.4 A képkockák darabszáma.....	10
2.2.5 Korekciós képek a mély-ég fotózásnál.....	10
2.3 Felvételek feldolgozása	11
2.3.1 Mély-ég felvételek feldolgozása	11
2.3.2 Nap, Hold – és bolygó felvételek feldolgozása.....	11
2.4 Periodikus hiba, rezgések.....	12
2.5 Digitális kamerák működési elve.....	13
2.6 Pólus-ráállítás elve	14
3. Műszerpark bemutatása.....	15
3.1 EQ-3 Mechanizmus	15
3.1.1 Alumínium lábak.....	16
3.1.2 Kiegészítő elemek	16
3.1.3 Oszlophosszabbító	17
3.2 150/750 Skywatcher tubus	18
3.3 Canon 550D DSLR fényképezőgép	20
3.4 Műszerpark összegzése.....	21
4. Fejlesztési lehetőségek.....	22
4.1 Tartó lábak fejlesztése	23
5. Alumínium lábon álló szerkezet modellezése	24
5.1 Szerkezet tömegközéppontja	25
5.2 Alumínium tartólábak deformációja	26
5.3 Alumínium tartólábakon álló szerkezet saját frekvenciájának vizsgálata.....	27
5.4 Alumínium lábakon álló szerkezet összegzése	29
6. Acél lábak tervezése	30
6.1 Új tartóláb anyagának és geometriai paramétereinek kiválasztása	30
6.2 Szerkezet tömegközéppontja	30

6.3	Acél tartólábak deformációja	31
6.4	Acél tartólábakon álló szerkezet saját frekvenciájának vizsgálata.....	32
6.5	Acél lábakon álló szerkezet összegzése.	34
7.	Értékek összehasonlítása, kiértékelése	35
8.	Tartólábak gyakorlati tervezése és kivitelezése	36
8.1	Tartó lábak gyakorlati tervezése	36
8.2	Műanyag alkatrészek tervezése	37
8.3	Műanyag alkatrészek legyártása	40
8.4	Zártszelvények specifikációja	42
8.5	Tartólábak rögzítési furatainak és meneteinek előkészítése	42
8.6	Műanyag központosító alkatrész átszerelése és optimalizálása az új tartólábakra	43
9.	Elkészített tartólábak összegzése:.....	44
10.	Mérőműszer bemutatása	46
10.1	Wit-motion mérőműszer	46
10.2	Gyorsulásmérő működési elve	46
10.3.	Gyártó által feltüntetett gyorsulásmérő paraméterei	47
10.4	Mintavételezés	47
11.	Mérési módszer.....	48
11.1	A távcső orientációjának hatása a mérésekre	49
12.	Mérési adatok feldolgozása	50
12.1	Zajszint meghatározása.....	51
13.	A gyári és a fejlesztett láb összehasonlítása mérés alapján	52
	Konklúzió	53
	Összefoglalás	54
	Summary	55
	Felhasznált irodalom.....	56
	Ábrák és táblázatok jegyzéke.....	57
	Szakedolgozat feladatlap	59
	Hallgatói nyilatkozat	60
	Konzulensi nyilatkozat.....	61

1. Motiváció

Az elmúlt néhány évben amatőr csillagászként tevékenykedek, azonban 1 éve már asztrofotózás világát is jobban megismerve elkezdtem asztroképeket készíteni. Bár korábban is szembesültem, egy visszatérő problémával a rezgések zavaró jelenlétével, asztrofotózás során egy olyan buktatónak bizonyult, amelynek kikerülése ellehetetleníti a precíz asztroképek készítését. Szabadszemes csillagvizsgálás során a probléma akkor jelentkezett, amikor egy égitest megfigyelésekor fókuszálni szerettem volna, ekkor feltűnt, hogy már akár közepes nagyításnál a fókuszírozó használata olyan rezgéseket kelt, amelytől a precíz fókusz beállítás nem lehetséges. Asztrofotózás során viszont motoros csillagkövetés elengedhetetlen, ami tovább fokozza rezgések kialakulását. Ebben az esetben viszont az égitestek fotózása során kevésbé tiszta éles képek készülnek. További nehézség, hogy már enyhe szél hatása nagyban felerősíti a rezgéseket a szerkezeten, így tovább korlátozva az asztrofotózásra álló időt. Végso nehézség, hogy a távcső szerkezet rendkívül instabil, így az akár egy kisebb erő hatására könnyedén felborulhat, amely egész teleszkóp szerkezeti integritását sértheti.

A szakdolgozatom célja, hogy egy olyan megoldást találjak, amely a szerkezeten fellépő rezgések értékét redukálja, ezáltal a fényképek minőségét javítva, illetve, hogy növelje a szerkezet stabilitását.

A szakdolgozatom során egy mérnöki tervezés keretében, egy új alkatrészt fejlesztését, majd gyártását mutatom be. Ezek után összevetem az új, valamint a régi alkatrész használata során fellépő rezgéseket gyakorlati mérések segítségével. A konklúzió levonását követően értékelem, hogy az elvégzett módosítások milyen mértékben járultak hozzá az asztrofotózás hatékonyságának javításához.

2. Bevezetés

A következő fejezetekben az asztrofotózás világába nyerünk betekintést. Elsőként röviden áttekintjük az asztrofotózás történelmét, majd megismerkedünk az alapvető fogalmakkal és technikákkal, mint a látómező, az expozíció és a mechanizmus szerepe. Részletesen tárgyaljuk a felvételek készítésének és feldolgozásának lépéseit, beleértve a mély-ég objektumok, a Nap, a Hold és a bolygók fotózását is. Emellett foglalkozunk a digitális kamerák működési elvével, a pólus-ráállás technikájával és a periodikus hiba jelentőségével, melyek mind kulcsfontosságúak a sikeres asztrofotózáshoz.

2.1 Az asztrofotózás történelme

Az asztrofotózás eszközeinek fejlődése a 19. század közepén indult meg, amelyben elsősorban az amatőr csillagászok vállaltak kiemelkedő szerepet.

Az asztrofotózás különleges kihívásokat jelentett, mivel a halvány csillagászati objektumok rögzítéséhez nagyon hosszú expozíciókra volt szükség. Számos technológiai problémát kellett megoldani az asztrofotózás megvalósíthatósága érdekében.

A 19. század második felében az asztrofotózás egyik kulcs szereplője Henry Draper volt, aki 1872-ben elkészítette az első spektrum felvételét a Vegáról. Ugyanebben az időszakban Lewis Moris is hasonló jelentős eredményeket ért el asztrofotózás terén, valamint hozzájárult a fényképezési technikák fejlesztéséhez. (The History of Astrophotography Blog, 2019)

A 19. század végén a száraz lemezes fotográfiai eljárás lehetővé tette a hosszabb expozíciós felvételeket, amely alapvető fontosságú volt halvány égitestek megörökítéséhez (The History of Astrophotography, 2018).

20. század elején a technológia fejlődésnek köszönhetően Edward Pickerint által vezetett Harvard College Observatory elkezdte az égbolt teljes lefényképezését, ami egy hatalmas csillagászati térképhez vezetett. Világszerte megépültek a fénytörő teleszkópok és a kifinomult, nagy fényvisszaverő távcsövek, amelyeket kifejezetten fényképészeti képalkotásra terveztek (Hidden in plain sight, 2023).

A 20. század közepére már hatalmas teleszkópok kerültek megtervezésre ilyen például az 5,1 méteres Hale teleszkóp, amely az asztrofotózás korlátait feszegették (Caltech Optical Observatories, 2024).

21. század elején és ezt követve a digitális kamerák kezdtek dominálni majd a teljes uralmat átvették rövid időn belül. Az első amatőr csillagászok által alkalmazott kamerák webkamerák voltak viszont ezek csak parányi érzékelővel rendelkeztek, amelyek kevésbé érzékeny szenzorral láttak el. Az amatőr csillagászok számára nagyobb méretű digitális kamerák ekkor

elérhetetlennek bizonyultak. A digitális forradalom a hazai asztrofotózásban egészen más irányból érkezett. A gyártók által megjelenített tükörreflexes (DSLR) fényképezőgépek célközönsége nem csak a profi, de a fél-profi fotósokat is magába foglalta, valamint ezekbe már aránylag nagy méretű szenzort építettek. Ekkor már az amatőr csillagászok számára is hozzáférhetővé, valamint kedvezővé váltak ezek a digitális kamerák, mivel hasonló méretű szenzorral felszerelt profi kamerák összegének a töredékért megvásárolható volt (Szarka , Baráté , Fényes, & Tóth, 2017).

2.2 Az asztrofotózás alapismeretei

Az asztrofotózás az amatőr csillagászok körében az egyik legnagyobb ütemben fejlődő területe, amely célja elsősorban az égitestek megörökítése nem tudományos céllal véve.

Az asztrofotózás három nagyobb területre osztható a dokumentálni kívánt égitest alapján, melyek során különböző szempontoknak megfelelő felszerelés alkalmazása szükséges:

1. Asztrotájképek készítése

Az asztrotájképek célja lehet légköri képződmények (pl.: sarki fény), a Hold és környezete, Tejút, valamint csillagképek megörökítése. Az asztrofotójfotózás során a technikai eszközök kevésbé töltenek be meghatározó szerepet.

Egyszerű felszereléssel is készíthetünk látványos és egyedi asztrotájképeket, mivel egy jó pillanatot elkapva és egy jól megkomponált felvétel létrehozása is eredményes lehet. Éppen ezért a szakdolgozatomban nem foglalkozom részletesen ezzel a témával.

2. Mély-ég objektumok fotózása

Az olyan égitestek melyek a Naprendszerünkön kívül helyezkednek el mély-ég objektumoknak nevezzük, ezek sokféle formájúak, valamint méretűek lehetnek. Léteznek rendkívül kis látszó meretűek de találhatóak akár egész csillagképeket betöltő égitestek. A mély-ég objektumok közös tulajdonságuk, hogy rendkívül halványak. Ez a jellemző nagyban megnehezíti asztrofotózást folyamatát, valamint jelentős kihívások elé állítja a csillagászati felszerelést.

3. Nap, a Hold és a bolygók felszíni részleteinek megörökítése

A Naprendszerünkben fellelhető égitestek jellemzően más tulajdonsággal rendelkeznek asztrofotózás szempontjából, mint a korábban említett Naprendszeren kívül elhelyezkedő égitestek, ezáltal eltérő kihívások elé állítva műszerparkunkat. A mély-ég objektumoktól eltérően nem a gyenge fényük jelent nehézséget, hanem a felszíni apró részleteinek pontos megörökítése. A bolygók során a teljes égitest, míg a Nap és Hold esetében inkább a felszíni részletek dokumentálása jelent kihívást (Szarka , Baráté , Fényes, & Tóth, 2017).

2.2.1 Látómező

Az asztrofotózás során az egyik kulcsfontosságú alapinformáció a dokumentálni kívánt égterület nagysága más szóval a látómező.

Az elérhető látómező mértéke szoros összefüggésben áll a távcső fókuszával: minél hosszabb fókuszú eszközt alkalmazunk, annál kisebb látómezőt tudunk leképezni. A leképezett látómező mérete emellett nagy mértékben függ a kamera érzékelőjének méretétől is: minél nagyobb az érzékelő mérete, annál nagyobb látómezőt rögzít egy adott fókuszú eszközzel.

Az objektum kiválasztásakor fontos, hogy az megfelelően beleférjen a felszerelés által megszabott látómezőbe.

A távcső és kamera által leképezett látómező méretének kiszámításához az alábbi képletet használhatjuk:

$$\text{Látómező mérete (fokban)} = 2 \cdot \tan^{-1} \frac{M}{2 \cdot F_T}$$

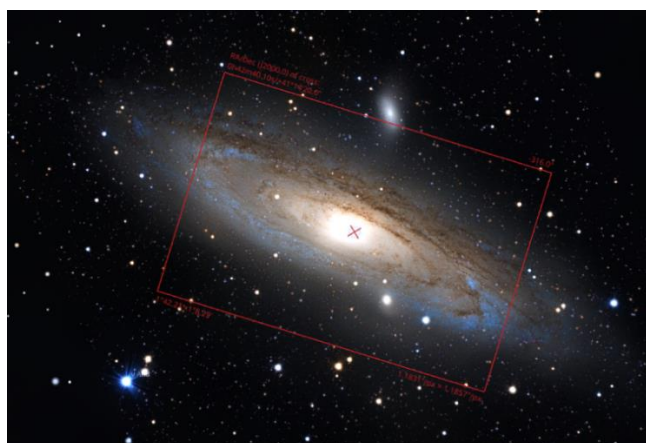
Ahol a :

- M : a kamera érzékelőjének mm-ben vett mérete
- F_T : a távcső fókusz távolsága

Az 1. ábrán a piros négyzet példaként szemlélteti, hogy a saját felszerelésem, milyen nagyságú látómezővel rendelkezik, tehát dokumentált képen megjelenő égitest mekkora látszó mérettel rendelkezik (Szarka , Baráté , Fényes, & Tóth, 2017) (Understanding Focal Length and Field of View, 2024).

1. ábra: Látómező

(Forrás: Saját szerkesztés a Stellarium programba)



A távcsővel lefedhető látómező lényegesen befolyásolja mely objektumok dokumentálásához milyen műszer szükséges. Egy szemernyi planetáris kód vagy kompakt galaxis esetében a látómező méreténél fontosabb az ideális felbontás, amelyet nagy átmérőjű távcső és a hosszú

fókusz biztosíthat. Ezzel szemben a bolygók rendkívül kis látszó átmérővel rendelkeznek, szinte minden esetben 1 ívperc alattiak (Szarka , Baráté , Fényes, & Tóth, 2017).

2.2.2 Expozíció

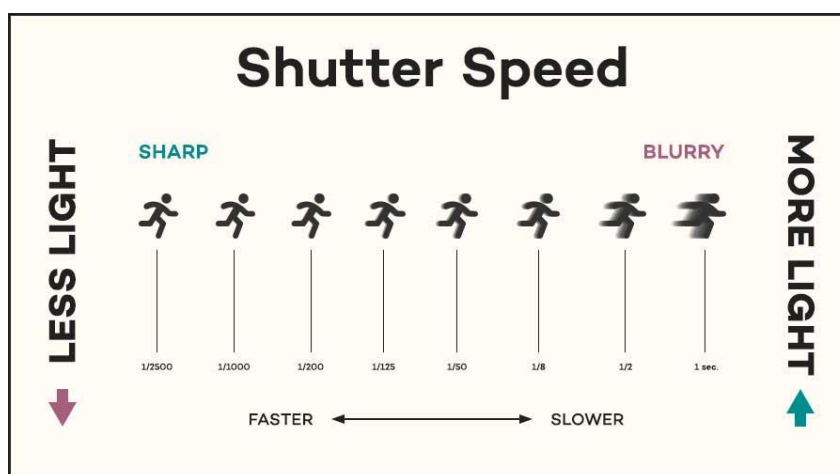
Fotográfiában az expozíciós idő azaz időtartam, amíg a fényképezőgép érzékelője ki van téve a fénynek, fénykép készítés során.

Az érzékelőre jutó fény mennyisége arányos az expozíciós idővel, tehát a 1/500 másodpercnyi expozíciós idő fele annyi fényt enged be, mint az 1/250 másodpercnyi expozíciós idő.

A 2. ábra szemlélteti, hogyan változik a fényérzékelés a különböző expozíciós idők függvényében.

