



INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

**PÄIKESE ASUKOHTA JÄRGIVA  
KANDEVSÜSTEEMI PARENDAMINE JA SELLE  
TÕHUSUSE TÕSTMINE**

**IMPROVEMENT OF THE SYSTEM FOR SOLAR POSITION  
TRACKING FOR HIGHER EFFICIENCY**

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Lisbeth Olesk

Üliõpilaskood: 193502 EAAB

Juhendaja: Leo Teder, lektor

Kaasjuhendaja: Vahur Maask, doktorant-nooremteadur

Tallinn 2021

# AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"....." ..... 20.....

Autor: .....

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." ..... 20.....

Juhendaja: .....

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....." .....20.....

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri /

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks<sup>1</sup>**

Mina Lisbeth Olesk,

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Päikese asukohta järgiva kandevsüsteemi parendamine ja selle tõhususe tõstmine

mille juhendaja on Leo Teder,

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

\_\_\_\_\_ (kuupäev)

---

<sup>1</sup> Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingulise tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

# LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE

<i>Autor:</i> Lisbeth Olesk	<i>Lõputöö liik:</i> Bakalaureusetöö
<i>Töö pealkiri:</i> Päikese asukohta järgiva kandeüksüsteemi parendamine ja selle tõhususe tõstmine	
<i>Kuupäev:</i> 18.05.2022	56 lk
<i>Ülikool:</i> Tallinna Tehnikaülikool	
<i>Teaduskond:</i> Inseneriteaduskond	
<i>Instituut:</i> Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut	
<i>Töö juhendaja:</i> Lektor Leo Teder	
<i>Töö kaasjuhendaja:</i> Doktorant-nooremteadur Vahur Maask	
<i>Sisu kirjeldus:</i>  Antud töö eesmärk on olemasoleva kandeüksüsteemi alusel koostada põhjalik liikumist kirjeldav mudel ja selle abil töötada välja lahendus kandeüksüsteemi liigutava täiturmehhanismi paigutamiseks ning selle võimsustarve vähendamiseks.  Teoreetilises osas analüüsiti olemasolevat kandeüksüsteemi ning päikese trajektoori Eestis. Samuti analüüsiti erinevaid parendusviise ning koostati mehaaniline struktuur, mis hõlmas lihtsustatud skeeme ning kinemaatikamudelit. Parendusviisideks valiti liikuva massi vähendamine, massikeskme süsteemi pöördepunktile lähemale viimine ning uute elektrikomponentide valik. Parendatud mudelil muudeti päikesekiirguse koguja raam ning kasutati vasturaskuseid, et viia massikese süsteemi pöörlemise keskpunktile lähemale. Valiti uus toiteplokk ning pöörlemiseks kasutatav samm-mootor.	
<i>Märksõnad:</i> päikesekiirguse koguja, kandeüksüsteem, parabool-peegel, massikese, kinemaatikamudel, <i>Solidworks</i> , modelleerimine.	

# ABSTRACT

<i>Author:</i> Lisbeth Olesk	<i>Type of the work:</i> Bachelor Thesis
<i>Title:</i> Improvement of the system for solar position tracking for higher efficiency	
<i>Date:</i> 18.05.2022	56 pages
<i>University:</i> Tallinn University of Technology	
<i>School:</i> School of Engineering	
<i>Department:</i> Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics	
<i>Supervisor of the thesis:</i> Professor Leo Teder	
<i>Consultant:</i> Early Stage Researcher Vahur Maask	
<i>Abstract:</i>  The purpose of this thesis is to compose a thorough descriptive of movement about the system of solar position tracking and with the help of that, work out a solution for the actuator positioning and to lessen needed power.  In the theoretical part, there is an analysis of the existing system and about the solar trajectory in Estonia. Different ways to improve the system, a mechanical structure was composed, which included simplified schemes and kinematics model. To improve the system the chosen ways were to make the moving mass lighter, to move the center of mass as close to the system turning point as possible and to pick new electrical components. The improved model has a new frame, that holds the solar radiation receiver and counterweight was added to move the center of mass closer to the systems turning point. A new power supply and a stepper motor which is used to turn the system was picked.	
<i>Keywords:</i> solar radiation receiver, solar position tracking, parabolic mirror, center of mass, kinematics model, Solidworks, modeling	



## LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõputöö teema:	<b>Päikese asukohta järgiva kande süsteemi parendamine ja selle tõhususe tõstmine</b>
Lõputöö teema inglise keeles:	<b>Improvement of the system for solar position tracking for higher efficiency</b>
Üliõpilane:	<b>Lisbeth Olesk, 193502</b>
Eriala:	<b>Elektroenergeetika ja mehhatroonika</b>
Lõputöö liik:	<b>Bakalaureusetöö</b>
Lõputöö juhendaja:	<b>Leo Teder</b>
Lõputöö kaasjuhendaja: (ettevõtte, amet ja kontakt)	<b>Vahur Maask</b>
Lõputöö ülesande kehtivusaeg:	<b>2022/2023</b>
Lõputöö esitamise tähtaeg:	<b>18.05.2022</b>

---

Üliõpilane (allkiri)

---

Juhendaja (allkiri)

---

Õppekava juht (allkiri)

---

Kaasjuhendaja (allkiri)

# 1. Teema põhjendus

TalTechis teaduslike katsete jaoks kavandatud päikest järgiv kande süsteem on hetkel olemasolevate laagrite ja jõusüsteemiga raskesti liigutatav ning vajab käitamiseks elektrilist võimsust, mida süsteem pole võimeline vajalikus suuruses pakkuma. Kande süsteem järgib päikest, et parabool-peegli abil koguda päikesekiirgus termoelektrilistele elementidele. Termoelektriliste elementide abil elektrienergia tootmine on oodatavalt madala kasuteguriga (ligikaudu 5-15%), mistõttu kande süsteemi liigutamiseks vajalik täiturmehaanismide võimsustarvet on vaja viia võimalikult madalaks. Kande süsteemi parendamisega on võimalik hakata parendama ka termoelektrilisi elemente. Lõputöö käigus valmib päikest järgiva kande süsteemi mudel, mille põhjal teostatakse olemasoleva kande süsteemi ümberehitused, et saavutada selle kerge, kuid kindel pöördliikumine ja asendi hoidmine võimalikult vähese võimsustarveta.

## 2. Töö eesmärk

Töö eesmärk on olemasoleva kande süsteemi alusel koostada põhjalik liikumist kirjeldav mudel ja selle abil töötada välja lahendus kande süsteemi liigutava täiturmehaanismi paigutamiseks ning selle võimsustarve vähendamiseks.

## 3. Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

- 1) Milline on olemasoleva kande süsteemi liigutamiseks vajalik võimsus?
- 2) Millised on võimalused elektrilise võimsuse vähendamiseks?
- 3) Millised on vajalikud uued komponendid ja kuidas ümberehitusi kavandada, et teostada kande süsteemi liigutamine võimalikult tõhusalt?
- 4) Kui palju tõhusam on täiendatud ja uuesti kavandatud kandesüsteem võrreldes olemasolevaga?

## 4. Lähteandmed

Lähteandmeteks on Lauri Kütt'i poolt edastatud tehnilised parameetrid ja oodatavad mehaanilised koormused (sh vajalike komponentide mass, geomeetria ja mõõtmed ja nende piirtingimused), samuti olemasoleva platvormi joonised

## **5. Uurimismeetodid**

Kandevsüsteemi antud hetkel kasutatava versiooni kohta kirjeldatakse mudel ja uuritakse selle alusel, kuidas vähendada mõjuvate jõudude suurust. Mudeli uurimisel on abiks Excel. Täiendavalt saab andmed raskuskeskmete ja massi kohta Solidworks'i või muu 3D mudeldamiskeskonnast. Parendatud mudel teostatakse 3D-trükituna ja võrreldakse selle parameetreid matemaatiliselt arvutatutega. Olemasoleva kandevsüsteemi katsetamine ja mõõtmine annab algandmed (sh liigutamiseks vajalik võimsus) ja seda võrreldakse hiljem parendatud platvormi tulemustega.

## **6. Graafiline osa**

Graafiline osa sisaldab nii skeeme, jooniseid, graafikuid, fotosid, samuti on mitmeid tabelleid. Graafiline materjal esitatakse nii põhiosas kui ka lisades.