2. ábra: Expozíciós idő

Forrás: (shop.mcbaincamera.com)



A dokumentálni kívánt égitest világossága alapján célszerű megállapítani az összesített expozíció időtartamát. A fényesebb objektumok egyértelműen kevesebb expozíciós időt igényelnek, míg a halványabbak több időt.

Az egyik jelentős tényező az expozíciós idő meghatározásában az égitest fényességbeli dinamikai tartománya. Előfordulhat olyan hogy kiválasztott célpont egyszerre rendelkezik rendkívül világos illetve meglehetősen halvány részekkel, ilyen például a közismert Orion-köd. Ebben az esetben célszerű mind hosszabb illetve rövidebb expozíciós idővel rögzíteni a képeket, így ugyanúgy lesz információ a fényes valamint a halvány részokről egyaránt.

A halvány mély-ég objektumok megörökítése során gyakran a hosszú expozíciós idő a legjobb megoldás az alacsony fényerősség kompenzálására. Azonban az expozíció során nemcsak az objektumról érkező fényt (jel) rögzítjük, hanem a nem kívánt zajt is, amely az érzékelő által generált háttérzajból és egyéb zavaró tényezőkből származik.

Ebből kifolyólag az ideális helyzet az, ha a lehető legtöbb fényt gyűjtjük be minimális zaj mellett, azaz a jel/zaj arány minél nagyobb.

A fényképezőgép zaj mértéke szenzoronként eltér, illetve növekszik az érzékelő hőmérsékletének emelkedésével, valamint az ISO érték emelésével (az ISO érték a digitális fényképezőgép érzékenységét jelzi).

Bolygófotózás esetében viszont rövid idő alatt a lehető legtöbb képkockát kell elkészíteni, mivel a bolygóról visszaverődő fény kellően fényes a rövid exponáláshoz, valamint a légköri nyugodtság mértéke pillanatról-pillanatra változik, másodpercenként akár többször is, így ha az expozíciós idő 0-hoz közelít, akkor minimalizálhatjuk a turbulencia hatásait. Bolygófotózásnál hatékonyabb megoldás lehet a videofelvétel készítése, amely az egyes képkockák sorozatából áll, így egybefűzve tartalmazza az állóképet. A videó fájl rögzítésekor lehető leghosszabb idejű videó esetén érünk el legideálisabb minőséget vagyis minél több képkockát rögzítünk annál jobb minőséget érünk el. Ugyanakkor a rögzítés időtartama egyes esetekben korlátozott lehet, például: Jupiter viszonylag gyors tengelye mentén való forgása 3-4 perc után észlelhető, így az ennél hosszabb videó esetén a felvétel elmosódhat. A Nap protuberancia (A protuberancia a napkoronában lebegő vagy mozgó, környezeténél sokkal sűrűbb és hűvösebb felhő) dokumentálása során 1-1,5 perc után a jelenségek elmozdulhatnak (Szarka, Baraté, Fényes, & Tóth, 2017).

2.2.3 Mechanizmus szerepe

A csillagászati távcsövek mechanikája 3 fő feladatot lát el: biztosítja a távcső stabilitását, irányítását, valamint a beállított égitest követését. Az égitestek rögzítésekor meghatározó a mechanizmus stabilitása, valamint pontossága illetve, hogy a tubus, továbbá a kiegészítő elemeket remegés mentesen rögzítse, ezen felül ellenálljon a kisebb légmozgásoknak. A Nap-, Hold és bolygó dokumentálása esetén a precíz mechanizmus kevésbé kulcsfontosságú mint a mély-égbolt fotózásnál. Rövid expozíció, valamint rövid fókusz esetén motoros mechanizmus nem feltétlen szükséges, bolygó fotózásnál, viszont az égbolt követése szempontjából célszerű alkalmazni. A mély-ég objektumok megörökítésekor a mechanizmus szerepe elengedhetetlen, ezáltal elsődlegesnek tekintendő a távcsővel szemben. Mivel rendkívül halvány égitestek hosszú expozíciós időt igényelnek, így ha mechanizmus motoros követése hiányában nem követi az objektumot, akkor ezek kimozdulni látszanak a távcsövünk látómezejéből, melyet a Földünk tengelye körüli forgása magyaráz meg. Amennyiben nem tartjuk a célponton a távcsövet megjelenítendő felvételeken nem lesznek pontszerűek az égitestek. A fentiek alapján elmondható, hogy a motoros követés nélkül szinte lehetetlen mély-ég objektumokat megörökíteni (Szarka, Baraté, Fényes, & Tóth, 2017).

A csillagászati mechanizmus két fő működési elvet különböztet meg, egyik ilyen az azimutális mechanizmus mely a függőleges valamint a vízszintes tengely mentén mozog. Ez a megoldás asztrofotózás szempontból nem a legideálisabb, mivel a megörökíteni kívánt objektum egy pont körül elfordulni fog látszani, így a végeredmény nem pontszerű lesz hanem körív.

A 3. ábra szemléltet egy egyszerű azimutális mechanizmust háromlábbon

3. ábra: Azimutális mechanizmus

Forrás: tavcsó.hu



Egy másik alternatív működési elv az ekvatoriális mechanizmus amelynek egyik tengelye párhuzamos a Föld tengelye körüli forgásával másik pedig erre merőleges.

A 4. ábra szemléltet az asztrofotósok körében egy magasabb kategóriának számító mechanizmust.

4. ábra: Ekvatoriális mechanizmus

Forrás: szolnoktavcsso.hu



A gyakorlati életben nincs tökéletes mechanizmus, összesen van valamennyi periodikus hibája, rezgése (Szarka , Baráté , Fényes, & Tóth, 2017).

2.2.4 A képkockák darabszáma

Minél több képkockát használunk, annál jobban csökkenthetjük a zajszintet és javíthatjuk a jel/zaj arányt. Ha zajszintet a meglévő felére szeretnénk csökkenteni akkor négyszer több képkockát kell megörökíteni. A képkocka feldolgozás során csak a türelmünk szab felső határt (Szarka , Baráté , Fényes, & Tóth, 2017).

2.2.5 Korekciós képek a mély-ég fotózásnál

Mély-ég fotózás során többféle korekciós képet használunk a felvételek minőségének javítása érdekében. Ezek a képek segítenek eltávolítani a nem kívánatos hibákat, amelyeket fényképezőgép vagy távcső gerjeszt. A leggyakoribb korekciós képek a következők:

- **Dark(frame):** A sötétképek magába foglalják szenzor hő hatására keletkező zajt, valamint az elektronikában keletkező zajt is. A sötét képeket átlagolva kapjuk a dark frame-et mely a későbbiekben levonásra kerül a az egyes felvételekből.
- **Flat(field):** A flat kép célja az optikai rendszer és a szenzor egyenletességéből adódó hibák, mint például a lencse torzulás, az optikai szennyeződések vagy a nem egyenletes háttér fényerősségének korrigálása.

- **Bias kép:** Digitális érzékelők esetében a pixelek alaphoz nem teljesen „feketék”; előfordulhat, hogy kezdeti „fényességük” van, még akkor is, ha nincs fénygyűjtés. A bias kép rögzíti ezt a kezdeti zajszintet és az érzékelő alapvető zaját, amelyet a későbbi feldolgozás során levonunk a képekből (Szarka , Baráté , Fényes, & Tóth, 2017).

2.3 Felvételek feldolgozása

Az asztrofotózás másik hasonlóan hosszú gyakran hosszabb időt is igénylő folyamat az utómunka mely képfeldolgozásra koncentrál. A képfeldolgozás több lépésből áll, és gyakran különböző szoftverek használatára van szükség az egyes részfeladatokhoz (Szarka , Baráté , Fényes, & Tóth, 2017).

2.3.1 Mély-ég felvételek feldolgozása

A munka első szakasza, az előfeldolgozás, viszonylag kötött lépésekből áll, amelyek célja az alapvető hibák és torzítások eltávolítása. Ezzel szemben az utómunka sokkal nagyobb teret ad a kreativitásnak, lehetőséget biztosítva a végső kép finomhangolására és a személyes stílus érvényesítésére. Az előfeldolgozás az alábbi főbb lépésekből áll:

1. Darkframe, flatfield, bias képek átlagolása, korrekciós képek feldolgozása.
2. A lightframe-ek (nyers képek, amelyek a kiválasztott égitestről készültek) korrigálása az előző lépésben előállított korrekciós képekkel.
3. Képkockák kiválasztása és Korrektúra: A legjobb minőségű képkockák kiválasztása és a gyengébben sikerült képek eltávolítása.
4. Képek egyesítése: A különböző expozíciós idővel készült felvételek egyesítése, hogy növeljük a jel/zaj arányt és javítsuk a képminőséget.

Az asztrofotók utómunka során a képek ízlésünknek megfelelően való szerkesztésére kerül sor. Ez magában foglalja a képek "görbözését", amely a fényesség és kontraszt viszonyok manipulálására szolgál. Ezen kívül a képek élesítése, a csillagok méretének és fényességének csökkentése, a színek intenzitásának és egyensúlyának módosítása, valamint a zajszűrés is része a folyamatnak. Számos szoftver áll rendelkezésre e feladatok elvégzésére; személy szerint az Adobe Photoshopot választom, amely kiemelkedő a grafikai alkalmazások között (Szarka , Baráté , Fényes, & Tóth, 2017).

2.3.2 Nap, Hold – és bolygó felvételek feldolgozása

A felvételek feldolgozása nagyban befolyásolja a kialakított végső képet, így egy kifogástalan asztrofotó érdekében elengedhetetlen. Felvételek feldolgozása során két fő szakaszt különböztetünk meg: az előfeldolgozást és az utómunkát.

Mindkét szakasz kulcsfontosságú a magas színvonalú végeredmény eléréséhez, de különböző célokat és folyamatokat foglal magában.

Az előfeldolgozás nagy vonalakban az alábbiak szerint néz ki:

1. Az egyes képkockák minőségének meghatározása, azok kiválogatása
2. Illesztési pontok meghatározása, akár automatikusan, akár manuálisan
3. A képkockák illesztése, vagyis a kamera érzékelőjén történő elmozdulás korrigálása
4. Képkockák átlagolása

Az utómunka folyamán növelhetjük a felvételek minőségét további műveletek segítségével, mint pl.: képelesítés, színekorekció (Szarka , Baraté , Fényes, & Tóth, 2017).

2.4 Periodikus hiba, rezgések

A mechanikánk egyik alapvető paramétere a periodikus hiba, amely többnyire elsőre kevesebb figyelmet kap, azonban mély-ég fotózásánál jelentős hatással van az a fénykép eredményére. A tapasztalati megfigyelések azt mutatják, hogy szinte a legdrágább mechanizmus sem képes nagyon sokáig követni az égbolton megfigyelt égitestet. Minden mechanizmus rendelkezik periodikus hibával, amely szoros összefüggésben van, a konstrukciós tervezéssel, valamint az illeszkedő alkotóelemek összeállítási pontatlanságaival.

Hosszú távú égbolt megfigyelések során a periodikus hiba a gyakorlatban is megfigyelhetővé válik, mivel a mechanizmus követési pontossága nem százszázalékos, amely így egy hosszabb expozíciós idő esetén az égitest bemozdulással nyilvánul meg. Az amatőr csillagászok által megvásárolható legkisebb periodikus hibával rendelkező mechanizmus $\pm 5''$ -al tér el az ideálistól. Az amatőr csillagászok körében gyakran használt közepkategóriás SkyWatcher esetében ez az érték $\pm 10-30$ ívmásodpercre tehető.

Asztrofotózás esetén különböző okokból rezgések generálódnak, beleértve a motorok működését, a szél hatását, fényképezés pillanatában felugró tükröt és a nem megfelelő stabilitást. Ezek a rezgések közvetlenül befolyásolják a műszerpark működését, így a periodikus hibát fokozva. Tehát a periodikus hiba egy része a rezgésekből adódik, így, ha a rezgéseket redukáljuk, úgy csökkentjük a periodikus hibát is. A periodikus hiba mérése azonban esetemben nem lehetséges, Guider kamera hiányában így ezzel közvetlenül nem fogok foglalkozni a következőkben. Mindazonáltal, mivel a rezgés és a periodikus hiba szoros összefüggésben áll, a rezgések minimalizálása segíthet javítani a mechanikai rendszer teljesítményét és a megfigyelt képek minőségét (Szarka , Baraté , Fényes, & Tóth, 2017).

2.5 Digitális kamerák működési elve

A digitális kamerák kulcsfontosságú alkotóeleme a szenzor, amely fotodiódák rácsszerű elrendezéséből áll. Ezek a fotodiódák a beérkező fényt elektronokká alakítják, amelyeket megszámlálva és kiolvasva rekonstruálható a kamerán keresztül látott felvétel. Az átalakított digitális jelet képpontnak, vagy pixeleknek nevezzük.

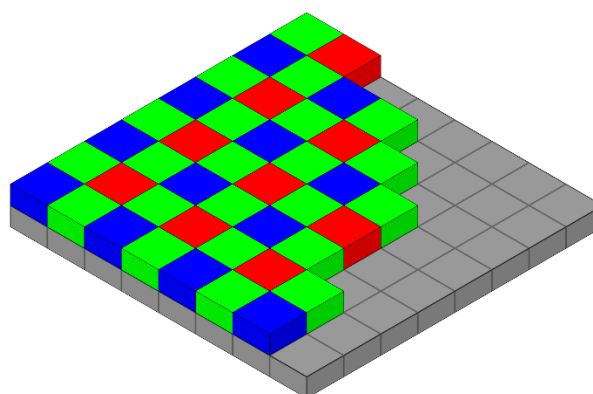
A színes képek esetében a pixelek színszűrőkkel vannak ellátva. A színszűrők általában Bayer-mátrix formájában helyezkednek el, ahol minden négy pixel közül egy piros, egy kék, és két zöld szűrő található lásd 5. ábra. Mivel a szenzor egyes pixeli kizárólag az előttük álló színszűrő színére érzékenyek, képesek mérni a ráeső fény adott színtelemtényezőjének intenzitását. Ahhoz, hogy teljes színes képet kapjunk, szükség van a másik két szín intenzitására is, amelyet debayering eljárással nyerünk el.

A debayering algoritmusok az egyes pixelekhez tartozó színtelemtényezőkből és azok szomszédos pixeleiből számolják ki a hiányzó színtelemtényezőket. Például a zöld pixel interpolálja a piros és kék színtelemtényezőket a környező pixelekből. Az algoritmusok a szomszédos pixelek színtelemtényezőit felhasználva készítenek becsléseket a hiányzó színtelemtényezőkről. A cél, hogy minden egyes pixel rendelkezzen a három színtelemtényező (piros, zöld, kék) információjával, ezáltal biztosítva a kép színpontos megjelenítését (Szarka , Baraté , Fényes, & Tóth, 2017).

Az 5. ábrán látható a Bayer szűrő felépítése.

5. ábra: Bayer szűrő felépítése

Forrás: (https://en.wikipedia.org/wiki/Bayer_filter)



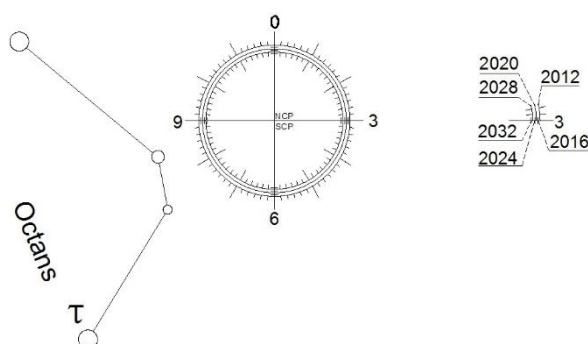
2.6 Pólus-ráállítás elve

Pólusráállítás során biztosítanunk kell, hogy a távcsövünk főtengelye merőleges legyen a Föld forgástengelyével, úgy, hogy a pólustávcsövünket a pólusra (Az égi pólus, amely körül az égitestek elfordulnak) irányítjuk. Amennyiben ez teljesül akkor a Földdel való ellentétes precíz mozgásával kiküszöbölhetjük, az égbolt látszólagos elmozdulását (Szarka , Baraté , Fényes, & Tóth, 2017).

Az 6. ábrán látható, hogyan lehet a távcsövünket a pólusra állítani a Polaris nevezetű csillag segítségével, a képen a kereszt közepén található a Föld pólusa, míg a kör a Polaris pályáját jelöli, valamint az évszámok a csillag helyzetét jelölik az adott évben.

6. ábra: Pólus távcsőben látott célkereszt

Forrás: szolnoktavcsso.hu



A pólustávcső elengedhetetlen kellék, precíz kiváló képek elérése érdekében.

3. Műszerpark bemutatása

Az általam felhasznált műszerpark több részelemből áll. Mindegyik részelemnek meghatározó szerepe van csillagászati megfigyelés, asztrofotózás során.

Műszerpark elemei:

- EQ-3 mechanizmus, és hozzá tartozó alumínium lábak, valamint a kiegészítő elemek
- 150/750 Skywatcher tubus
- Canon Camera 550D
- Oszlophosszabbító

Továbbiakban részletesen ismertetve lesznek a részegységek.

3.1 EQ-3 Mechanizmus

Az EQ-3 mechanizmus egy középkategóriás ekvatoriális mechanizmus, amely alumínium lábakon áll. A 7. ábra szemlélteti a mechanizmust a lábakkal, valamint az ellensúlyokkal.

7. ábra: Sky Watcher EQ3 alumínium lábas mechanizmus
(Forrás: *tavcsso.hu*)



Viszonylag sok extrával bővíthető a mechanizmus, ezek közül rendelkezem a pólustávcső, valamint a GoTo motoros vezérlés kiegészítőkkal.

A mechanizmus tömege: 9,3 kg (fej az ellensúllyal)

(SkyWatcher EQ3 mechanika, 2024).

Hátrányok:

Az ekvatoriális mechanizmus gyári zsírozás során felhasznált zsír minősége rendkívül silány állapotú, valamint az illeszkedések pontossága sem megfelelő. A szerkezetben felhasznált golyós, valamint sikló csapágyak alacsony minőségűek. Ezek a problémák együttesen csökkentik a stabilitást és növelik a rezgés mértékét (Szarka , Baráté , Fényes, & Tóth, 2017).

3.1.1 Alumínium lábak

Az alumínium lábak felelősek a mechanizmus, a tubus, valamint az egyes kiegészítők megtartásáért. Az állítható lábak biztosítják a szerkezet vízszint egyszerű beállítását.

A mechanizmus megtartásáért felelős alumínium lábak a korábban a 7. ábra szemlélteti.

Hátrányok:

A lábak súlypontja viszonylag magasan helyezkedik el, ami növeli a szerkezet felborulásának kockázatát. Az alacsony anyagsűrűség következtében a lábak tömege csekély, így már egy kis érintés is elegendő lehet rezgések generálására. Ezek a rezgések viszonylag lassan csillapodnak le, ami kedvezőtlenül befolyásolhatja az asztrofotók minőségét. A rezgő mozgás következtében a képek élessége és részletgazdagsága csökkenhet, ami a felvett képek tisztaságának romlásához vezethet. A hátrányokat a vásárlói vélemények és saját tapasztalatok alapján foglalmaztam meg (EQ-3 mechanika alumínium lábbal, 2024).

3.1.2 Kiegészítő elemek

Pólustávcső az Északi-sarkcsillag (Polaris) helyzetét használva segíti a távcső a pólusra való beállítását, így az órágép a lehető legpontosabban követi megfigyelt égitestet, ez a precíz asztrofotózás szempontjából szinte elengedhetetlen része a műszerparknak (Pólustávcső EQ3, EQM-35 és HEQ5 mechanikákhoz, 2024).

A 8. ábrán megtekinthető a szerkezet a pólusra való beállítást segítő pólustávcsőt.

8. ábra: Pólus távcső

Forrás: tavcsó.hu



A **GoTo rendszer** lehetővé teszi az automatikus objektum-követést és ráállást, jelentősen megkönnyítve a szabadszemes csillagászati megfigyeléseket és asztrofotózást. A készlet 2Ah léptetőmotorokkal rendelkezik, lehetővé téve a mechanizmus 0,25x-től akár 800-szoros csillagsebességet.

A 9. ábra szemlélteti a GoTo Upgrade Kit összes elemét.

9. ábra: EQ-3 GoTo Upgrade Kit

Forrás: tavcsó.hu



Bár az adatbázisában megközelítőleg 42 900 égitest található, a rendszer működtetése nem a saját adatbázissal, hanem számítógéphez csatlakoztatva a naprakész Stellarium adatbázisával történik. A rendszer 3,4 fok/másodperces sebességgel képes precízen követni az objektumokat (EQ-3 PRO GoTo Upgrade kit, 2024).

3.1.3 Oszlophosszabbító

Az oszlophosszabbítóval a mechanizmus magasabbra kerül, így a távcső mozgatása és az égbolt megfigyelése könnyebbé válik, különösen a horizont közelében. Ez hasznos lehet például akkor, ha egy Pólustávcsövet szeretnénk használni, mert így könnyebben elkerülhető, hogy a távcső mechanikai részei a háromlábhoz ütközzenek, illetve jobban hozzáférnek a kényelmes megfigyelési pozíciókhoz. Ezeket az ismeretek tapasztalataim során fedeztem fel.

Az oszlophosszabbító tömege: 2 kg

A 10. ábra szemlélteti az oszlophosszabbítót

10. ábra.: Oszlophosszabbító

Forrás: (<https://tavcso.hu/termek/PIERext5>)



3.2 150/750 Skywatcher tubus

A 11. ábrán látható távcső kiemelkedő választás lehet a kezdő csillagászok számára, mivel árához képest viszonylag nagy teljesítményt nyújt a felhasználó számára. A 15 cm átmérőjű főtükörrel rendelkező tubus, nem csupán a Hold, hanem a bolygók, valamint a mély-ég objektumok vizsgálatára is alkalmas.

11. ábra: 150/750 SkyWatcher Explorer-150P Newton tubus

Forrás: tavcso.hu



Legkisebb főtükörrel rendelkező távcső, amely színvonalasabb asztrofotózásra is alkalmas. További kiegészítőkkel akár halvány ködöket és galaxisokat is dokumentálhatunk vele. A segédtükör kevésbé kitakaró, illetve a tartólábak vékonyak (0,5 mm-esek).

Az alapfelszereltségű 2” -es Crayford fókuszírozó stabil és precíz élességállítást biztosít, valamint lehetővé teszi a kiegészítők használatát asztrofotózáshoz. A tubus hossza nem haladja meg a 70 cm-t, ami megkönnyíti a szállítást és hordozhatóságot.

Az alábbi tubus az amatőr asztrofotósok körében rendkívül kedvelt, amely a leginkább az árához viszonyított nagy teljesítménynek tudható. A távcső rendelkezik egy 150 mm-es főtükrrel, amely alkalmas akár a mély-ég objektumok megfigyelésére is. Az alapfelszereltségű 2” -es Crayford fókuszírozó stabil és precíz élességállítást biztosít, valamint lehetővé teszi a kiegészítők használatát asztrofotózáshoz. A tubus hossza nem haladja meg a 70 cm-t, ami megkönnyíti a szállítást és hordozhatóságot. (150/750 SkyWatcher Explorer-150P Newton tubus, 2024).

Az alábbiakban a 1. táblázatban feltüntettem a tubus gyártói specifikációit:

1. táblázat: 150/750 SkyWatcher Explorer-150P tulajdonságai

(Forrás: tavcsó.hu)

Tulajdonság	Érték, jellemző
Optikai felépítés	Newton
Objektív átmérő	150 mm
Fókusz	750 mm
Nyílásviszony	f/5
Segédtükr mérte	45 mm
Főtükr mérte	15 cm
Nagyítástomány	25-250x
Felbontóképesség	0,8" (ívmásodperc)
Fókuszírozó	2"
Tubus tömege	6 kg
Tubus hossza	700 mm

(150/750 SkyWatcher Explorer-150P Newton tubus, 2024)

3.3 Canon 550D DSLR fényképezőgép

Tükörreflexes fényképezőgép, nagyon jó alternatíva az asztrofotózás terén. Gyári alapállapotába a szenzor elé egy infravörös szűrőt helyeznek, amely az infravörös tartomány túlnyomó részét kiszűri. Az asztrofotózás során azonban a csillagkeletkezési régiókban, valamint a planetáris ködökben aktív a hidrogén-alfa hullámhossz-tartomány. A gyári infravörös szűrő jelentősen csökkenti a kamera érzékenységét ezen tartományon, ezért a szűrő eltávolítása elengedhetetlen a teljes spektrumú asztrofotózáshoz.

A 12. ábrán megtekinthető az asztrofotózáshoz felhasznált fényképezőgépem, valamint ezt követően a 2. táblázatban tulajdonságai láthatóak (How to Modify Your DSLR for Astrophotography, 2024), (Szarka , Baraté , Fényes, & Tóth, 2017).

12. ábra: Canon 550D DSLR fényképezőgép

Forrás: commons.wikimedia.org



A 2. táblázat szemlélteti a gyári fényképezőgép tulajdonságait:

2. táblázat: Fényképező tulajdonságai

(Forrás: canon.hu)

Jellemző	Érték
Szenzor felbontás	18,7 megapixel
Effektív felbontás	18 megapixel
Szenzor típus	CMOS
Érzékenység	auto (100-6400) / 100 / 200 / 400 / 800 / 1600 / 3200 / 6400 / 12800*
Szenzor méret	22,3 × 14,9 mm (APS-C)
Felbontások	2592 x 1728, 3456 × 2304, 5184 × 3456

(Canon EOS 550D, 2024)

3.4 Műszerpark összegzése

A tartólábak fejlesztése érdekében a teljes műszerparkot összegzem tömeg szerint, figyelembe véve a távcső főbb alkatrészeit. A tartóláb saját tömegét nem veszem figyelembe hiszen annak feladata ezen alkatrészek stabil megtartása. A távcső kiegészítő alkatrészeit szintén nem veszem számításba, mivel tömegük elenyésző, valamint azok alkalmazása nélkül is használható a távcső.

A 3. táblázat szemlélteti főbb alkatrészek tömegét, lehetővé téve későbbi pontos tervezéseket.

3. táblázat: A műszerpark főalkatrészeinek tömege

(Forrás: Saját munka)

Alkatrész	Tömeg [kg]
EQ-3 mechanizmus az ellensúllyal	9,3 kg
Oszlophosszabbító	2 kg
Tubus	6 kg
Összesen	17,3 kg

A műszerpark alapkövetelménye a működéshez, hogy a tartólábaknak minimum 17,3 kg össztömeget kell elviselniük biztonságosan, enyhe környezeti hatások mellett. Ideális esetben, tehát a kiváló asztroképek elkészítéséhez, valamint a zavartalan szabadszemes megfigyelések érdekében a tartólábakon fellépő rezgéseknek lehetőség szerint minimálisnak kell lennie.

4. Fejlesztési lehetőségek

Ebben a fejezetben ismertetem milyen fejlesztési lehetőségek jöhetnek számításba, illetve, hogy ezek közül melyek kerülnek megvalósításra.

Az asztrofotózás során a kiváló minőségű képek elérése számos kihívást tartogat. Fellelhetőek olyan akadályok, amelyeket megfelelő szakértelemmel és precíz munkavégzéssel elkerülhetünk, mint például a pontos pólusra állás, a precíz fókusz beállítása, helyszínből adódó fényszennyezés elkerülése, vagy a megfelelő expozíciós idő kiválasztása. Azonban léteznek olyan problémák is, amelyek kiküszöbölése csak a berendezések fejlesztésével lehetséges.

A korábban ismertetett periodikus hiba és a fellépő rezgések jelentős mértékben befolyásolják a képek minőségét. Ezért kézenfekvő, hogy azokat az alkatrészeket, amelyek ezeket a nem kívánatos hibákat előidézik, fejlesztésre szorulnak. Ezek az alkatrészek a következők:

- Tartó lábak
- Mechanizmus

A fent felsorolt alkatrészeket a 7. ábra szemlélteti.

Továbbiakban kizárólag a tartólábak fejlesztését fogom bemutatni, mivel a mechanizmus optimalizálása során a periodikus hiba közvetlen mérése további eszközt igényel ennek hiányában nem tudom bizonyítani számszerű adatokkal a redukált rezgések értékét. Emellett a mechanizmus optimalizálása, valamint a hozzá kapcsolódó mérési folyamatok nem férnek bele a tervezett szakdolgozatom kertébe.

4.1 Tartó lábak fejlesztése

Egy laikus számára nem feltétlen egyértelmű, hogy a tartólábak minősége milyen mértékben befolyásolja a képminőséget. Bár egy amatőr csillagász feltételezheti, hogy egy masszívabb, acélból készült állvány stabilabb alapot nyújt az asztrofotózás során, mint a könnyebb alumínium láb, és esetleg találkozhat ilyen információval a szakirodalomban vagy felhasználói véleményeknél, azonban ezek az állítások nincsenek konkrét adatokkal alátámasztva. Ezek az adatok szükségesek ahhoz, hogy pontosan bemutassák, hogyan befolyásolják az egyes állványok a rezgések nagyságát és milyen mértékben hatnak a végső képek minőségére.

Nyilvánvaló, hogy az állványzat teherbírását ne haladja meg a rászerezett elemek tömege, mivel ez veszélyeztetheti a rászerezett precíziós alkatrészek integritását és működési pontosságát. Az állványzat súlypontját lehetőség szerint minél alacsonyabban kell elhelyezkednie ezáltal csökkentve a borulás veszélyét és növelve a stabilitás mértékét. A lábak deformációjának redukálása tovább csökkenti a rezgéseket, valamint amennyiben a saját frekvencia értékét a geometria alaksajátosságok optimalizálásával növelni tudjuk, akkor a rezgések amplitúdója alacsonyabbra csökkenthető, ezáltal növelve a csillapítás mértékét.

Tehát a cél az egy olyan új tartó láb tervezése, amely következőket foglalja magába:

- **Alacsonyabb súlypont**
- **Kisebb deformáció a tartólábakon**
- **Magasabb saját frekvencia**

Az alumínium lábon álló szerkezet modellezése elengedhetetlen, mivel ez szolgál elsődleges referenciaként annak megítélésében, hogy az új lábakon álló szerkezet javulást ér-e majd el az előbb említett tulajdonságok tekintetében.

A továbbiakban bemutatom az alumínium lábak tulajdonságait, majd ezt követően egy olyan tartó láb kerül tervezésre, amely kedvezőbb jellemzőkkel rendelkezik.