## **7. Töö struktuur**

1. Sissejuhatus, sh oodatavate funktsionaalsete tingimuste kirjeldus
2. Olemasoleva platvormi kirjeldus ja analüüs
3. Platvormi parendamine ja optimeerimine – mehaaniline struktuur
4. Parendatud platvormi jaoks komponentide valik ja ühendamine
5. Katsed ja analüüs
6. Järeldused

## **8. Kasutatud kirjanduse allikad**

Mis tüüpi allikaid kasutate (raamatud, teadusartiklid, aruanded, arengukavad, seadusandlikud aktid, intervjuud)? Lisada 4-5 viidet töö peamistele kirjanduse allikatele.

## **10. Töö etapid ja ajakava**

Lähteandmete kogumine (12.11.2021)

Kirjanduse läbitöötamine (14.11.2021)

Teoreetilise osa kirjutamise alustamine (15.11.2021)

Arvutuste/mõõtmiste teostamine (22.11.2021)

Modelleerimise teostamine (01.12.2021)



Tulemuste kirjeldamine (01.02.2022)

Kokkuvõtte koostamine (28.03)

Töö esimene versioon valmis (08.04.2022)

Juhendajale läbilugemiseks saatmine (11.04.2022)

Paranduste sisseviimine (25.04.2022)

Juhendajale teiseks läbilugemiseks saatmine (02.05.2022)

Töö lõplik versioon valmis (13.05.2022)

# SISUKORD

AUTORIDEKLARATSIOON .....	2
LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE .....	4
ABSTRACT .....	5
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE .....	6
SISUKORD .....	10
EESSÕNA .....	11
LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU .....	12
SISSEJUHATUS .....	13
1. OLEMASOLEVA PLATVORMI KIRJELDUS JA ANALÜÜS .....	14
1.1 Päikese asukohta järgiva kandevsüsteemi kirjeldus .....	14
1.1.1 Päikesekiirguse koguja .....	14
1.1.2 Parabool-peegel .....	16
1.1.3 Elektrikomponendid .....	16
1.2 Päikese trajektoor ja selle järgimine .....	18
1.2.1 Päikeseenergia tootmine .....	18
1.2.2 Päikese trajektoor ja selle järgimine .....	19
2. PLATVORMI PARENDAMINE JA OPTIMEERIMINE- MEHAANILINE STRUKTUUR .....	22
2.1 Platvormi parendamise võimalused .....	22
2.1.1 Mehaanilised parendusviisid .....	22
2.1.2 Elektriliste komponentide optimeerimisviisid .....	24
2.2 Platvormi mehaaniline struktuur .....	26
3. PARENDATUD PLATVORMI JAOKS KOMPONENTIDE VALIK JA ÜHENDAMINE .....	32
3.1 Toiteploki valik ja ühendamine .....	32
3.2 Elektrimootori valik ja ühendamine .....	35
4. KATSED JA ANALÜÜS .....	37
4.1 Katsed raskuste tõstmisega .....	37
4.2 Liikuva massi vähendamine .....	40
4.3 Massikeskme viimise katse süsteemi pöörlemise keskpunktile lähemale .....	42
4.4 Elektrikomponentide optimeerimine .....	44
KOKKUVÕTE .....	47
KASUTATUD KIRJANDUS .....	48
LISAD .....	51

## **EESSÕNA**

Antud lõputöö teema algatati Tallinna Tehnikaülikooli professori Lauri Kütti isiklikust projektist, et toota päikeseenergiast elektrit, kasutades päikest järgivat süsteemi. Töö koostati Tallinna Tehnikaülikoolis, kasutades olemasolevaid andmeid.

Lõputöö autor soovib avaldada tänu oma kursusekaaslastele, kes motiveerisid ning toetasid autorit. Samuti avaldatakse tänu juhendajale Leo Tederile ning kaasjuhendajale Vahur Maaskile.

## **LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU**

PV - Fotogalvaaniliste elementidega elektrienergia tootmisviis

CVP – Elektrienergia tootmisviis päikesekiirguse koondamisel parabool-pegli abil

MDF - Keskmise tihedusega puitkiudplaat

PETG - Polüetüleentereftalaatglükool, plastik

PTFE – Polütetrafluoroetüleen, teflon

## SISSEJUHATUS

Tänapäeval on aina suurem eesmärk minna üle taastuvatele energiaallikatele, et kasutada vähem fossiilkütuseid ning vähendada kasvuhoonegaaside tekkimist. Üks parim taastuvenergia allikas on päike. Päikese asukohta järgiv parabool-peegli päikesekollektori eesmärk on muuta päikeselt saadud soojusenergia elektriliseks energiaks, kasutades termoelektrilisi elemente.

Taltechis olemasolev päikest järgiv kande süsteem on olemasolevate laagrite ja jõusüsteemiga raskesti liigutatav ning vajab käitamiseks elektrilist võimsust, mida süsteem pole võimeline vajalikus suuruses pakkuma. Töö eesmärk on olemasoleva kande süsteemi alusel koostada põhjalik liikumist kirjeldav mudel ja selle abil töötada välja lahendus kande süsteemi liigutava täiturmehhanismi paigutamiseks ning selle võimsustarve vähendamiseks.

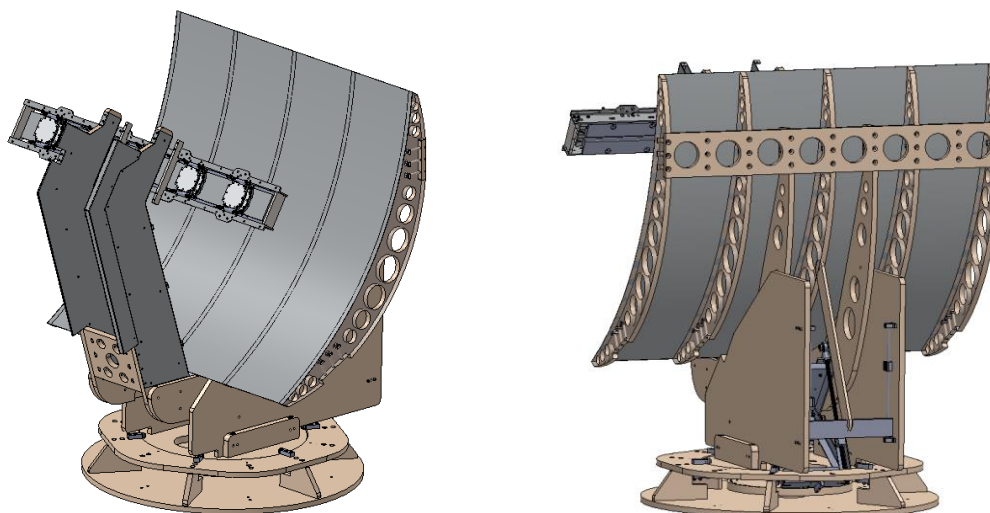
Antud bakalaureusetöö annab ülevaate olemasolevast päikest järgivast süsteemist, kus seletatakse milliseid meetodeid on süsteemis kasutatud ning miks on vaja süsteemi muuta. Selgitatakse elementide ehitust ning kasutusviise. Uuritakse täpselt päikese trajektoori Eestis nii suvisel kui ka talvisel pööripäeval, et teada mis on miinimum ning maksimum päikese liikumise aeg ja kaldekraadid. Selgitatakse päikeseenergia vajadust ja erinevatest päikeseenergia tootmisvõimalustest. Analüüsitakse olemasoleva päikest järgiva süsteemi parendamise variante ning põhjendatakse lahenduste eeliseid ja puuduseid. Võrreldakse omavahel erinevaid mehhanisme süsteemi efektiivsemaks muutmiseks. Töö hõlmab süsteemi modelleerimist, kasutades saadud lahendusi. *Solidworks* programmis projekteerida uus parendatud päikest järgiv süsteem. Pärast mudeli valmistamist on võimalik uus mudel valmis ehitada, kuid antud töös ei parendata termoelektriliste elementide ja päikesekollektori süsteemi parendamist.

Päikest järgivast süsteemist on Eestis koostatud mitmeid lõputöid, kuid süvitsi on mindud peamiselt päikesekiirguse kollektori osast. Pole saadud efektiivset parabool-pegli päikesekollektorit, mistõttu antud lõputöös on kõige olulisem leida parendusviisid olemasolevale süsteemile. Samuti, et oleks fotogalvaaniliste elementidega päikeseenergia tootmise kõrval teine alternatiiv.