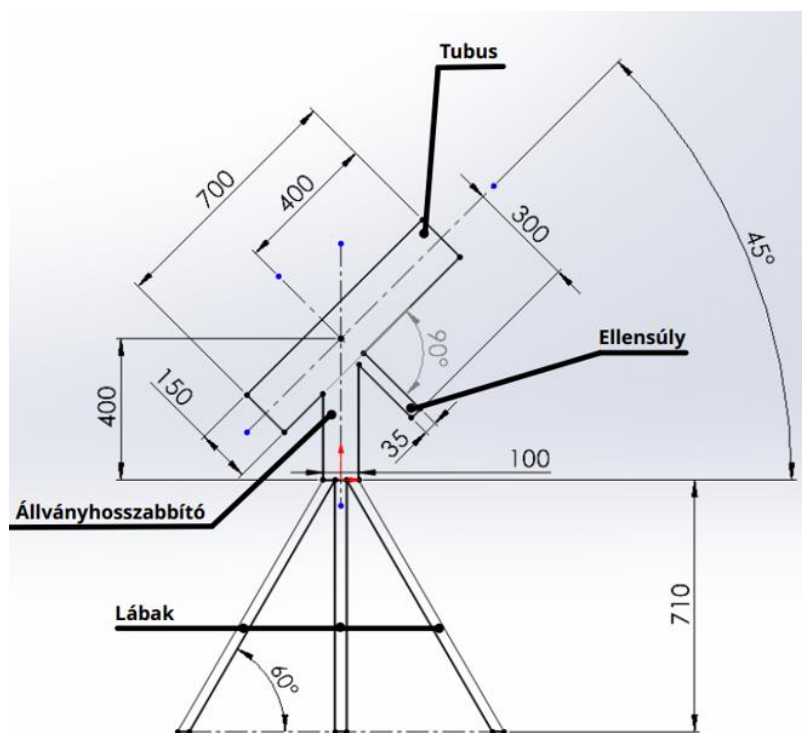
5. Alumínium lábon álló szerkezet modellezése

Ebben a részben az Ansys program segítségével szimulálom az alumínium lábbakkal felszerelt állványzat (ezt szemlélteti a 7. ábra), egyszerűsített vonal modelljét. Modellezés során ábrázolom a **súlypont elhelyezkedését**, bemutatom a **lábak deformációját**, valamint a **szerkezet saját frekvenciáját** mindezt számszerű értékekkel.

A szerkezet vázlata a 13. ábrán megtekinthető, amelyen a főbb méreteket feltüntettem, ezek után felsorolom a távcső főbb részeit, valamint a lábak pontos méretét.

13. ábra: Távcső vázlata

(Saját szerkesztés: Solidworks programban)



A szerkezet négy nagyobb részből áll:

1. Lábak
2. Oszlophosszabbító és a mechanizmus

A mechanizmust a geometriai bonyolultsága tekintetével nem rajzoltam le külön elemként, hanem az oszlophosszabbítót meghosszabbítva egy elemként tekintem. Ez a megközelítés a számított értékeket valószínűleg csak minimálisan befolyásolja.

3. Tubus
4. Ellensúly

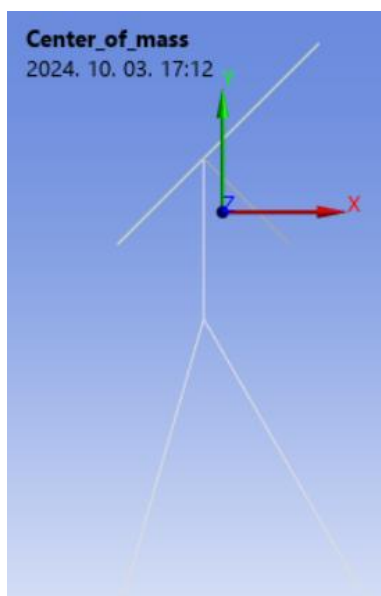
A gyári alumínium láb egy 30 x 70 mm keresztmetszetű 820 mm hosszúságú, valamint 1 mm-es falvastagságú rendelkező szelvény.

5.1 Szerkezet tömegközéppontja

A szerkezet alumínium lábai 60° -os szöget zárnak be a talajjal, míg a pólusra állás alaphelyzetében a tubus nagyjából 45° -os szöget zár be a középső tengellyel, valamint az ellensúly tengelye merőleges a tubus tengelyére.

Megadtam, az egyes elemek anyagösszetételét, és a méretek megadásával az Ansys program kiszámította a komponensek tömegét, valamint a szerkezet tömegközéppontját. A 14. ábra alapján megállapítható, hogy a tömegközéppont kifejezetten magason a szerkezethez képest függőleges (Y) irányban 973,15 mm-re helyezkedik el a talajtól, míg vízszintes (X) irányban 46,41 mm-re, valamint Z irányban közelít 0-hoz. A tömegközéppont Z irányú elhelyezkedés értéke közel 0, így ezt 0-nak tekintem

14. ábra: Alumínium lábon álló szerkezet tömegközéppontja
(Saját szerkesztés az Ansys programban)

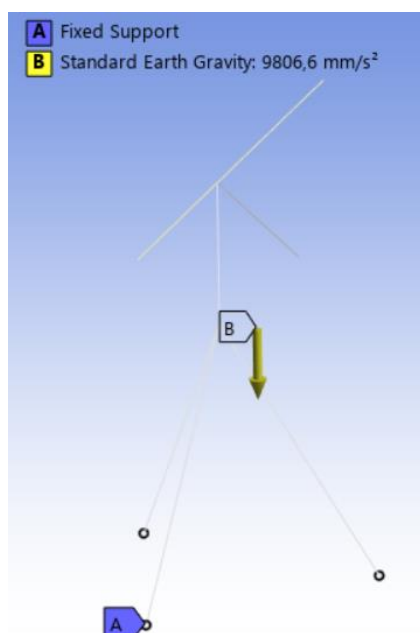


Tömegközéppont korrigálása érdekében, a lábak nagyobb szögben történő kitámasztása, valamint olyan anyag kiválasztása célszerű, amely sűrűségéből, valamint geometriai méretéből adódóan nehezebb, ezáltal ideálisabb súlyeloszlást eredményezve.

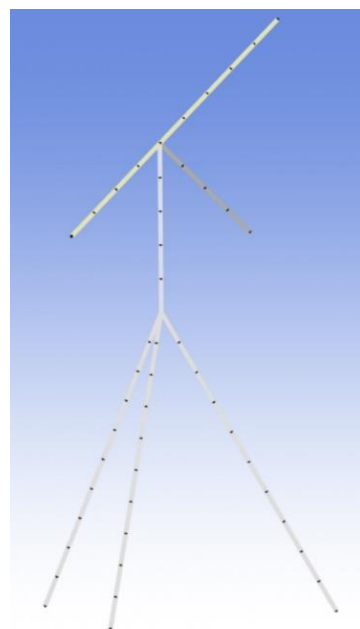
5.2 Alumínium tartólábak deformációja

A deformáció meghatározásához először definiálom a peremfeltételeket. A távcső lábait fixálom, majd a Föld gravitációs kényszert alkalmazom megfelelő irányba, amely esetünkben a -Y irány a szerkezeten, így a teleszkóp tömegéből adódó gravitációs erő határozza meg a szerkezet deformációját. A peremfeltételeket az 15.a ábrán szemléltetem a szerkezeten, a szerkezet háló modellje, pedig a 15.b ábrán látható.

15.a ábra: A szerkezeten megadott peremfeltételek
(Saját szerkesztés az Ansys programban)

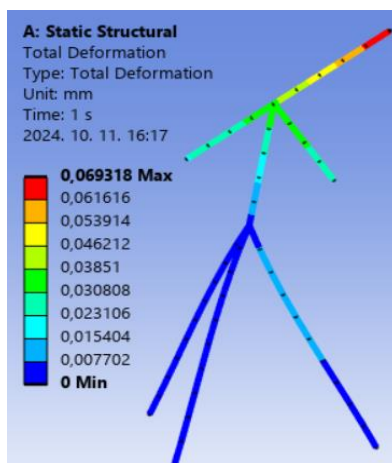


15.b ábra: Hálómodell



A korábbi tanulmányaim során szerzett ismeretek alapján, elmondható, hogy a deformációt nagyban befolyásolja a tartóláb anyagtulajdonsága, valamint a láb alaksajátossága. A távcső pólusra való ráállás helyzetében, valamint a megadott peremfeltételek mellett a tartó lábakon fellépő deformáció körülbelül: 0 – 0,015 mm között mozog, ahogy az 16. ábrán látható.

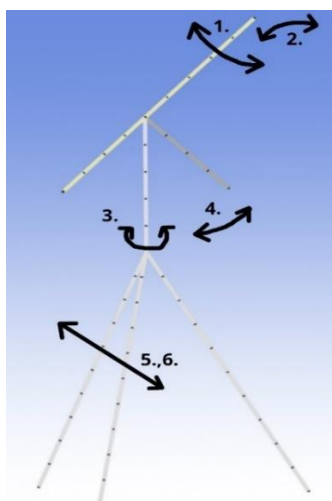
16. ábra: Alumínium lábon fellépő deformáció
(Saját szerkesztés az Ansys programban)



5.3 Alumínium tartólábakon álló szerkezet saját frekvenciájának vizsgálata.

Elméletileg a szerkezetünk saját frekvenciája összefüggésben áll a szerkezetben kialakuló rezgésekkel. Az Ansys programban azonos peremfeltételek mellett vizsgálok a szerkezet saját frekvenciáját és a hozzá tartozó értékeket. A lengésképünk során fellépő deformáció nagysága nem releváns, mivel ezek általában normált értékek, így számunkra nem bírnak jelentőséggel. Mi szempontunkból az egyes lengésképekhez tartozó frekvencia értékek lesznek relevánsak. A 17. ábrán szemléltetem a szerkezeten fellépő lengésképek irányát.

17. ábra: Lengésképek iránya
(Saját szerkesztés)



A fenti 17. ábrán szemléltetett 6 lengésképhez tartozik egy-egy frekvencia érték, amely értéke minél kisebb annál nagyobb a szerkezeten fellépő rezgések amplitúdója. Ezeket az értékeket az alábbi táblázatban párosítom a lengésképekhez.

4. táblázat: Lengésképek és a hozzájuk tartozó frekvencia értéke
(Saját szerkesztés)

Lengéskép sorszáma	Lengéskép jellemzője	Frekvencia [Hz]
1.	Oldalra hajló (távcső teteje)	16,915
2.	Előre hajló (távcső teteje)	29,278
3.	Csavaró (egész szerkezet)	42,761
4.	Láb és az oszlophosszabbító csatlakozásánál előre hajló	168,93
5.	Oldalra hajló (egész szerkezet)	175,69
6.	Oldalra hajló (egész szerkezet)	235,24

Saját frekvencia számítása során, nem csak egy értéket kapunk, hanem egyszerre többet. A későbbi elemzések során célszerű az alacsonyabb frekvenciával rendelkező lengéseket figyelembe venni, különösen azokat, amelyek nem haladják meg a későbbiekben használt mérőműszerünk sáv szélességét.

5.4 Alumínium lábakon álló szerkezet összegzése

Az 5. táblázat összefoglalja a gyári alumíniumlábal felszerelt szerkezet számított adatait, amelyek a rezgés, valamint a stabilitás szempontjából relevánsak a tervezés során. A későbbiekben a mérés során felhasznált mérőműszer maximális sávszélessége 256Hz, ezért az ennél nagyobb értékű adatokat, nem jegyzem fel.

5. táblázat: Gyári alumíniumlábas szerkezet számított paraméterei
(Saját szerkesztés)

Jellemző	Érték
Súlypont magassága	973,15 mm
Súlypont vízszintes távolsága	46,41 mm
Deformáció a lábakon	0 – 0,015 mm
1. Lengésképhez tartozó frekvencia értéke	16,915 Hz
2. Lengésképhez tartozó frekvencia értéke	29,278 Hz
3. Lengésképhez tartozó frekvencia értéke	42,761 Hz
4. Lengésképhez tartozó frekvencia értéke	168,93 Hz
5. Lengésképhez tartozó frekvencia értéke	175,69 Hz
6. Lengésképhez tartozó frekvencia értéke	235,24 Hz

6. Acél lábak tervezése

A következő modellezés során a szerkezet minden eleme a lábakon kívül változatlan marad. A lábak elhelyezkedése szempontjából annyiban változik az gyári alumínium lábtól, hogy a tartóláb és a talaj által bezárt szöget 60° -ról 45° -re csökkentem, ezáltal várható, hogy a súlypont a talajhoz közelebb fog elhelyezkedni.

6.1 Új tartóláb anyagának és geometriai paramétereinek kiválasztása

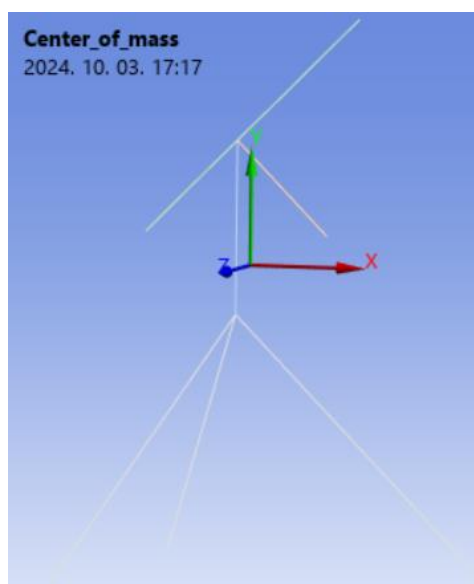
A szakirodalmi források és az online felhasználói visszajelzések alapos áttekintését követően a szerkezeti acél alkalmazása mellett döntöttem az új lábak anyagának kiválasztásakor. Jelen esetben horganyzott acélt alkalmazok az új lábak megalkotásához, amely csupán felületkezelésében különbözik a szerkezeti acéltól.

Az új tartóláb geometriáját a rendelkezésre álló anyagok alapján választottam ki. A 60×60 mm-es keresztmetszetű zártszelvény, 2 mm-es falvastagsággal megfelelőnek bizonyult a feladat szempontjából, így ezt ideálisnak tartottam a feladatra.

6.2 Szerkezet tömegközéppontja

Az új tömegközéppont a talajhoz közelebbre helyezkedik el, 973,15 mm-ről 692,8 mm-re csökkent. Ezen kívül, az x-tengely mentén is közelebb került a tömegközéppont a középvonalhoz (46,4 mm-ről 33,5 mm-re), ami tovább fokozza a stabilitást. A 18. ábrán látható a szerkezet tömegközéppontjának elhelyezkedése.

18. ábra: Acél lábon álló szerkezet tömegközéppont elhelyezkedése.
(Saját szerkesztés az Ansys programban)

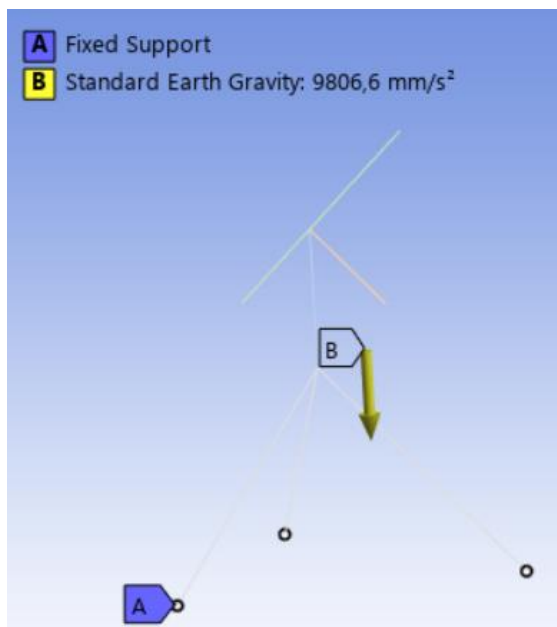


A gravitációs erők most jobban kiegyensúlyozzák a szerkezetet, mind függőlegesen, mind vízszintesen, így a távcső kevésbé érzékeny a szélre és egyéb külső erőhatásokra.

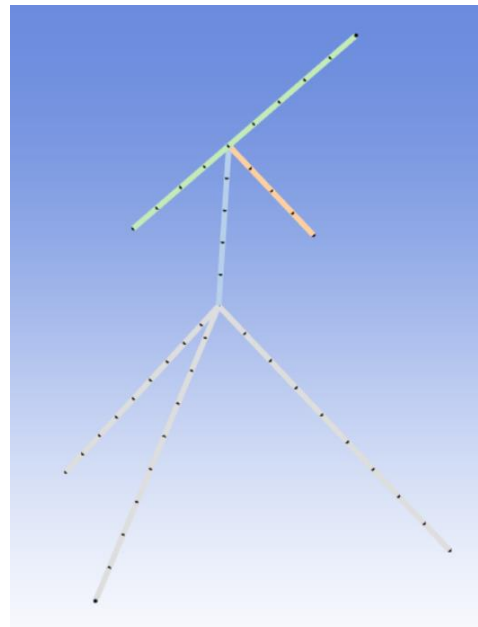
6.3 Acél tartólábak deformációja

Az acél lábon álló szerkezet peremfeltételei ugyanazok, mint a korábban vizsgált alumínium lábon álló szerkezet peremfeltételei, ezt a 19. a ábra is szemlélteti. A szerkezet hálómoddellje a 19. b ábrán megtekinthető.

19.a ábra: Acél lábon álló szerkezet peremfeltételei
(Saját szerkesztés az Ansys programban)



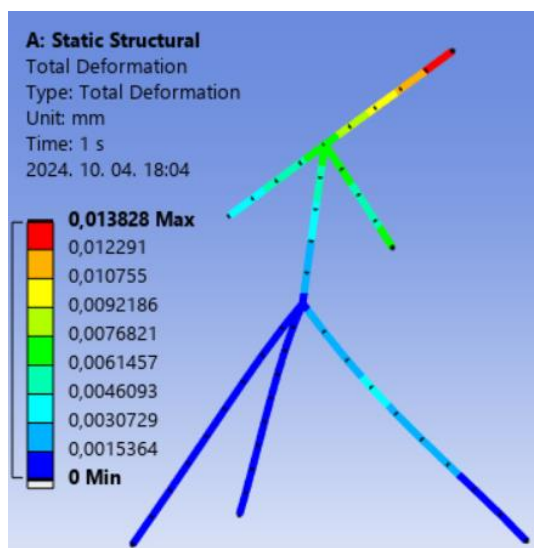
19.b ábra: Hálómoddell



Az új tartólábak alkalmazása során látható, hogy nagyobb területen oszlik el a deformáció, ennek a valószínűsíthető oka a jobban szétnyitott lábak, vagyis a nagyobb területet lefedő tartószerkezet. Tehát feljegyezhető, hogy a lábak szögeinek megváltoztatása nem csak a súlypontra van hatással, hanem a deformáció eloszlására is.

Az egyes lábakon keletkező deformáció kisebb lesz, amelynek feltételezhető oka, az alumíniumtól eltérő folyáshatár, valamint, hogy a terhelés nem csak egy szűk területen összpontosul, hanem szélesebben eloszlik. Ezt a megállapítást a 16. ábra és a 20. ábra összehasonlításából vontam le. A számított deformáció a lábakon 0 – 0,0046 mm közötti értékek, amelyet a 20. ábra is bemutat.

20. ábra: Acél lábon fellépő deformáció
(Saját szerkesztés az Ansys programban)



Ez az érték jelentősebb kisebb, mint az alumínium lábak esetében tapasztalt deformáció.

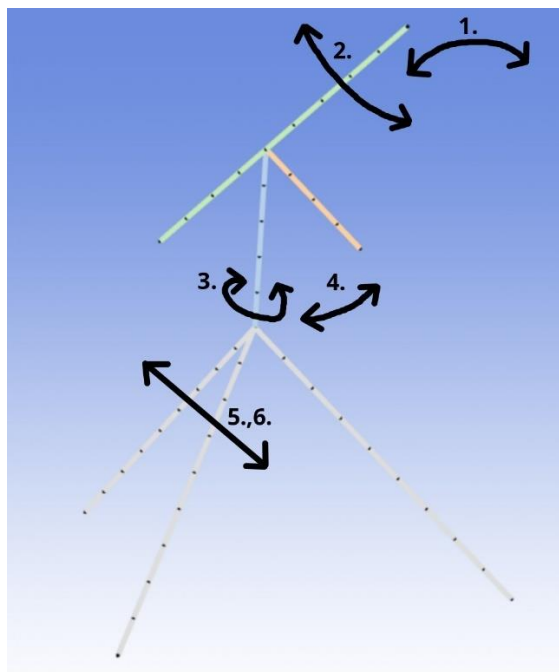
6.4 Acél tartólábakon álló szerkezet saját frekvenciájának vizsgálata.

Saját frekvencia vizsgálatokor továbbra is irreleváns a lengéskép során fellépő deformáció nagysága, így ezeket nem veszem figyelembe.

Megfigyelhető, hogy az egyes lengésképekhez tartozó számított frekvencia értékek jelentősen nagyobbak, mint az alumínium lábaknál. Tehát elmondható, hogy a szerkezeten fellépő rezgések amplitúdója az acél láb alkalmazásával elméletileg jelentősen csökkennie kell.

A 21. ábrán megfigyelhető az egyes lengésképhez tartozó irányok a szerkezeten.

21. ábra: Acél lábon álló szerkezeten fellépő lengésképek iránya
(Saját szerkesztés)



A következő 6. táblázat leírja az egyes lengésképek jellemzőit, valamint a hozzá tartozó frekvencia értékét.

6. táblázat: Lengésképek és a hozzájuk tartozó frekvencia értéke
(Saját szerkesztés)

Lengéskép sorszáma	Lengéskép jellemzője	Frekvencia [Hz]
1.	Előre hajló (távcső teteje)	70,372
2.	Oldalra hajló (távcső teteje)	71,42
3.	Csavaró (egész szerkezet)	157,93
4.	Láb és az oszlophosszabbító csatlakozásánál előre hajló	334,13
5.	Oldalra hajló (egész szerkezet)	395,16
6.	Oldalra hajló (egész szerkezet)	437,68

6.5 Acél lábakon álló szerkezet összegzése.

A 6. táblázatban látható, hogy csak az első 3 lengésképhez tartozó értékek nem haladják meg a mérőműszer maximális sávszélesség 256 Hz határértéket, ezért csak ezeket az értékeket jegyzem fel az összegzés során.

A 7. táblázat összefoglalja az acéltartólábakkal rendelkező szerkezet számított adatait, amelyek a rezgés, valamint a stabilitás szempontjából relevánsak.

7. táblázat: Acél lábon álló szerkezet számított paraméterei
(Saját szerkesztés)

Jellemző	Érték
Súlypont magassága	692,8 mm
Súlypont vízszintes távolsága	33,5 mm
Deformáció a lábakon	0 – 0,0046 mm
1. Lengésképhez tartozó frekvencia értéke	70,372 Hz
2. Lengésképhez tartozó frekvencia értéke	71,42 Hz
3. Lengésképhez tartozó frekvencia értéke	157,93 Hz

Az elvártaknak megfelelően kedvezőbb értékek születtek, amelyeket a következő fejezetben kiértékelek.

7. Értékek összehasonlítása, kiértékelése

Az egyes lábakhoz tartozó, valamint a javulási számított értékeket a 8. táblázatban összehasonlítva láthatjuk.

8. táblázat: Alumínium és acél tartólábak vizsgált paramétereinek összehasonlítása
(Saját szerkesztés)

Jellemző	Alumínium láb	Acél láb
Súlypont magassága	973,15 mm	692,8 mm
Súlypont vízszintes távolsága	46,4 mm	33,5 mm
Deformáció a lábakon	0 – 0,015 mm	0 – 0,0046 mm
1. Lengésképhez tartozó frekvencia értéke	16,915 Hz	70,372 Hz
2. Lengésképhez tartozó frekvencia értéke	29,278 Hz	71,42 Hz
3. Lengésképhez tartozó frekvencia értéke	42,761 Hz	157,93 Hz

Az új acél lábat kiértékelve:

- Súlypont koordinátája 280,3 mm-el közelebb került a földhöz, valamint vízszintes távolsága 12,9 mm-el csökkent. Ez a stabilitás szempontjából mindenképp javulást eredményez, valamint közre játszik a deformáció eloszlásában is.
- A deformáció a lábakon 3,26-szor kisebb értéket mutat, valamint a deformáció eloszlása is nagyobb területen oszlik el, amely elméletileg a rezgéscsillapítás javulását eredményezi.
- A 3 lengésképhez tartozó saját frekvenciák értéke mindegyik esetben több mint a duplájára nőtt az alumínium lábhoz képest, tehát a rezgések amplitúdója várhatóan kisebb lesz.

Az új tartó lábak tervezése, tehát sikeresnek mondható a számított adatok alapján. Az új acél lábak használatával jelentős javulást érhetünk el a rezgések csökkentése terén, ami hozzájárul az élesebb képek készítéséhez. Következtetések levonása után az acél lábak gyártása megkezdődhet.

8. Tartólábak gyakorlati tervezése és kivitelezése

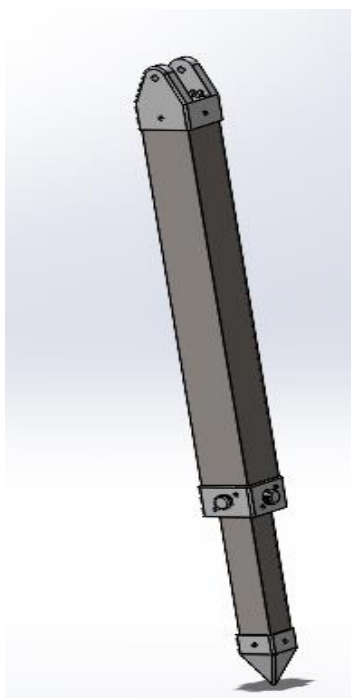
Első lépésként az új tartólábak tervezését Solidworksban végzem el teljes összeszerelésig, illetve a tartó műanyag rögzítő elem teherbírását Ansysban modellezem. Ezt követően a műanyag alkatrészek 3D nyomtatással kerülnek előállításra. Végül beszerzésre kerülnek a horganyzott zártszelvények és a csavarok, amelyek a végső összeszereléshez szükségesek.

8.1 Tartó lábak gyakorlati tervezése

A lábak Ansys-ben történő modellezését követően a terveket SolidWorks-ben is elkészítem, hogy a szerkezet gyakorlati megjelenését is megvizsgáljam.

A szerkezet pólusra állításakor elengedhetetlen a vízszint pontos beállítása, ezért a lábak mérete állíthatónak kell lennie. A lábakat egy 60 x 60x 750 mm-es zártszelvényből készítem, amelybe egy 40 x 40x 300 mm-es zártszelvény illeszkedik. A szelvények falvastagsága mindkét lábnál 2 mm. A zártszelvények egymáshoz való rögzítését, csillagmarkolatos csavarokkal lehet megvalósítani, lehetővé téve a vízszint egyszerű és precíz beállítását. A tervezett láb gyakorlati megjelenése a 22. ábrán látható.

22. ábra: Acél láb gyakorlati megjelenése
(Saját szerkesztés a SolidWorks programban)



8.2 Műanyag alkatrészek tervezése

Ebben a fejezetben 3 különböző műanyag alkatrész tervezésének bemutatása történik, amelyek elengedhetetlenek a szerkezet stabilitása, funkcionalitása és a rögzítése szempontjából

1. Bilincs:

A menet hosszabbításának érdekében egy olyan bilincset terveztem, amely 5 mm-el megnöveli a menet hosszát. Ez a bilincs a nagyobb zártszelvényre van rögzítve. Mivel a zártszelvények falvastagsága mindössze 2 mm, a műanyag bilincset alkalmazva 7 mm menet áll rendelkezésre, elősegítve a csavarok megfelelő rögzítési feladatát.

2. Lábfej:

A lábak végére egy csúcsos kialakítású lábfej kerül, amely biztosítja, hogy a szerkezet kissé befűrődjön a talajba. Ez a megoldás hozzájárul a szerkezet stabilitásának növeléséhez.

3. Rögzítő alkatrész:

A láb elejére egy rögzítési alkatrész kerül tervezésre, amely lehetővé teszi a mechanizmus csatlakoztatását a lábakhoz. Az alábbi műanyag alkatrészt az Ansys programban is modellezem, teherbíróképesség szempontjából. A tervezett láb 45° -os szöget zár be a talaj síkjával, így, ha vízszintben áll a szerkezet akkor szintén 45° -os szöget zár be a láb a mechanizmussal a rögzítési pontnál. A műanyag alkatrészt (Plastic, ABS high impact) anyagtulajdonságával rendelkezik, míg a csavart szerkezeti acélként adom meg. Ebből adódóan megállapítható az alkatrészek tömegéből származó gravitációs erő iránya és intenzitása, amelyeket a továbbiakban részletesen bemutatok.

Modellezés során a meghatározandó peremfeltételek a következők:

- **Rögzítési pontok:** A szelvény és a műanyag alkatrész között, *Fixed support* parancs segítségével fixálom az egyes felületeket, amelyet a 23. ábra szemléltet.
- **Erő iránya és nagysága:** A szerkezet tömegéből adódó erő nagysága, az iránya pedig a láb és rögzítési pont által bezárt szög alapján a következő:

Összesen 17,3 kg-ot kell elviselni a tartólábaknak vagyis egy lábra jutó teher körülbelül 5,76 kg, ami nagyjából 57,6 N erőnek felel meg. Az erő iránya a talaj fele mutat, amely Ansys programban az esetünkben Z iránytól 45°-ra Y irányba áll, ahogy ezt a 23. ábra mutatja. Amennyiben a programban a komponensek megadásával szeretném megadni az erők nagyságát, akkor ki kell számítani az egyes komponensekre eső erők értékét. Mivel a két erő merőleges egymásra ez esetben Pitagorasz-tétel alkalmazásával kiszámítható az egyes komponensekre eső erők értéke.

$$F_{\text{egyláb}} = \sqrt{F_y^2 + F_z^2}; F_y = F_z$$

$$57,6 = \sqrt{2F_{y,z}^2}$$

$$3317,76 = 2F_{y,z}^2$$

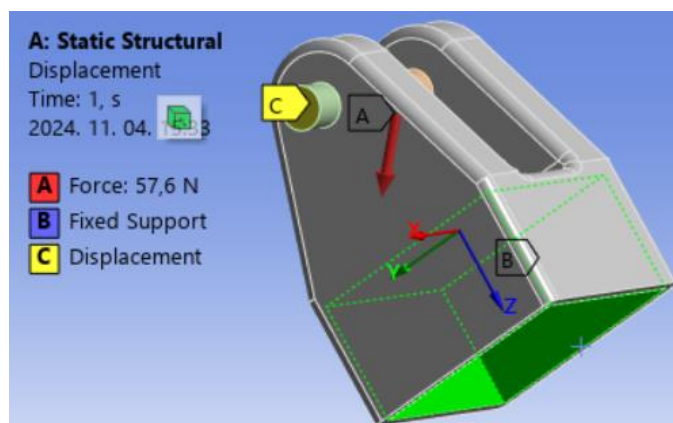
$$F_{y,z} = \sqrt{1658,88}$$

$$F_{y,z} \approx 40,729 \text{ N}$$

- **Csavar elmozdulásának korlátozása:** *Displacement* parancs segítségével a csavar elmozdulását korlátozom az x, y és z irányban, tehát 0-ra állítom az egyes komponensekhez tartozó értékeket.