# 1. OLEMASOLEVA PLATVORMI KIRJELDUS JA ANALÜÜS

## 1.1 Päikese asukohta järgiva kandevsüsteemi kirjeldus

Päiksekollektori ülesanne on keerata end päikese suunas ja muuta peegli kaldenurka nii, et päikesevalgus mis kiirgub peeglile oleks maksimaalne. Kandevsüsteem järgib päikest, et parabool-peegliga koguda päikesekiirgus kollektorile. Olemasoleva kandevsüsteemi mudel on näidatud joonisel 1.1. Päiksekollektor koosneb üldiselt pöörlevast ning kallutatavast alusest, nõgusast paraboolpeeglist, termoelektrilistest elementidest, mootoritest, vee jahutussüsteemist, juhtimissüsteemist jne. Kandevsüsteemi konstruktsiooni materjalideks on kasutatud terast, alumiiniumit ning MDF-plaati ehk keskmise tihedusega puitkiudplaati. Lisades 3 ja 4 on joonised kandevsüsteemi ees- ning tagavaatest.



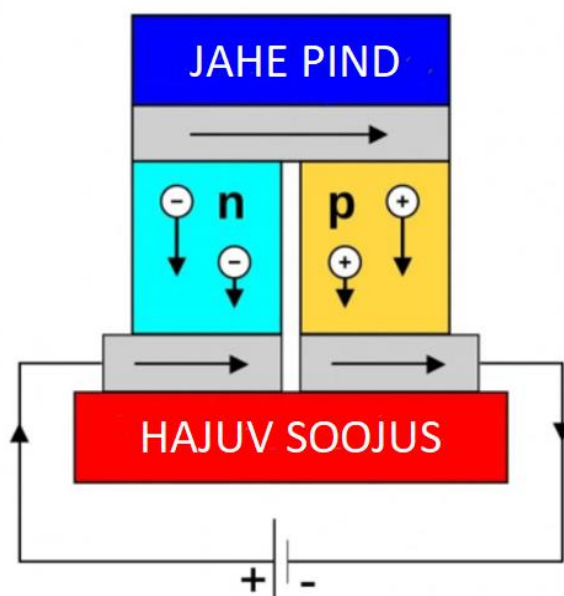
Joonis 1.1 Olemasoleva kandevsüsteemi mudel

### 1.1.1 Päikesekiirguse koguja

Päikesekiirguse koguja on seade, mis koosneb metall- ja pooljuhtidest. Alumiiniumist pooljuht on asetatud kahe soojust juhtiva plaadi vahele. Antud plaadid on Peltier'i pooljuht-elementid, mis võimaldavad voolu abil soojusel liikuda ühelt poolelt teisele, sõltuvalt voolu polaarsusele. Peltier'i efekti pöördnähtuse ehk Seebecki efekti tõttu on võimalik temperatuuri vahe tõttu elektrit toota. [1]

Seebecki efekt avastati 1821. aastal Thomas Johann Seebecki poolt. See on termoelektriline protsess, kus kahe erineva soojust ja elektrit juhtiva plaadi vahel tekib vooluringi ühendamisel elektromotoorjõud. Kui üks plaatidest saab soojust, siis soojust saanud elektronid liiguvad külmemale plaadi poole. Ehk kui plaadid on ühendatud vooluringi, hakkab alalisvool seal läbi liikuma. [2]

Peltier'i efekt avastati 1834. aastal Jean Charles Athenase Peltier'i poolt. See on termoelektriline protsess, kus ühte kahest soojust ja elektrit juhtiva plaadist jahutatakse ja teist plaati soojendatakse, kui vooluringis on olemas vool. Seda nähtust kasutatakse tavaliselt termoelektrilistes soojuspumpades ning jahutussüsteemides. [3] Joonisel 1.2 on näidatud Peltier'i efekti demonstratsioon:



Joonis 1.2 Peltier'i efekti demonstratsioon [3]

Kogu termoelektriline süsteem toimib nende kahe plaadi temperatuuri erinevuse tõttu. Ühel plaadil on kõrge temperatuur, mis saadakse päikeselt ning teisel plaadil on madal temperatuur, mis saavutatakse vee jahutussüsteemiga. Tänu temperatuuride erinevusele, tekib plaatide vahel olemas pooljuhis elektrivool ning pinge. Kõrgema temperatuuriga plaat on võimeline saavutama ligi 300 °C, teine plaat on ühendatud jahutussüsteemiga, mistõttu temperatuuriks on 20 °C kuni 40 °C. [4] Kuna külm ja kuum plaat on üksteisele väga lähedal, siis tekib raskusi tõhusaks soojusvahetuseks. Samuti on oleneb tootlikus suuresti vajalikust temperatuurivahest, kuna soojus ajendab elektrone liikuma jahedamale poolele, mistõttu tekib elekter. Koos jahutussüsteemiga on võimalus ka kasutada seda süsteemi kui soojavee allikana, mis tõstaks süsteemi kasutegurit veelgi. [5]

### **1.1.2 Parabool-peegel**

Üheks olulisemaks elemendiks on parabool-peegel, mis on pindalaga 1,5 m<sup>2</sup>, kuid sellest alast on tootlikuks pindalaks ainult 1m<sup>2</sup>. Ülejäänud ala on peeglile tekkiv varjupindala [6]. Päikesekiirgus fokuseeritakse peegli abil kiirguse kogujas oleva alumiiniumlati ette, süsteem peab olema võimalikult väikeste soojuskadudega. [6]

Peegli kallutamiseks on kasutatud kuulkruvi ülekannet, mis muudab pöördliikumise kulgliikumiseks. Kuullaagri kuulid, mis liiguvad keermestatud lati soontes, kannavad edasi energiat. Kuulkruvi võimaldab kannatada suuremat raskust ning minimaliseerida hõõrduvust tänu kuulikestele. Samuti on see ülekanne ligikaudu 90% efektiivne. Madala hõõrdeteguri tõttu on võimalik hoida kokku energiat konstruktsiooni liikumisel ning ka remondi ja hoolduse arvelt. Lisaks peab kuulkruvi vastu suuri koormuseid. Puudusteks on aga võimalus, et kuulkruvi võib tagasi vajuda madala hõõrdumise tõttu. [7] Parabool-peegel oma nullasendis on kallutatud vastavalt päikese kõrgema positsiooni järgi. Päikesetõusu ning -languse ajal toimub kuulkruviga peegli keskkohast kallutamine peegli põhja ümber.

### **1.1.3 Elektrikomponendid**

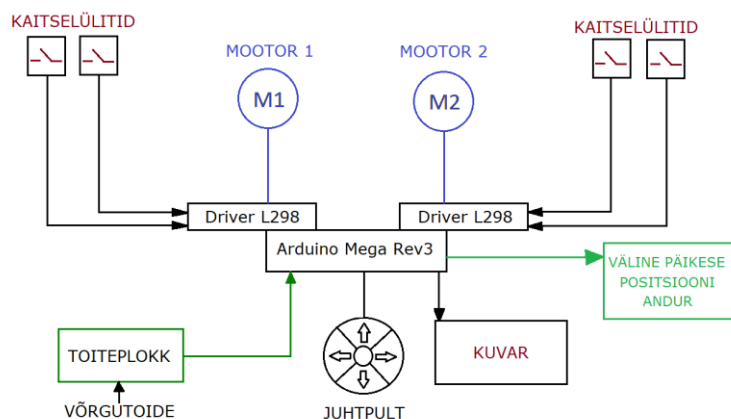
Olemasoleva kande süsteemi jaoks kasutatakse toiteplokki, mille sisendpingeks on 9V ja sisendvooluks 2 A. See teeb kande süsteemi võimsuseks 18 W. Sellest jääb aga kande süsteemi liigutamiseks väheks. Ühe töötükli jaoks vajaminev jõud on teadmata. Praeguse kande süsteemi projekteerija sõnul eeldatav võimsus oleks 25 W. Süsteem liigub ühelt poolelt teisele umbes viie minutiga, seega edasi ning tagasi liikumiseks kulub 10 minutit. Ei ole aga teada, kui palju jõudu selleks vaja on. Kande süsteemile tuleb valida ka uus toiteplokk, kuna kasutatav toiteplokk ei ole töökindel.

Pööramiseks on valitud alalisvoolu samm-mootor QMot QSH4218-51-10-049, mille nimipingeks on 5 V ja nimivooluks 1 A. Kuna antud toiteplokk on stabiliseerimata, siis väljundi alalispinge väärtus muutub vastavalt sisendpinge kõikumisele ja väljundis olevale koormusele.