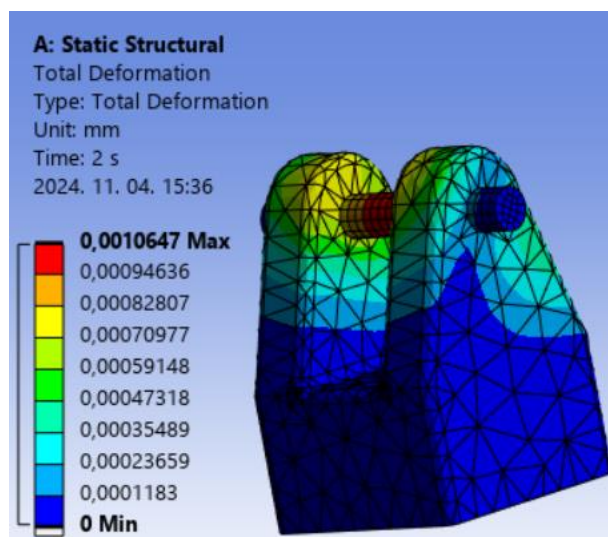
A 23. ábrán a peremfeltételek kerülnek szemléltetésre, ahol a zöld színnel jelölt felületre alátámasztást (*Fixed support*) alkalmaztam.

23. ábra: Rögzítő elemen megadott peremfeltételek
(Saját szerkesztés az Ansys programban)



Megadva a tömegből származtatott erőt, valamint annak irányát látható, hogy a műanyagon fellépő deformáció elenyésző, amely arra adhat következtetést, hogy az elviselt tömeg nem közelíti meg a műanyag teherbíróképességét. Az elemzés alapján megállapítható, hogy tervezett alkatrész biztonsággal képes elviselni ráható terhelést. A 24. ábra szemlélteti a szimuláció során mért deformációkat.

24. ábra: Műanyag alkatrészen fellépő deformáció
(Saját szerkesztés az Ansys programban)



A műanyag alkatrészek tervezése során a furatok méretét az előfúrásnak megfelelően határozom meg, így elkerülhető a külön előfúrás a későbbiekben. A szelvények kifúrásakor az alkatrészeket közvetlenül a szelvényre helyezve elvégezhető a fúrás, amely lehetővé teszi a furatok pontos elhelyezését előzetes mérések nélkül.

8.3 Műanyag alkatrészek legyártása

Az alkatrészek legyártása az Elego Neptune 3 Pro 3D nyomtatóval történik, amely a 25. ábrán látható.

25. ábra: Elego Neptune 3 Pro 3D nyomtató

Forrás: emag.hu



Az alkalmazott műanyag típus a Hyper PLA Black, amelynek a szakítószilárdság, valamint hajlítószilárdság értékei valamennyivel magasabbak, mint az Ansys-ban modellezett műanyag, ezáltal is bebiztosítva a teherbírását. A 26. ábrán látható a nyomtatáshoz felhasznált műanyag.

26. ábra: Hyper PLA Black műanyag

Forrás: eu.elegoo.com



A gyártó által feltüntetett műanyag specifikációi a következő 9. táblázatban látható:

9. táblázat: Műanyag tulajdonságai

Forrás: eu.elegoo.com (2024.09.23)

Tulajdonság	Érték
Sűrűség	1,25 g/cm ³
Rockwell keménység	88
Szakítószilárdság	> 60MPa
Hajlítószilárdság	76MPa

Mindhárom műanyag alkatrész nyomtatása során a nyomtatási sűrűséget **100%-ra** állítom be annak érdekében, hogy a maximális szakítószilárdságot és hajlítószilárdságot érjek el. A nyomtatási pontosságot **finom** beállításra választom, hogy precíz és részletes eredményt kapjak. Alátámasztást nem igényel egyik alkatrész sem a nyomtatás során.

A műanyag megrendelése előtt célszerű meghatározni, a nyomtatáshoz szükséges anyagmennyiséget. Az alkatrészek tömegének és darabszámának figyelembevételével a 10. táblázatban összesítettem a szükséges műanyag tömegét:

10. táblázat: Műanyag alkatrészek összegzése

(Saját szerkesztés)

Alkatrész	Darabszám	Egy lábhoz tartozó műanyag alkatrész tömege [g]	Össztömeg [g]
Lábfej	3	74	222
Rögzítő elem	3	143	429
Bilincs	3	42	126
Összesen	9	259	777

A számítások alapján a szükséges műanyag össztömege **777 g**, így az **1 kg-os** kiserelésben elérhető Hyper PLA Black nevezetű műanyag elegendő lesz az alkatrészek legyártásához.

8.4 Zártszelvények specifikációja

Az új tartólábak kialakításához az alábbi zártszelvények szükségesek. A 11. táblázatban szereplő mennyiségek tartalmazzák a felhasznált anyagok típusát, méreteit, valamint a szükséges mennyiséget.

11. táblázat: Zártszelvény anyag- és méret táblázata
(Forrás: Saját szerkesztés, vasanyag.hu)

Szelvény típusa	Acél minősége	Falvastagság [mm]	Méret [mm]	Mennyiség [db]	Összes hossz [m]
Horganyzott zártszelvény	S235JRH	2	60 x 60 x 750	3	2,25
Horganyzott zártszelvény	S235JRH	2	40 x 40 x 300	3	0,9

Az S235JRH acél kiváló mechanikai tulajdonságokkal bír, folyáshatára 235 MPa, amely megfelelően biztosítja a feladat ellátásához szükséges követelményeket. A horganyzott bevonat tartós korrózióvédelmet biztosít, így a kedvezőtlen környezeti hatásoknak kitéve is hosszú élettartamot garantál (Horganyzott zártszelvény, 2024).

8.5 Tartólábak rögzítési furatainak és meneteinek előkészítése

Műanyag a zártszelvényhez való rögzítéséhez M5-ös csillag csavarokat alkalmazok, míg a két zártszelvény közötti rögzítést pedig M8-as csillagmarkolatos csavarokkal valósítom meg.

Az alábbiakban részletezem a furatok és menetek elkészítésének folyamatát.

Előfúrás:

Választott szerszámgép: POWERWORKS PD24DD60K2

- Fordulatszám határok: 0 – 1800 min⁻¹
- Befogási mód: a tokmányába

Szerszám típusa: Hengeres csigafúró, HSS-R DIN338

Fúrasi átmérők:

- M5-ös menetekhez: 4 mm-es fúrószár
- M8-as menetekhez: 6.5 mm-es fúrószár

Menetfúrás:

A menetfúrás kézzel történik egy Nr. WU8832050 típusú menetfúróval. A menetkészítés során az alábbi paramétereket alkalmazom:

- M5-ös menetek: M5 x 0.8 mm
- M8-as menetek: M8 x 1.25 mm

8.6 Műanyag központosító alkatrész átszerelése és optimalizálása az új tartólábakra

Az alumínium háromlábú állványról leszerelt műanyag központosító alkatrészt áthelyezem az új zártszelvény tartólábakra. Az M5-ös csavarokkal történő rögzítéshez szükséges meneteket a

8.5 Tartólábak rögzítési furatainak és meneteinek előkészítése pontban leírt furat- és menetkészítési eljárás szerint történik. A központosító alkatrész felszerelése során úgy módosítom annak pozícióját, hogy az alkatrész teljes szétnyílása esetén a lábak és a talaj által bezárt szöget 60° -ról 45° -ra csökkentem, ahogy ezt korábban a **6. Acél lábak tervezése** során részleteztem.

A 27. ábrán látható a központosító alkatrész az alumíniumlábakon teljesen szétnyílt állapotában a lábak között elhelyezkedve.

27. ábra: Központosító alkatrész

Forrás: (<https://tavcso.hu/termek/EQ3>)



9. Elkészített tartólábak összegzése:

A 12. táblázat összegzi a tartólábakhoz felhasznált anyagok típusát, alkatrészek méretét, valamint ezek mennyiségét.

12. táblázat: Tartólábak anyag felhasználásának összegzése
(Saját szerkesztés)

Alkatrész / Anyag	Méret	Mennyiség / láb	Összesen	Megjegyzés
Horganyzott zártszelvény	60 x 60 x 2 mm	0,75 m	2,25 m	-
Horganyzott zártszelvény	40 x 40 x 2 mm	0,3 m	0,9 m	-
PLA műanyag	-	259 g	0,777 g	3 db műanyag alkatrész/ láb
M5-ös csavar	M5	16 db	48 db	3x4 db a műanyagokhoz + 4 db a központosítóhoz
M8-as csillagmarkolatos csavar	M8	4 db	12 db	-
Központosító alkatrész	-	-	1db	-

Ez az összegzés segíti anyagfelhasználás pontos nyomon követését, biztosítja a gyártáshoz szükséges mennyiségeket, valamint az összeszereléshez szükséges alkatrészeket, amelyek elősegítik az anyagköltség tervezését és az összeszerelési folyamatot.

A 28. ábrán megtekinthető az új acél lábakkal ellátott szerkezet.

28. ábra: Acél lábak
(Saját fénykép)



10. Mérőműszer bemutatása

Ebben a fejezetben bemutatom a gyakorlatban, a szerkezeten fellépő rezgések mérésére felhasznált mérőműszert, valamint a kiválasztott szenzor működési elvét, illetve a gyártó által előírt specifikációt.

10.1 Wit-motion mérőműszer

Az adatok mérésére a 29. ábrán látható Wit motion BWT901CL típusú mérőműszert alkalmazom.

29. ábra: Wit-motion BWT901CL
(Forrás: wit-motion.com)



A modul nagy pontosságú giroszkópokat, gyorsulásmérőket és geomágneses szenzorokat tartalmaz. A mérések során kizárólag a gyorsulásmérőt alkalmazom, amelynek működési elvét és a gyártó által feltüntet paramétereit az alábbiakban részletezem (BWT901CL, 2024).

10.2 Gyorsulásmérő működési elve

A korábbi 29. ábra, a szenzoron feltüntet irányok jelzik a gyorsulásmérő tengely irányait.

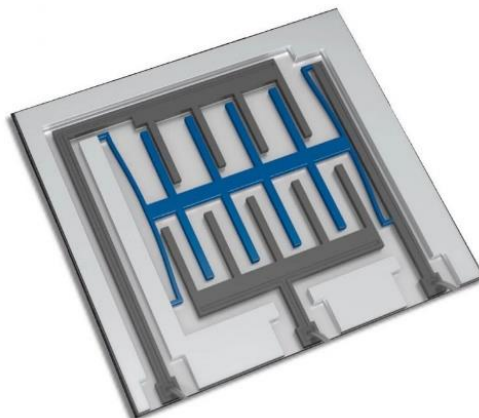
Sokféle gyorsulásmérőműszer létezik, függően a működési elvtől. Ilyenek például az Mikroelektromechanikai kapacitív, piezorezisztív és piezoelektromos elven működő gyorsulásmérők.

A felhasznált szenzorunkban az **MEMS kapacitív** elven működő gyorsulásmérőműszer található, amelynek működési elvét a továbbiakban röviden kifejtem.

A kapacitív gyorsulásmérő műszerben egy szeizmikus tömeg található, amely két lemez között helyezkedik el. Gyorsulás hatására a tömeg elmozdul, ami a két lemez közötti kapacitás változását eredményezi. A mozgó tömeg és lemezek közti távolság akár kevesebb mint 20 μm .

A 30. ábra szemlélteti egy MEMS gyorsulás mérő szenzort, ahol kék színnel jelölik a mozgó tömeget, ahogy elmozdul (Capacitive Accelerometer, 2014).

30. ábra: MEMS-ben megtalálható mozgótömeg
(Forrás: deep-review.com)



10.3. Gyártó által feltüntetett gyorsulásmérő paraméterei

- **Mérési tartomány: $\pm 16g$** – Az érzékelő gyorsulási tartománya $\pm 16g$, amely lehetővé teszi széles gyorsulási értékek mérését.
- **Felbontás: $0.0005g/LSB$** – Az érzékelő felbontása $0.0005g$ per legkisebb jelentős bit (LSB), biztosítva a finom gyorsulás-változások érzékelését.
- **RMS zaj: $0.75\sim 1mg-rms$** – Az érzékelő RMS zajszintje 0.75 és $1mg$ között változik, $100Hz$ -es sávszélességen.
- **Statikus nulladrift: $\pm 20\sim 40mg$** , vízszintes elhelyezés esetén – Az érzékelő statikus nullaeltérése ± 20 és $\pm 40mg$ között van, ha vízszintesen van elhelyezve.
- **Hőmérsékleti drift: $\pm 0.15mg/^\circ C$** , $-40^\circ C$ és $+85^\circ C$ között – A hőmérséklet-változásra adott drift $\pm 0.15mg/^\circ C$, a $-40^\circ C$ és $+85^\circ C$ hőmérséklet-tartományban.
- **Sávszélesség: $5\sim 256Hz$** – Az érzékelő frekvenciatartománya 5 és $256Hz$ között, lehetővé téve széles spektrumú gyorsulási jelek mérését.

A gyártó megjegyzi továbbá, hogy vibrációs környezetekben kumulatív hibák is előfordulhatnak, amelyek pontosan nem becsülhetők, és ezeket a hibákat a tényleges tesztelés során lehet azonosítani (BWT901CL, 2024).

10.4 Mintavételezés

A mérés során a szenzor $200Hz$ -es mintavételezési frekvenciával rögzítette az adatokat, ami azt jelenti, hogy 5 milliszekundumonként gyűjtött egy gyorsulási értéket mindhárom irányban. A gyorsulási érték mértékegysége jelen esetben g , vagyis $1g \approx 9,81m/s^2$, amely a Föld felszínén tapasztalható gravitációs gyorsulás értéke.

11. Mérési módszer

A mérés során felmerül a kérdés, hogy a szerkezet mely pontjában helyezzük el a mérőműszert a lehető legpontosabb értékek mérése érdekében.

Szakmai szempontból úgy vélem, hogy a mérőműszert tubus egyik végére érdemes elhelyezni, mivel itt a kilengés a legnagyobb. Amennyiben tubus azon részére helyezzük szenzort, ahol fényképező elhelyezkedik, akkor feltételezhetjük, hogy azokat a rezgéseket fogjuk mérni, amelyek közvetlenül az elkészített fényképekre hatással vannak. A fényképezőre felhelyezve, úgy pozicionálom a mérőműszert, hogy annak az „y” iránya párhuzamos legyen fókuszírozó tengelyével. Ez az elhelyezés lehetővé teszi a rezgések pontos mérését mind a fókuszírozó mentén, mind a csillagkövetési irányokban. Továbbá a mérések egy beltéri szobában folytatódtak le, így környezeti hatásoktól mentes adatokat mérve. Ennek oka, hogy a környezetben megjelenő hatásokat nem tudom a két mérésnél azonosan előállítani.