Üheks probleemiks osutub kande süsteemi raskus ning raskuse jagunemine. Juba kiirguse vastuvõtja kaalub ligikaudu 50 kg, platvorm ise umbes 30 kg. Platvormi liigutamisel tekib komplikatsioone raskuse jagunemise tõttu, kuna platvormi



massikeskmeks ei ole süsteemi keskpunkt. Massikeskpunkt liigub kiirguse vastuvõtja poole, selle suure raskuse tõttu. See tekitab aga ebatasakaalu süsteemis.



Joonis 1.3 Süsteemis kasutusel oleva juhtimisploki skeem

Joonisel 1.3 on koostatud lihtsustatud plokkskeem kandeüksüsteemi juhtploki. Võrgutoite kaudu saab toiteplokk toite ning see on ühendatud Arduino Mega Rev3-ga, Arduino on ühendatud mootorite draiveritega, milleks on Driver L298 mõlema mootori puhul. Mõlema driveriga on ühendatud kaitselülid. Kandeüksüsteemi juhtimine toimub juhtpuldiga kus on olemas liikumine vasakule ja paremale ning üles ja alla. Samuti on olemas juhtploki kuvar, kus näidatakse käsklust. Arduinoga on ühenduses ka väline päikese positsiooni andur. Joonisel 1.4 on näidatud ilmastikukindlas kilbis olev juhtimisplakk.



Joonis 1.4 Ilmastikukindlas kilbis olev kandeüksüsteemi juhtimisplakk

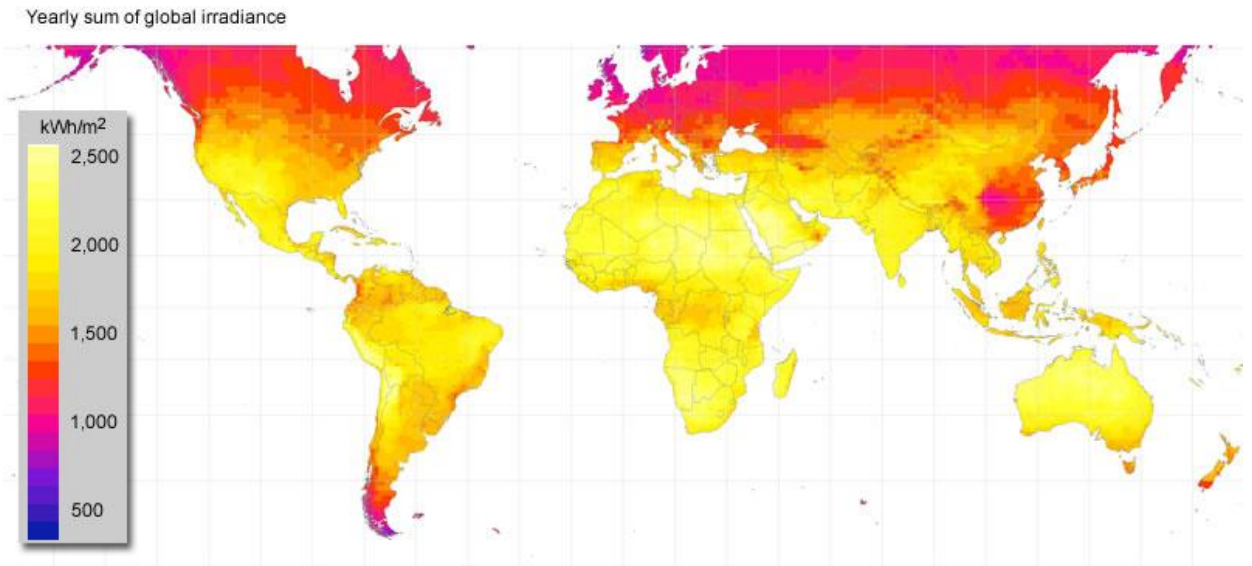
## 1.2 Päikese trajektoor ja selle järgimine

### 1.2.1 Päikeseenergia tootmine

Päikeseenergia on ohutu alternatiiv, mis võimaldab asendada fossiilkütused, elektri tootmiseks. Päike on allikas, mis ei saa niipea otsa ning mida on võimalik kasutada mitmel erineval viisil terves maailmas. Päikeseenergia kasutamine võimaldab piirata kliimamuutust, kuna ei eraldu kasvuhoonegaase. Üheks päikeseenergia kogumisviisiks on PV ehk fotogalvaanilisi elemente kasutades elektronide eemaldamine nende aatomitest ning kiiruse tõstmine, et teisendada päiksekiirgus elektriks. See viis on üpris kallis ning populaarseks materjaliks fotogalvaanilises elemendis on silikoon. Silikooni puuduseks on kõrge hind ning madal kasutegur, kuna see püüab ainult osa valgusest, mis kiirgub [8].

Teiseks päikeseenergia kogumisviisiks on CVP ehk kontsentreeritud päikeseenergia tootmine parabool-pegli abil, mida kasutatakse ka antud lõputöös. [9] CVP eesmärk on koguda päikese kiired ühte fookuspunkti peegli abil. Et protsess oleks efektiivne, peab süsteem olema otse päikese suunas, seetõttu peab süsteem ka järgima päikest päeva jooksul. Selleks peab süsteem peeglit liigutama nii vertikaalselt kui ka horisontaalselt. [10] See meetod on kasulik, kuna see võimaldab hoiustada energiat hilisemaks kasutuseks ning on odavam. Kokku on neli erinevat CVP võimalust, tasapinnalise konsentraatoriga reguleeritavate peeglitega koguja, silindrilise konsentraatoriga parabool-kollektor, ringikujulise konsentraatoriga päikesekollektor ja paraboolse peegli konsentraatoriga koguja [11]. Antud töös kasutatakse viimast varianti.

Aastas Maale langeva Päikese kiirgusenergia hulk on umbes 640-2400 kWh/m<sup>2</sup>. Selline vahemik kiirgusenergiat jaguneb Maakera peale ebaühtlaselt ning on näidatud joonisel 1.5. Eestis jõuab maapinnale ligikaudu 969,2 kWh/m<sup>2</sup> aastas [12]. Päikesekiirguse hulk, mis maapinnale jõuab, oleneb geograafilisest asukohast, kellaajast, aastaajast, maastikust ning ilmast. Ka hajuvust, neelduvust ja peegeldust tuleks võtta arvesse. Ideaalsel päeval võivad atmosfäärilised tingimused vähendada otsest kiirgust kuni 10%, kuid halval/pilvisel päeval kuni 100%. Peamiselt kaob otsene kiirgus õhu molekulide, veeauru, pilvede, tolmu, saasteainete ja tulekahjude tõttu. Päikese liikumine mõjutab oluliselt päikesekollektori poolt vastuvõetava võimsuse hulka. Päikese ja neelava pinna vahelise nurga muutudes väheneb intensiivsus pinnal. [13]



Joonis 1.5 Aastas Maale langeva Päikese kiirgusenergia hulk kWh/m<sup>2</sup>

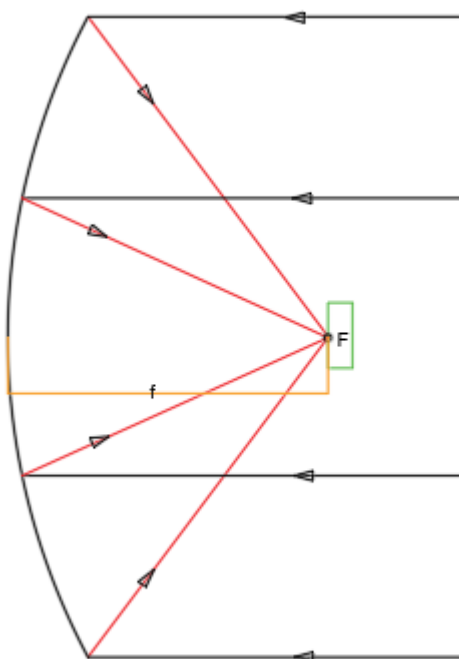
### 1.2.2 Päikese trajektoor ja selle järgimine

Eesti asub Maakeral  $24,75^\circ$  laiuskraadil. Kui uurida, kui palju Päike päevas liigub, on hea võtta näiteks suvine pööripäev ehk 21.juuni, mil on põhjapoolkeral pikim päev ja lühim öö. Päike liigub ligikaudu  $15^\circ$  päevas. Märgiti üles Eesti suvise pööripäeva kaldenurgad iga kümne minuti tagant, selle kaudu saadi teada, et päikese maksimaalne kaldenurk on  $84,04^\circ$  kella 13.50 paiku. See tähendab, et kande süsteemis oleva peegli kaldenurk peab horisondi suhtes muutuma maksimaalselt ainult  $84^\circ$  võrra, maapinna suhtes  $55^\circ$ . Samuti päike püsib siis taevas ligikaudu 18 tundi. Talvisel pööripäeval, ehk 21.detsembril on päike aga kõige vähem taevas. Päike tõuseb maksimaalselt  $42,35^\circ$ -ni horisondi suhtes kella 12.20 ajal ja päikesevalgust on ainult ligikaudu 8 tundi. Kaldenurgad ning kellaajad on saadud Päikese positsiooni kalkulaatorilt, kus sisendiks antud Tallinna Tehnikaülikooli asukoht. [14] Peegli maksimaalne ning minimaalne kaldenurk on toodud lisades 1, 2 ja 3.

Tasapeeglile langev valguskiirgus ei muuda oma kuju peegeldudes, see tähendab et paralleelne valguskiirgus jääb paralleelseks. Nõguspeegel on sile ja nõgus pind, mis peegeldab valgust. Kõik nõguspeegli peateljega paralleelselt langevad valguskiired peegelduvad koonduvaks valgusvihiks selliselt, et nad läbivad kõik ühte punkti, milleks on peegli fookus. Nii saab nõgusa peegli abil päikese kiiri tule süütamiseks koondada. Seetõttu on nõgusa parabool-peegli kasutamine antud töös kõige efektiivsem, kuna valguskiired koondatakse ühte fookuspunkti ning nii saab maksimaalse soojuse antud kiirgusest. [15]

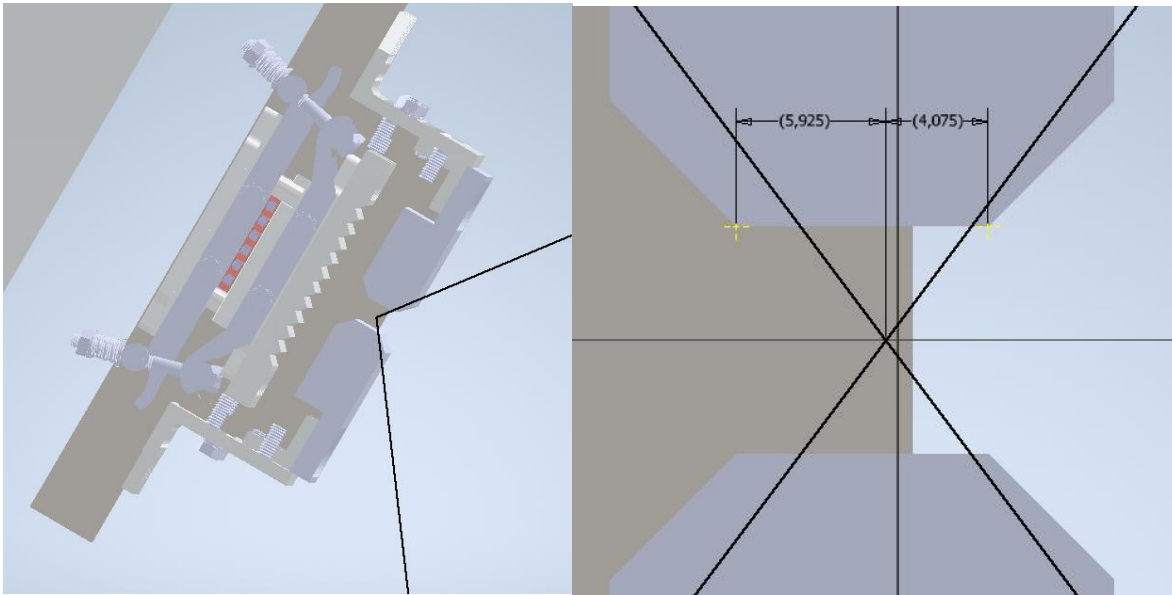
Joonise 1.6 pealt on näha päikese kiirte langemist parabool-peeglile ning peegeldumine päikesekiirguse kogujale. On ka näha, et peegli keskele tekib vari, kuna koguja jääb päikesekiirtele ette.

Antud töös fookuspunkt  $F$  asub päikesekiirguse koguja ees, see võimaldab päikese kiirte peegelduda koguja peale koondatult ühte punkti. Seega kogujale tulev päikesekiirgusest tulenev soojushulk on maksimaalne.



Joonis 1.6 Päikese valguse peegeldus parabool-peeglit päikesekiirte kogujale kõrvalvaates

Joonise 1.7 pealt on näha, et päiksekollektori pilu seinadele tehtud faas on liiga väikse nurga all ning päiksekollektor asub vales asukohas. Pilu küljelt vaade peegli servadelt tulevate kiirte projektsioonis. Uus raam tuleks teha nii, et päikse koguja oleks 0,925 mm peegli poole. Ja et päiksekollektori 45 kraadised pilu faasid suuremaks teha, siis saab süsteem rohkem päikest. Päriselus nii väikese suuruse tõttu ei ole mõttet kollektorit parabool-peeglile lähemale tuua, kuna see võib juba mõjutada ülejäänud protsessi. Esialgne mudel on selle suhtes veidi valesti koostatud.



Joonis 1.7 Mudelis olemasoleva päikesekiirguse kogujale langevate kiirte jaoks tehtud pilud

Päikesekiirguse kogujale oleks võimalik teha seal asuvasse alumiiniumplaadile niioelda augud sisse, et peeglile kiirguks veel rohkem päikest. See aitaks füüsiliselt raskuse vähendamisele kaasa, kuid probleem võib tekkida kiirguse koguja töö tegemisel. Plaadi pindala, kuhu päike kiirguks oleks väiksem, mis vähendaks temperatuuri plaadil ning energia muundamine muutuks raskemaks.

On ka võimalus teha kiirguse kogujat hoidvat alust ümber. Olemasoleval süsteemil hoiab kiirguse kogujat kaks plaati. Need ei jää küll peeglile suure pindalaga ette, kuid üheks lahenduseks, kuidas peeglile kiirguks rohkem päikest, oleks kiirguse kogujat hoidva osa muutmine. Kuna kiirguse koguja on laiuselt sama lai kui peegel, on võimalik peegli külgedelt kiirguse kogujani uued toed teha. Selleks oleks vaja teada täpset kiirguse koguja raskust koos jahutussüsteemiga, kuna need toed võivad mitte vastu pidada raskuse all. Toed oleks alumiiniumprofiilidest.

## **2. PLATVORMI PARENDAMINE JA OPTIMEERIMINE- MEHAANILINE STRUKTUUR**

### **2.1 Platvormi parendamise võimalused**

Olemasoleva päikese järgimissüsteemi parendamiseks oleksid võimalikud lahendused järgmised.

#### **2.1.1 Mehaanilised parendusviisid**

Esmalt on probleemiks süsteemi raskus ning raskuse jagunemine. Peamiseks võimaluseks on kogu süsteem, mis langetab ning tõstab peeglit, liigutada alusel tahapoole, ehk peegli osa jääks rohkem keskele, ning koos sellega termoelektriline kiirguse vastuvõtja liigub samuti keskele poole, mis liigutaks raskuskese keskele poole.

Olemasolev kande süsteem koosneb suuremast osast MDF-plaadist, mis on peamine põhjus, miks süsteem kaalult nii raske on. Lahenduseks oleks konstruktsiooni ümber ehitamine, kasutades kas alumiiniumist või terasest moodustatud raam. Alumiiniumi eeliseks oleks kergus, vastupidavus õhu ning vee suhtes. Puuduseks on aga väike mehhaaniline vastupidavus ja kõrgem hind kui terasel. Terasel eelisteks on hea mehhaaniline vastupidavus ja soodne hind, puuduseks on aga suur tihedus, mis muudab materjali raskeks.

Üheks kande süsteemi parendamise viisiks oleks muuta peegli pöördekeskpunkt. Olemasoleva kande süsteemi peegli pöördepunktiks on keskosa ning kuulkruvi süsteem rakendab peegli alumisele osale jõudu, kallutades peegli alumist osa ettepoole või tahapoole. Kui viia peegli pöördepunkt parabool-peegli ülemisse äärde või alumisse äärde, oleks võimalik peeglit kergemini liigutada ning seetõttu ka väheneks vajadus jõu suurusele, et seda süsteemi liigutada.