A 31. ábrán szemléltetem a szenzor elhelyezkedését a szerkezeten.

31. ábra: Szenzor elhelyezkedése a távcsövön
(Saját szerkesztés)



Továbbiakban a két csillagot a Vega, valamint az Arcturus csillagot motorosan követve fogom elvégezni a méréseket különböző tartószerkezet mellett, amelyek a következők:

- **Régi alumínium lábakkal:** A távcsövet az eredeti, alumíniumból készült lábakra szereltem, lásd 7. ábra.
- **Új acél lábakkal:** A távcsövet az új acél lábakra szereltem, ezt a 28. ábra szemlélteti.

Későbbiekben a különböző lábakkal felszerelt szerkezeten mért rezgések adatait kielemezem majd kiválasztom az ideálisabb tartószerkezetet, valamint levonom a konklúziót.

11.1 A távcső orientációjának hatása a mérésekre

A mérési adatok kiértékelése során felismertem, hogy a tubus orientációja befolyásolja a mért adatok értékét, ez valószínűleg szerkezet ellensúlyozási pontatlanságából ered. Ezek után, úgy döntöttem, hogy a mérések megismétlésekor lehetőleg azonos, de legalább nagyrészt hasonló orientáció mellett mérek, ezzel túlnyomórészt kiküszöbölve az egyensúlyozásból adódó hibákat. Mivel a lábak kicserélése, valamint a szerkezet beállítása viszonylag sok időt vesz igénybe ezért a két láb közti mérést, a következő napon, viszont ugyanabban az időpontban végeztem el, így a lehető legpontosabban beállítva ugyanazon orientációt.

Amennyiben szeretném az orientáció hatását a rezgésekre szemléltetni, abban az esetben lehetőleg, olyan mérést kell végezzek, amely során a tubus orientációja az egy-egy objektum követésekor egymástól eltérő szögben áll.

Míg az Arcturus a méréskor a horizonttól nem messze 30° -ra volt látható, addig a Vega a horizonttól messzebb, nagy szögben nagyjából 80° -ra jelent meg a horizonttól 2024 szeptemberében, tehát ez a két csillag ideálisnak tekinthető a mérés szempontjából.

Az orientáció hatását a rezgésekre ezzel a két méréssel elegendő szemléltetni, így ennek ábrázolása a későbbiekben a mért adatok összehasonlításakor történik meg, lásd 35. ábra.

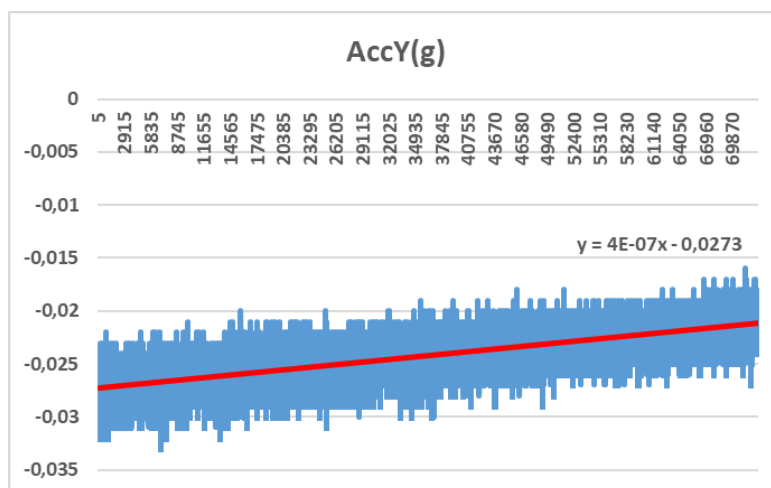
12. Mérési adatok feldolgozása

A csillagkövetés során mért adatoknál láthatóvá vált, hogy az egyes tengelyekhez tartozó gyorsulási értékek egy trendet követnek, amely feltehetőleg a csillagkövetésből adódó orientáció váltás miatt történik. Amennyiben csak a rezgések pontos értékét szeretnénk meghatározni, ahhoz ezeket a trendeket el kell távolítanunk a vonaldiagramunkból.

A 32. ábrán látható egy tengelyhez tartozó gyorsulási értékek vonaldiagramon való ábrázolása, amelyen megfigyelhető a trend.

32. ábra: Y irányú gyorsulási értékek

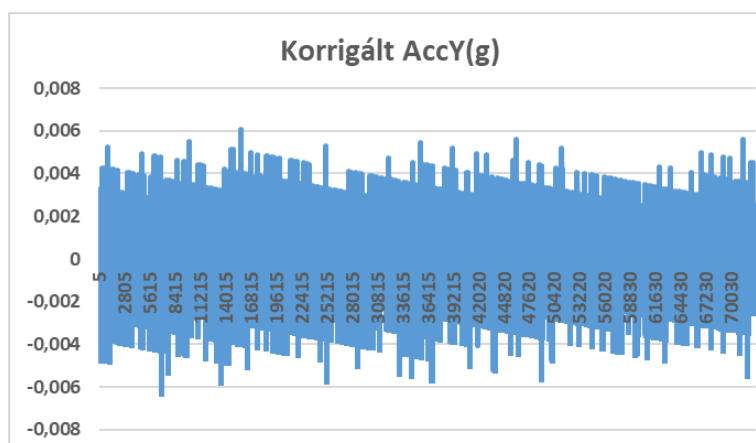
Forrás: (Saját szerkesztés)



Továbbiakban az Excel segítségével megjelenítem a lineáris trend képletét, amelyet az összes adatból kivonva megkapom a trend nélküli adatokat, amelyek új középpontja 0 közeli érték lesz. Továbbá ismét vonaldiagramot készítve az új adatokból, ellenőrzöm korrigálás sikerességét, amelyet a következő 33. ábra szemléltet.

33. ábra: Korrigált gyorsulási értékek

Forrás: (Saját szerkesztés)



A trendek eltávolítása után látható, hogy milyen tartomány között mozog a rezgésekből adódó gyorsulási értékek. Ezek után 3 tengelyre kiszámítva a szórást, megkapom az adott tengelyen fellépő rezgéseket jellemző értéket.

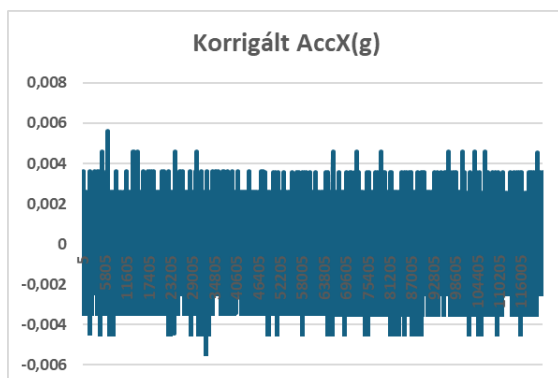
12.1 Zajszint meghatározása

A mérési adatok feldolgozása előtt kiemelten fontos a szenzor zajszintjének meghatározása. A csillagkövetés során a léptetőmotorok által generált rendkívül kis mértékű mozgások olyan nagyságrendűek, amelyek összemérhetők a szenzor zajszintjével. Ezért elengedhetetlen a zajszint pontos meghatározása és annak figyelembevétele az adatok feldolgozása során.

Nyugalmi állapotban a távcső nem végez semmilyen mozgást. A távcső „park” pozícióban van, amely a pólusra mutató irány szerinti helyzetet jelenti. Ennek következtében a tubus nincs vízszintben, így a gravitációs erő mindhárom tengelyen megoszlik.

A 34 a. ábra szemlélteti az egy tengelyre jutó zaj értékét g mértékegységben, illetve az ezt követő 34.b ábra bemutatja az egyes tengelyeken fellépő zaj szórását.

34. a ábra: Zaj gyorsulási értékei
Forrás: (Saját szerkesztés)



34. b ábra: Zaj szórása
Forrás: (Saját szerkesztés)



A mért adatok későbbi kiértékelése során a zajszint figyelembevétele elengedhetetlen. Amennyiben a zajszint alá esik a mért adatunk akkor nem lehet megállapítani annak pontos értékét. Az egyes tengelyen fellépő zaj értékek viszonylag hasonlóak így a lehető legnagyobb értéket veszem a zaj felső határának mindegyik tengelyen, a későbbi szemléltetés során.

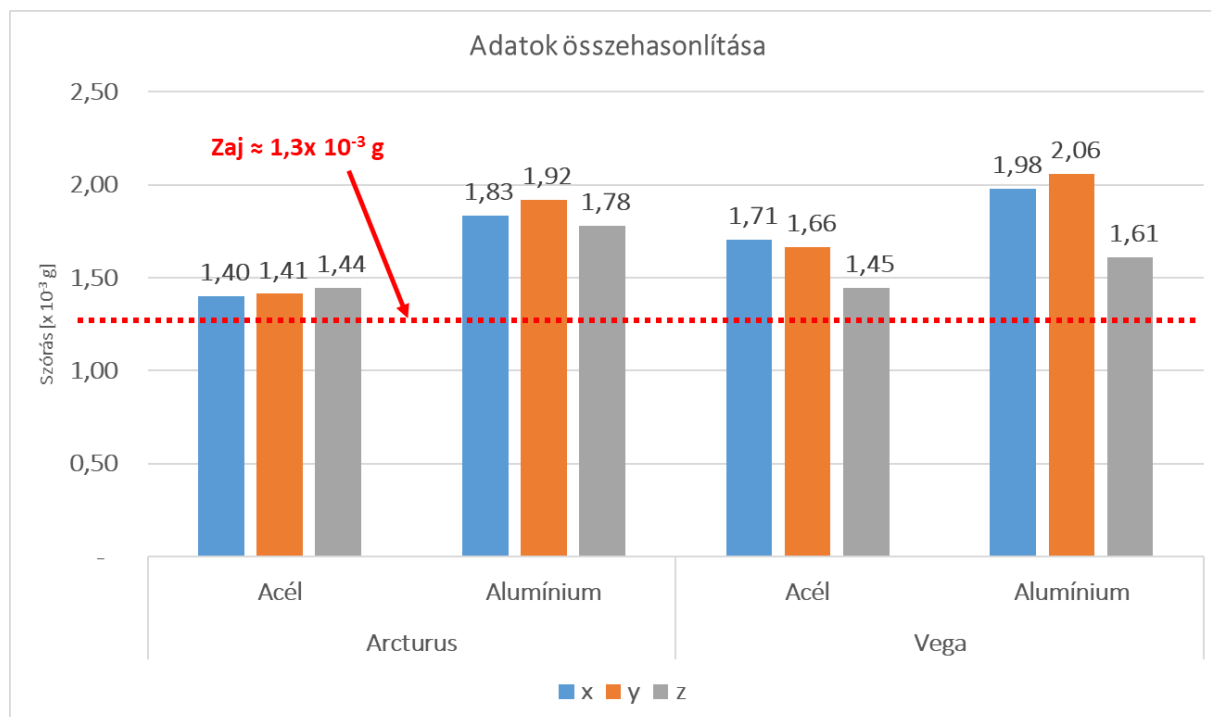
A zaj felső határa, tehát közelítőleg $\approx 1,3 \times 10^{-3} \text{ g}$

13. A gyári és a fejlesztett láb összehasonlítása mérés alapján

A mért adatokat feldolgozva a 35. ábrán látható, hogy az acél láb használata esetén az alumínium lábhoz képest milyen mértékű változást értünk el a rezgések szempontjából. Továbbá látható, hogy zaj mértéke azonos nagyságrendben van a csillagkövetésből származó rezgésekkel. Megfigyelhető szintén a korábban taglalt orientáció hatása a rezgésekre.

35. ábra: Mért Adatok szórásának összehasonlítása:

Forrás: (Saját szerkesztés)



A 13. táblázat szemlélteti az egyes csillagok követése esetén használt tartólábszerkezeten mért rezgések értékének átlagtól való átlagos eltérést táblázatosan.

13. Táblázat: Különböző tartólábakon mért rezgések szórása

Forrás: (Saját szerkesztés)

Objektum	Vega		Arcturus	
Állványzat	Acél	Alumínium	Acél	Alumínium
x	1,71	1,98	1,40	1,83
y	1,66	2,06	1,41	1,92
z	1,45	1,61	1,44	1,78

Konklúzió

A vártak megfelelően javulást értünk az acél lábszerkezet használatával a rezgések terén, tehát a fejlesztés sikeresnek mondható.

A 14. táblázatban látható, hogy a két csillag motoros követése esetén az egyes szenzor által meghatározott irányokban milyen mértékű rezgésbéli redukálást sikerült elérni az acél láb használatával az alumínium lábhoz képest.

14. táblázat: Redukált rezgések százalékosan megadva

Forrás: (Saját szerkesztés)

Objektum	X Javulás	Y Javulás	Z Javulás	Átlagolva
Arcturus	24%	26%	19%	23%
Vega	14%	19%	10%	14%

Megfigyelhető, hogy a redukált rezgések értéke különböző a szenzoron feltüntetett irányoktól függően, viszont mivel a mechanizmus tengelyét ezek az irányok nem tükrözik ezért érdemes a 3 irányon fellépő rezgésbéli javulás átlagát venni, ezáltal az acél tartólábak a gyári tartólábak helyett alkalmazva egy számmal jellemezve a szerkezet javulását.

A korábban említett orientáció hatása a rezgésbéli javulást is befolyásolja, tehát elmondható, hogy a horizonttól távol a Vega csillag motoros követése esetén a rezgéseket csak 14%-kal sikerült csökkenteni, viszont az horizonthoz közeli Arcturus-t megfigyelve, ennél nagyobb értékű rezgés redukálást 23%-ot értem el. Az adatokat kiértékelve elmondható, hogy a minél távolabb kerülünk a horizonttól annál nagyobb mértékű rezgések léptek fel, ami valószínűleg a szerkezet ellensúlyozásának pontatlanságából eredhet.

Javulás a környezeti hatásoktól mentes térben, valamint a távcső orientáció függvényében **14 – 23 %** közé tehető.

Megemlítendő továbbá, hogy a környezeti hatások mellett nagyobb javulást érhető el a rezgések terén, viszont a szél pontos szimulálása megfelelő berendezések hiányában nem kivitelezhető, habár a tapasztalatok azt sugallják, hogy ezen fellépő hatások mellett nagyobb javulást értem el a fejlesztés segítségével.

Összefoglalás

A szakdolgozat célja az asztrofotózáshoz használt távcső tartószerkezetének fejlesztése, különös figyelmet fordítva a szerkezet stabilitásának javítására és a rezgéscsökkentésre. A dolgozat elején ismertetem az asztrofotózás alapjait, amelyek elengedhetetlenek a távcső hatékony működéséhez. Ezt követően részletesen bemutatom a felhasznált műszerpark elemeit, beleértve azok technikai specifikációit és tulajdonságait, valamint tömeg szerint összegzem a részegységeket. Ez az információ alapvetően fontos a tervezési folyamat során, mivel a tartószerkezet optimalizálása szoros összefüggésben áll az eszközök súlyával és elhelyezkedésével.