Iga kilogramm, mida saab kande süsteemis olevast peegli, päikesekiirguse kogujalt või raamilt vähendada, on suur võit süsteemi parendamiseks. Raskuse vähendamine tooks peegli raami massikeset seda tõstva süsteemi kohale, mis suurendaks jõuõlga. See võimaldaks vähema jõuga teha sama palju tööd. Kogu mass mida raami pealt

kokku hoida saab, kandub üle kogu süsteemi jaoks samuti võiduna. Olemasoleval kande süsteemil on tehtud mudelil pöörlemise keskpunktist massikese peegli poole 55 mm, mis võib ka rohkem olla, kuna keermelatte ja liigendeid on valmisoleval mudelil pikemaks tehtud, kuid skitseeringuid tehes kasutas töö autor 55 mm. Liikuvaid osasid arvestades, kuid mitte alusraami, kaalub ligikaudu 84 kg, ning peegel 64 kg. Siis on näha, et kaotades peegliraamist ja päikesekiirguse kogujast umbes 15% massist, siis oleks massikese rohkem pöörlemise keskpunkti poole, mis vähendaks inertsmomenti kui ka hõõrdemomenti.

Süsteemile lisandub ka jahutussüsteem, see lisab veel päikesekiirguse kogujale kaalu juurde. Jahutussüsteemi vedelikku saaks mujal ära kasutada, mis tõstaks süsteemi kasutegurit. Näiteks kui kasutada mitu sellist kande süsteemi kõrvuti, saaks kasutada jahutusvedelikku näiteks majas tubade kütmiseks.

Uus parabol-peegli kande süsteem ei tohiks olla laiem, kui olemasolev, sest muidu tuleks võit küll kaalus, kuid kaotaks päikese ja kasulikus pinnas. Uus raam koostada alumiiniumist oleks parem oma tugevuse poolest. Samuti oleks ümbertegemisel ainult peeglit hoidev raam, kuna alus, mida kasutatakse pööramiseks, ei mõjuta süsteemi raskuse poolest. Seega vajalik uus raam oleks vaid parabol-peeglit ning kiirguse kogujat kandva osaga. Massikese tuleks pöörlemise keskpunktile võimalikult kohale saada.

Platvormi parendamisega tuleks arvestada ka asukohta, kuhu oleks mõistlik süsteem paigutada. Üheks variandiks on muidugi maapinnale asetada, kuna siis on kande süsteemil kerge ligipääsetavus ning parem hooldada. Sellisel juhul tuleb aga arvestada, et keskkond peaks olema üpris lage puudest ning kõrgetest majadest, et mitte jääda päikese ette. Katusele asetades oleks kindlustatud, et platvorm ei jääks varju. Küll aga tekiks probleemiks süsteemi raskus, äikese löögi oht ning suureneks purjeefekt. Parendatud süsteem on ette nähtud kaaluma vähem, kuid ka see võib olla katusele paigutamiseks liiga raske. Katusele kinnitamine tekiks samuti probleemiks ja platvorm näeks katusel üpris kohmakas välja. Kindlam oleks seega asetada süsteem maapinnale.

Talvisel ilmastikuolul segaks peeglile langev lumi, jää teke peeglile kui ka kogujale. Niigi raskele süsteemile võib sulalumi veel raskust lisada, mis oleks suureks miinuseks. Külmas keskkonnas on keerulisem toota elektrienergiat, kuna soojushulk millest energiat muundada ei ole piisav. Soojematel ning päikeselistel päevadel on võimalus siiski olemas. Selleks aga on vajalik kuidagi kaitsta süsteem lume ning

jäätumise eest. Kasuks tuleb talvisel ajal päikese liikumine, kuna päike ei tõuse taevas kõrgele, on peegel rohkem vertikaalselt, mis aitab paremini lumel mööda peeglit maha libiseda ja mitte sinna peale jääda. Lund on võimalik ka õrna harjaga maha lükata, et mitte kahjustada peegli pinda. Päikeselisel päeval aitab ka lume sulamine peeglit puhtana hoida. See aga tähendab, et süsteemi tuleb pidevalt hooldada, ehk süsteemi katusele paigutamine talvel ei ole kasulik.

### **2.1.2 Elektriliste komponentide optimeerimisviisid**

Täiturmehhanism on süsteemi osa, mis toidet saades loob eesmärgist sõltuvaid liigutusi. Peamiselt jaotuvad täiturmehhanismid lineaarseteks või pöörlevateks. Arvestades seda, et kande süsteem saab oma jõu elektrilisest toiteallikast, siis on mõistlik valida elektriline täiturmehhanism. On olemas nii lineaarne- kui ka pöördeline täiturmehhanism ehk samm- ning servomootor. Võimalik on ka integreerida lineaarset ja pöörlevat täiturmehhanismi, mis tagaks täpsema eesmärgiga töö. Elektrilise täiturmehhanismi juures tuleks tagada ilmastikukindlus. Olemasolevas kande süsteemis on kasutatud samm-mootorit, mis on hea valik, kuid on vaja tõsta tõhusust.

Kui valida lineaarne elektriline täiturmehhanism kande süsteemi jaoks, oleks eeliseid mitu. See variant säästaks kokku ruumi pealt. Samuti on see madala hooldusega, mistõttu ei kulu selle hooldamiseks palju aega ega raha. Lineaarne täitur tagab kindla liikumise ning täpsuse, aidates süsteemil liikuda päikese kiirguse suunas. See annab võimaluse vältida kõrvalekaldeid süsteemis.

Kande süsteemile tuleb tagada hea täiturmehhanism, et vähendada purjeefekti teket. Purjeefekt ehk tuulekoormus on mis tahes rõhu või jõu mõju, mida tuul objektile avaldab. Mida kõrgem on objekt, seda rohkem tuul mõjutab. Lahenduseks tuleks lisada tuulekaitseplaat. [16]

Kuulkrui süsteemi asemel oleks lahenduseks tiguülekanne, mis koosneb pöörlevast kruvist ja rattast, mille põial olevate hammastega hambuvad teo keermeniidid. Tiguülekanne on väike inertsus, väikese läbimõõdu ja tiguratta väikese pöörlemissageduse tõttu. Tiguülekanne on isepidurduv, ehk ei teki tagasivajumist, mis aitab soodustada positsioneerimist. Puuduseks on aga väike kasutegur ( $\eta = 0,4-0,5$ ) ning lõtkude, ehk ava ja võlli mõõtude vahe, kõrvaldamise raskused. Kasutegur väheneb veelgi, kui vajadus lõtku eemaldada. [17]



Olemasoleva kandeüksüsteemi pöörämisel ei ole teada vajalikku jõudu, mistõttu on vajalik mõõta pöördejõud dünamomeetriga. Vajalikku jõudu on vaja teada, kuna olemasoleval süsteemil ei ole piisavalt jõudu pööramiseks. Servomootoritega juhitud pöördesüsteemis olevad 3D-printitud hammasrattad on plastmassist, väikesed ning nõrgad, mistõttu tuleb printitud hammasrattad asendada tugevamast materjalist hammasrattastega näiteks terasest.

Süsteemi võimsusvajadust oleks võimalik parendada ka pööramiseks kasutatud hammasratta ülekannete määrimine. Olemasolevas kandeüksüsteemis on kasutatud PETG plastikust trükitud hammasrattaid, kuid ühendused on kuivad. Takistustegur on ligikaudu 0,25. PETG plastik on hea materjal 3D printimiseks. Lastes hammasrattastele näiteks PTFE määret peaks takistustegur vähenema. PTFE määre ehk teflonõli on madala hõõrdeteguriga universaalne õli, mis talub suurt survet ning laia temperatuurivahemikku [18]. See-eest oleks vaja aga ülekandele mingit katet, et hammasrattaste vahele ei satuks mustust või mõnda muud võõrkeha. Määritud hammasrattastega oleks võimalik vähendada kadusid juhtimisajamis. On ka variant teha uued hammasrattad tugevamast materjalist, näiteks freesida metallist, see on aga kallim variant.

Mootorite, laagrite ja hammasrattaste kaitseks, tuleks asetada kate kandeüksüsteemile, kuid mitte peeglile ega päikesekiirguse kogujale. Samuti tekib jahutussüsteemis oleva veega probleem, kuna vesi võib ära jääda. Oleks võimalik kasutada ka 50% vesi-glükooli lahust, sest selline lahus kaitseks süsteemi jäätumise eest kuni  $-35^{\circ}\text{C}$ .

Elektrilise võimsuse vähendamiseks on järgnevad võimalused. Kui kasutada peegli kallutamiseks ehk vertikaalselt üles-alla liigutamiseks vastukaalusid. Tuleb jälgida, et raam oleks selle jaoks tasakaalus. Kuna ajamitele peaks mõjuma ainult jõud, mis on seotud liigendite hõõrdumisega, tuleks vältida ajamite koormamist. Ajameid on võimalik koormata mingite osade üles tõstmisega, seega vastukaal aitaks.

Liigendite hõõrdetakistuste vähendamine vähendaks ka vajalikku elektrilist võimsust. Liigendite hõõrdetakistust oleks võimalik vähendada, kui panna kas kõik liigendid kuullaagrite peale või kasutada võimalikult vähe määret. Kuid see tõstab jälle probleemi ilmastikuga. Laagrid tuleks teha ilmastikukindlaks, mis aga võib suurendada jällegi hõõrdetakistust.

Ülejäänud võimsustarve vähendamiseks võib ka valida uue ülekandesüsteemi ning ajami. Ülekanne tuleks valida vastavalt mootorile ning selle mootori elektrilisele

võimsusele. Kui kasutada võimalikult kõrge kasuteguriga ülekandeid siis sobiks olemasolevasse süsteemi näiteks planetaarülekanne. Sobivaks ülekandeks võib olla ka hammasrihm ülekanne.

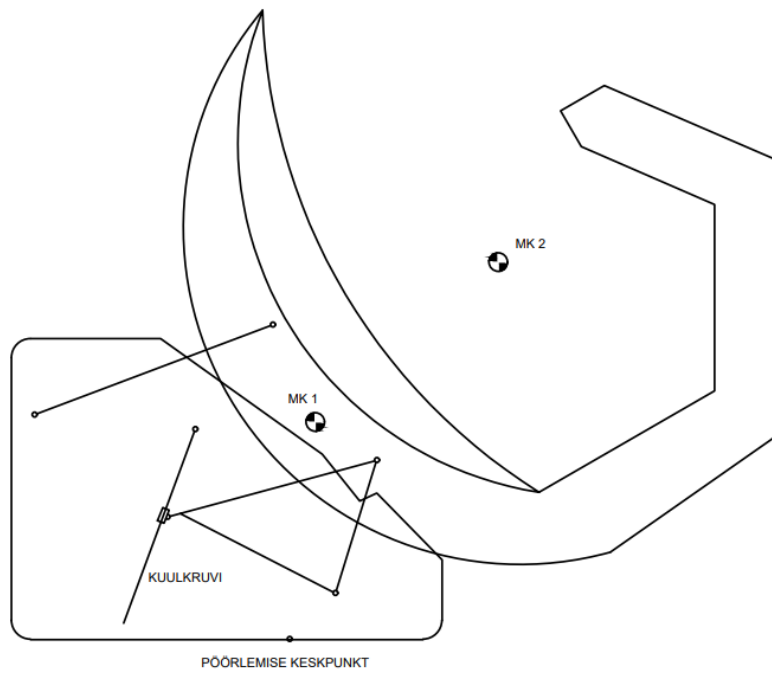
**Seega võimalused süsteemi parendusteks on:**

- 1) Liikuva massi vähendamine
- 2) Massikeskme liigutamine süsteemi pöörlemiskeskpunktile lähemale
- 3) Peegli pöördekeskpunkti muutmine
- 4) Purjeefekti vähendamine
- 5) Hammasratasülekande ümber tegemine ja määrimine
- 6) Vastukaalude kasutamine
- 7) Liigendite hõõrdetakistuse vähendamine

## **2.2 Platvormi mehaaniline struktuur**

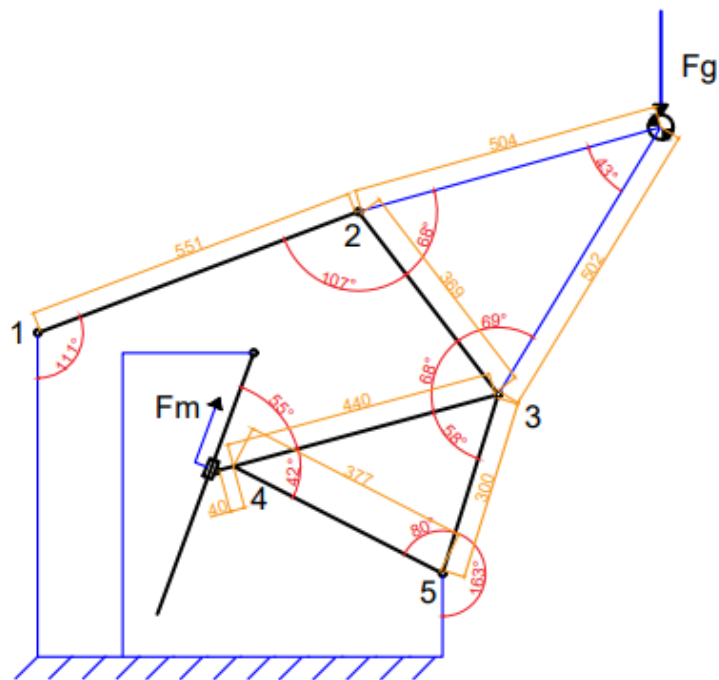
Olemasoleva kande süsteemi platvormi on muudetud peale viimase 3D mudeli valmimist. Seetõttu on töö autor teinud skitseeringu süsteemist, mis on füüsilise mudeliga kooskõlas. Kõrvalvaates on joonisel 2.1 esitatud süsteemi kallutamiseks vajalik raam. Peegli kallutamiseks ette liigub kuulkrugi abil raam ülespoole, ning allapoole liikudes kallutub peegel taha. Seadme nullasendis on peegel 26 kraadi maapinna suhtes. Peeglit kallutatakse 55 kraadi maapinna ehk aluse suhtes.

Joonisel 2.1 on toodud ka pöörlemise keskpunkt. MK1 on terve süsteemi massikesk, mis asub pöörlemise keskpunktist 55 mm paremale ehk peegli suunas. MK2 on ainult peegli ja päiksekiirguse koguja massikesk, mis asub 450 mm pöörlemise keskpunktist paremale.



Joonis 2.1 Lihtsustatud kallutussüsteemi raam olemasoleval süsteemil

Kinemaatikaskaem on toodud joonisel 2.2, kus on toodud ka liigendite vahelised mõõdud, massikese ning kuulkruvi. Süsteemil on viis liigendit, kus platvormi külge fikseeritud on kõik liigendid, kuid süsteemi kallutamisel muutub teise ja neljanda liigendi vaheline nurk.



Joonis 2.2 Olemasoleva süsteemi kinemaatikaskaem

Et liigutada massikese pöörlemise keskpunktile lähemale, tuleb teada, kus need olemasoleval süsteemil paiknevad. Kasutades *Solidworks*i tarkvara, kasutati selle tegemiseks 3D mudelit, millel ei ole uuendusi olemasoleva raami suhtes tehtud. Töö autor kasutab esialgsete skitseeringute ning arvutuste jaoks siiski 3D mudelilt saadud mõõte. Pöörlemise keskpunktist asub massikese 470 mm raami põhjast ning 55 mm peegli poole. Massikeskmesse rakendatud raskusjõud tekitab momendi, kui massikese ja pöörlemise keskpunkt ei ühti, mistõttu pöörlev konstruktsioon on tasakaalust väljas. Massikese asukohta teades, on võimalik koostada kinemaatikaskaem ning arvutused momentide leidmiseks. Arvutused on seotud joonisega 2.3.