A következő lépésben a távcső szerkezetén fellépő rezgések csökkentésére irányuló fejlesztési lehetőségeket ismertetem. A rezgések redukálása érdekében külön figyelmet fordítok a tartólábak anyagának és geometriai méreteinek megválasztására. A gyári alumíniumból készült tartólábakat összehasonlítom az újonnan tervezett acél lábakkal, amelyeket szimulációk révén elemzek. A szimulációs adatok alapján értékelem, hogy az új tartólábak mennyire felelnek meg a tervezési elvárásoknak, amelyek a következők: alacsonyabb súlypont, kisebb deformáció a tartólábakon és magasabb saját frekvencia.

A tervezési folyamat során az acél tartólábakhoz szükséges kiegészítő műanyag elemeket is megtervezem. A műanyag alkatrészek tömegét összegzem, majd a szükséges elemeket 3D nyomtatóval legyártom. Részletezem a rögzítési pontok kialakításának folyamatát, amely szintén fontos szerepet játszik a távcső stabilitásának biztosításában. Végül összegzem a lábak legyártásához szükséges anyagmennyiséget, amely segít a tervezés költségeinek és anyagiigényének pontos meghatározásában.

A mérések során alkalmazott szenzorok tulajdonságait és gyártói specifikációit szintén bemutatom, valamint részletezem működési elvüket. Kiemelem a szenzorok elhelyezésének fontosságát a megfelelő adatgyűjtés érdekében, és részletezem az elhelyezés indokait. A méréseket befolyásoló tényezőket ismertetem, és a kiküszöbölésükhöz szükséges megoldásokat kivitelezem.

A mért adatok feldolgozásának menetét szintén részletezem, meghatározom a zajszintet, amelyet később a mért eredményekhez viszonyítok. Végezetül különböző lábakon álló szerkezetek mért adatait összehasonlítom, és meghatározom az új lábakkal elért százalékos javulást a rezgések terén. Az elért eredmények alapján levonom a konklúziót, amely hozzájárul a távcső teljesítményének javításához és az asztrofotózás minőségének növeléséhez.

Summary

The aim of this thesis is to optimize the structure of a telescope used for astrophotography, with particular emphasis on improving structural stability and reducing vibrations. At the beginning of the thesis, I introduce the fundamentals of astrophotography, which are essential for the effective operation of the telescope. Following this, I provide a detailed overview of the components of the equipment used, including their technical specifications and properties, and I summarize the components by their weight. This information is crucial for the design process, as the optimization of the structure is closely related to the weight and placement of the devices. The next step involves discussing the development opportunities aimed at reducing vibrations in the telescope structure. To minimize vibrations, special attention is given to the selection of materials and geometric dimensions for the support legs. I compare the factory-made aluminum support legs with the newly designed steel legs, which I analyze through simulations. Based on the simulation data, I evaluate how well the new support legs meet the design requirements, which include a lower center of gravity, reduced deformation in the support legs, and a higher natural frequency.

During the design process, I also plan the additional plastic components needed for the steel support legs. I summarize the weight of the plastic parts and then manufacture the necessary components using a 3D printer. I detail the process of designing the mounting points, which also plays an important role in ensuring the stability of the telescope. Finally, I summarize the material quantities required for the production of the legs, which helps accurately determine the costs and material needs of the design.

I also present the properties and manufacturer specifications of the sensors used during measurements, as well as their operational principles. I highlight the importance of the placement of the sensors for proper data collection and detail the reasons for their placement. I describe the factors influencing the measurements and implement solutions necessary to eliminate them.

I also detail the process of data processing, determining the noise level that I will later compare with the measured results. Ultimately, I compare the corrected values of measured data on structures with different legs and quantify the percentage improvement achieved with the new legs in terms of vibrations. Based on the results obtained, I draw conclusions that contribute to the enhancement of the telescope's performance and the improvement of astrophotography quality.

Felhasznált irodalom

- 150/750 SkyWatcher Explorer-150P Newton tubus.* (2024. 10 12). Forrás: Budapest Távcso Centrum: <https://tavcso.hu/termek/SWN1507>
- Accelerometers.* (2024. 10 12). Forrás: explainthatstuff: <https://www.explainthatstuff.com/accelerometers.html>
- BWT901CL.* (2024. 10 12). Forrás: Wit motion: <https://www.wit-motion.com/BLE/50.html>
- Caltech Optical Observatories.* (2024. Március 14). Forrás: A History of Palomar Observatory: <https://sites.astro.caltech.edu/palomar/about/history.html>
- Canon EOS 550D.* (2024). Forrás: Canon: https://www.canon.hu/for_home/product_finder/cameras/digital_slr/eos_550d/specifications/
- Capacitive Accelerometer.* (2014). Forrás: Science Direct: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/capacitive-accelerometer>
- EQ-3 mechanika alumínium lábbal.* (2024. 11). Forrás: Budapest távcso Centrum: <https://tavcso.hu/termek/EQ3>
- EQ-3 PRO GoTo Upgrade kit.* (2024). Forrás: Budapest távcso Centrum: <https://tavcso.hu/termek/EQ3upg>
- Hidden in plain sight.* (2023. Május 18). Forrás: Astronomy: <https://www.astronomy.com/space-exploration/hidden-in-plain-sight-scouring-the-notebooks-of-the-harvards-human-computers/>
- Horganyzott zártszelvény.* (2024. 10 12). Forrás: Vas-Fémker: <https://www.vasanyag.hu/erd/vasanyag/zartszelveny/horganyzott>
- How to Modify Your DSLR for Astrophotography.* (2024. 10 12). Forrás: skyandtelescope.org: <https://skyandtelescope.org/astronomy-blogs/imaging-foundations-richard-wright/modifying-your-dslr-astrophotography/>
- Mobility, B. (2018. 03 16). *EN | Bosch Working principle of an acceleration sensor.* Forrás: Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=4kfzqZpttTA>
- Pólustávcso EQ3, EQM-35 és HEQ5 mechanikákhoz.* (2024). Forrás: Budapest távcso Centrum: <https://tavcso.hu/termek/polarHM5>
- SkyWatcher EQ3 mechanika.* (2024). Forrás: Budapest távcso Centrum: https://tavcso.hu/termekcsopot/mech_eq3
- Szarka , L., Baraté , L., Fényes, L., & Tóth, G. (2017). *A digitális asztrofotózás ABC-je.* Budapest: Makusztov.hu távcsobolt.
- The History of Astrophotography.* (2018. Május 31). Forrás: Online Star Register: <https://osr.org/blog/kids/history-of-astrophotography/>
- The History of Astrophotography Blog.* (2019. Március). Forrás: web archive: <https://web.archive.org/web/20170303122623/http://www.catchersofthelight.com/catchers/page/History-of-Astrophotography-Timeline-1861-1900.aspx>

Understanding Focal Length and Field of View. (2024). Forrás: Edmund optics:
<https://www.edmundoptics.com/knowledge-center/application-notes/imaging/understanding-focal-length-and-field-of-view/>

Ábrák és táblázatok jegyzéke

1. ábra: Látómező (Forrás: Saját szerkesztés a Stellarium programba)	6
2. ábra: Expozíciós idő Forrás: (shop.mcbaincamera.com)	7
3. ábra: Azimutális mechanizmus Forrás: tavcsó.hu	9
4. ábra: Ekvatoriális mechanizmus Forrás: <i>szolnoktavcsó.hu</i>	10
5. ábra: Bayer szűrő felépítése Forrás:(https://en.wikipedia.org/wiki/Bayer_filter)	13
6. ábra: Pólus távcsőben látott célkereszt Forrás: szolnoktavcsó.hu	14
7. ábra: Sky Watcher EQ3 alumínium lábas mechanizmus (Forrás: tavcsó.hu)	15
8. ábra: Pólus távcső Forrás: tavcsó.hu	16
9. ábra: EQ-3 GoTo Upgrade Kit Forrás: tavcsó.hu	17
10. ábra: Oszlophosszabbító Forrás:(https://tavcsó.hu/termek/PIERext5)	18
11. ábra: 150/750 SkyWatcher Explorer-150P Newton tubus Forrás: tavcsó.hu	18
12. ábra: Canon 550D DSLR fényképezőgép Forrás: commons.wikimedia.org	20
13. ábra: Távcső vázlata (Saját szerkesztés: Solidworks programban)	24
14. ábra: Alumínium lábon álló szerkezet tömegközéppontja (Saját szerkesztés az Ansys programban)	25
15.a ábra: A szerkezeten megadott peremfeltételek 15.b ábra: Hálómodell (Saját szerkesztés az Ansys programban)	26
16. ábra: Alumínium lábon fellépő deformáció (Saját szerkesztés az Ansys programban)	27
17. ábra: Lengésképek iránya (Saját szerkesztés)	27
18. ábra: Acél lábon álló szerkezet tömegközéppont elhelyezkedése. (Saját szerkesztés az Ansys programban)	30
19.a ábra: Acél lábon álló szerkezet peremfeltételei 19.b ábra: Hálómodell (Saját szerkesztés az Ansys programban)	31
20. ábra: Acél lábon fellépő deformáció (Saját szerkesztés az Ansys programban)	32
21. ábra: Acél lábon álló szerkezeten fellépő lengésképek iránya (Saját szerkesztés)	33
22. ábra: Acél láb gyakorlati megjelenése (Saját szerkesztés a SolidWorks programban)	36
23. ábra: Rögzítő elemen megadott peremfeltételek (Saját szerkesztés az Ansys programban)	38
24. ábra: Műanyag alkatrészen fellépő deformáció (Saját szerkesztés az Ansys programban)	39
25. ábra: Elego Neptune 3 Pro 3D nyomtató Forrás: emag.hu	40
26. ábra: Hyper PLA Black műanyag Forrás: eu.elegoo.com	40
27. ábra: Központosító alkatrész Forrás:(https://tavcsó.hu/termek/EQ3)	43
28. ábra: Acél lábak (Saját fénykép)	45
29. ábra: Wit-motion BWT901CL (Forrás: wit-motion.com)	46
30. ábra: MEMS-ben megtalálható mozgótömeg (Forrás: deep-review.com)	47
31. ábra: Szenzor elhelyezkedése a távcsövön (Saját szerkesztés)	48
32. ábra: Y irányú gyorsulási értékek Forrás: (Saját szerkesztés)	50
33. ábra: Korrigált gyorsulási értékek Forrás: (Saját szerkesztés)	50

34. a ábra: Zaj gyorsulási értékei	34. b ábra: Zaj szórása Forrás: (Saját szerkesztés)
Forrás: (Saját szerkesztés)	51
35. ábra: Mért Adatok szórásának összehasonlítása: Forrás: (Saját szerkesztés)	52
1. táblázat: 150/750 SkyWatcher Explorer-150P tulajdonságai (Forrás: tavcsso.hu)	19
2. táblázat: Fényképező tulajdonságai (Forrás: canon.hu).....	20
3. táblázat: A műszerpark főalkatrészeinek tömege (Forrás: Saját munka).....	21
4. táblázat: Lengésképek és a hozzájuk tartozó frekvencia értéke (Saját szerkesztés).....	28
5. táblázat: Gyári alumíniumlábak szerkezet számított paraméterei (Saját szerkesztés)	29
6. táblázat: Lengésképek és a hozzájuk tartozó frekvencia értéke (Saját szerkesztés).....	33
7. táblázat: Acél lábon álló szerkezet számított paraméterei (Saját szerkesztés).....	34
8. táblázat: Alumínium és acél tartólábak vizsgált paramétereinek összehasonlítása (Saját szerkesztés).....	35
9. táblázat: Műanyag tulajdonságai Forrás: eu.elegoo.com (2024.09.23)	41
10. táblázat: Műanyag alkatrészek összegzése (Saját szerkesztés).....	41
11. táblázat: Zártszelvény anyag- és méret táblázata (Forrás: Saját szerkesztés, vasanyag.hu)	42
12. táblázat: Tartólábak anyag felhasználásának összegzése (Saját szerkesztés)	44
13. Táblázat: Különböző tartólábakon mért rezgések szórása Forrás: (Saját szerkesztés).....	52
14. táblázat: Redukált rezgések százalékosan megadva Forrás: (Saját szerkesztés)	53

Szakdolgozat feladatlap



Szent István Campus, Gödöllő
Cím: 2100 Gödöllő, Péter Károly utca 1.
Tel.: +36-28/522-000
Honlap: <https://godollo.uni-mate.hu>

MŰSZAKI INTÉZET BSC ALAPSZAK
Mérnök informatika specializáció

SZAKDOLGOZAT

feladatlap

Hallgató neve: Hermann Ádám Benjámin

részére

A szakdolgozat címe: CSILLAGVIZSGÁLÓ TÁVCSŐ ÁLLVÁNYZAT STABILITÁSÁNAK
FEJLESZTÉSE GYORSULÁS MÉRÉS ALAPJÁN

Feladatkiírás:

Asztrofotózás során fellépő rezgések csökkentése, a szerkezet stabilitásának növelése egy új alkatrész segítségével. Az alkatrész tervezési, valamint gyártási folyamatának bemutatása. A szerkezeten fellépő rezgések mérése, összehasonlítása, kiértékelése a gyári régi, valamint az új alkatrész alkalmazása esetén.

Közreműködő tanszék:

Géptervezési Tanszék

Külső konzulens: Hermann Izsák, Schneider Electric, Electrical design engineer

Belső konzulens: Dr. Oldal István, egyetemi docens, MATE, Műszaki Intézet, Mérnök-informatika

Beadási határidő: 2024. november 5. (kedd) 12.00 óra

Gödöllő, 2024. június 15.

Jóváhagyom

tanszék felelős

Prof. Dr. Szabó István
Dr. Bátfai Zoltán
szakfelelős

Átvettem

Hallgató neve
hallgató

A dolgozat készítőjének külső konzulense nyilatkozom arról, hogy a hallgató az előre egyeztetett konzultációkon megjelent.

Gödöllő, 2024.

hó

nap

(külső konzulens)

Hallgatói nyilatkozat

NYILATKOZAT

a záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió¹ nyilvános hozzáféréseiről és eredetiségéről

A hallgató neve: HERMANN ADAM BENJAMIN
 A Hallgató Neptun kódja: B1CQNL
 A dolgozat címe: Össilagozó és társuló Alkalmazás Stabilitásának Fejlesztése Gyorsulás Mérés alapján
 A megjelenés éve: 2024
 A konzulens intézetének neve: Műszaki Intézet
 A konzulens tanszékének neve: Gépszerkeztetési Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió² egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítást teszek, tudomásul veszem, hogy a záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkor szellemi tulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem MATE Hallgatói Dolgozatok repozitóriumba. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelté után

nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem MATE Hallgatói Dolgozatok repozitóriumban.

Kelt: Gödöllő 2024 év október hó 31 nap

Hermann Adam Benjamin
Hallgató aláírása

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

Konzulensi nyilatkozat

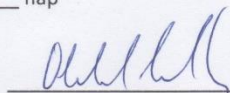
NYILATKOZAT

Herman Adam Benjamin(név) (hallgató Neptun azonosítója: B1CQNL)
konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a
záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót¹ áttekintettem, a hallgatót az
irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól
tájékoztattam.

A záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót a záróvizsgán történő
védésre javaslom / nem javaslom².

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem³

Kelt: Gödöllő 2024. év 10 hó 31 nap


belső konzulens

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő aláhúzendő.

³ A megfelelő aláhúzendő.