Arvutustes kasutatud andmed on järgmised:

$$r = 36 \text{ mm}$$

$$R = 198 \text{ mm}$$

$$m = 73,8 \text{ kg}$$

$$d = 0,022 \text{ m}$$

$$1. \text{ hammasratta ülekanne } \dot{u}k1 = 3,6$$

$$2. \text{ hammasratta ülekanne } \dot{u}k2 = 4$$

$$3. \text{ hammasratta ülekanne } \dot{u}k3 = 1,39$$

$$\mu = 0,003 [19]$$

Mootori andmelehel:

$$\text{mootori pöördemoment } 1A \text{ juures} = 0,49 \text{ Nm}$$

Raskusjõud leiti järgnevalt:

$$F_g = m * g = 73,8 * 9,81 = 723,98 \text{ N} \quad (2.1)$$

kus  $F_g$  – raskusjõud, N

$m$  – mass, kg

$g$  – raskuskiirendus,  $\text{m/s}^2$

Kuna süsteemi pöörlemisalusel on 13 laagrit, leiti hõõrdetegur:

$$\mu = 13 * 0,003 = 0,039 \quad (2.2)$$

kus  $\mu$  – hõõrdetegur

Hõõrdejõu ületamiseks vajalik jõumoment leiti valemiga:

$$T_f = F_g * \mu * d = 723,98 * (0,039) * 0,022 = 0,62 \text{ Nm} \quad (2.3)$$

kus  $T_f$  – jõumoment, Nm  
 $d$  – laagri diameeter, m

Kandevsüsteemi inertsmoment leiti tarkvara *SolidWorks* abil:  $T_i = 10,75 \text{ Nm}$

Mootori pöördemoment 1. ülekandel leiti:

$$T_{m1} = \text{Sisendmoment} * \ddot{u}k1 = 0,49 * 3,6 = 1,76 \text{ Nm} \quad (2.4)$$

kus  $T_{m1}$  – pöördemoment 1. ülekandel, Nm  
*Sisendmoment* – mootori pöördemoment 1A juures, Nm  
 $\ddot{u}k1$  – ülekande tegur

Mootori pöördemoment 2. ülekandel leiti:

$$T_{m2} = T_{m1} * \ddot{u}k2 = 1,76 * 4 = 7,06 \text{ Nm} \quad (2.5)$$

Mootori pöördemoment 3. ülekandel leiti:

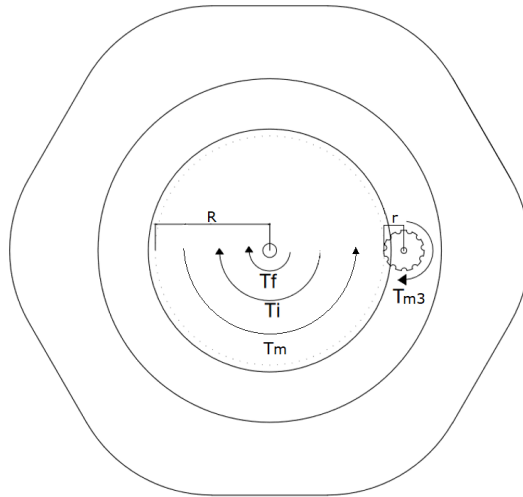
$$T_{m3} = T_{m2} * \ddot{u}k3 = 7,06 * 1,39 = 9,81 \text{ Nm} \quad (2.6)$$

Kandevsüsteemile mõjuv pöördemoment ideaalsetel tingimustel:

$$T_m = T_{m3} * \frac{R}{r} = 9,81 * \frac{198}{36} = 53,96 \text{ Nm} \quad (2.7)$$

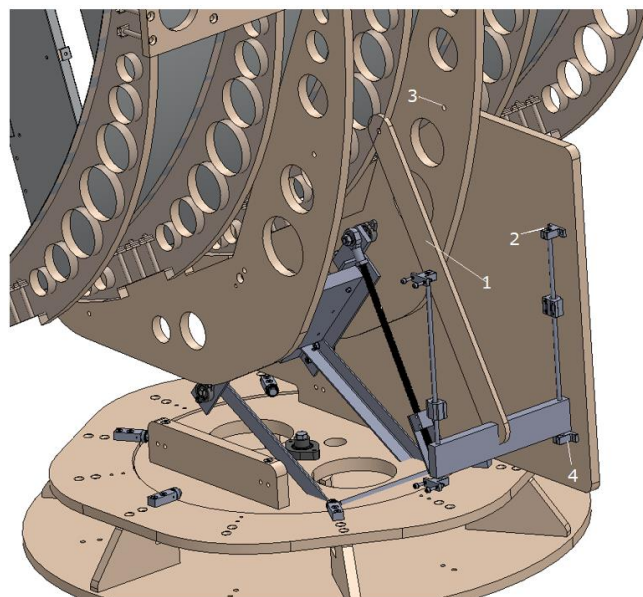
kus  $T_{m3}$  – pöördemoment 3. ülekandel, Nm  
 $R$  – suurema hammasratta raadius, mm  
 $r$  – väiksema hammasratta raadius, mm

Joonisel 2.3 on välja toodud põhjavaatena suurema hammasratta raadius  $R$ , väiksema hammasratta raadius  $r$  ning pöördemomendid. Mootoriga ajendatud hammasrattaid on kokku kolm tükki, mis ajendavad kogu kandevsüsteemi pööravat ülekannet. See-eest iga hammasratas suurendab mootori pöördemomenti.



Joonis 2.3 Põhjavaates välja toodud leitavad momendid

Peamised muudatused olemasoleva kandevsüsteemis, mis pole 3D mudelis uuendatud on järgnevad ning toodud on abiks joonis 2.4. Esmalt 3D mudelis olevas raamis ühendatud sild parabool-pegli ja raami vahel eemaldati olemasolevas süsteemis. Raami osa, kuhu sild on ühendatud, on mudelil külglaatide vahele asetatud alumisse äärde. Silla puudumise tõttu on raami osa liigutatud külglaatide ülemisse äärde. See tähendab, et joonisel olevas punktis 1 viidatud sild on süsteemist täielikult eemaldatud. Sillaga ühenduses olev sild on tõstetud ümber. Punktis 2 olev raami osa on kinnitatud punkti 3. Sama raami osa, mis on kinnitatud joonisel olevas punktis 4, on olemasolevas süsteemis kinnitatud punkti 2. Joonisel on eemaldatud süsteemis üks raami külgedest, et nähtavust parandada.

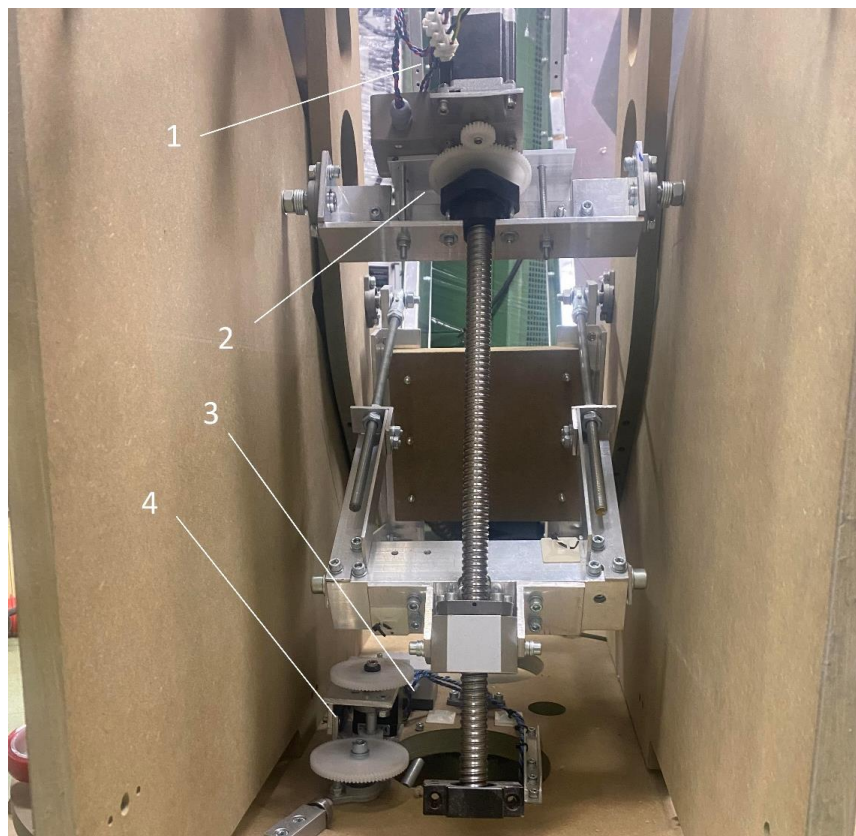


Joonis 2.4 3D mudelis olevad muutmata osad

Mudelilt on puudu ka hammasrattad ja mootorid. Hammasratta ülekannete kohta kogus töö autor informatsiooni olemasoleva kande süsteemi pealt. Terve pööramiseks kasutatud ülekande tegur on 20.

Joonisel 2.5 on toodud välja olemasoleva kande süsteemis paiknevad ülekanded ning mootorid. Joonisel viidatud punktis 1 on näha peegli kallutamiseks kasutatud NEMA23 samm-mootorit, mis ajendab hammasratta ülekandega kuulkruvi punktis 2.

Punktis 4 on näha hammasratas ülekannet, mida kasutatakse pööramiseks. Hammasrataste taga punktis 3 on pööramiseks kasutatud mootor, mis ajendab hammasrattaid. Hammasrattaid on näha ainult kahte, kuna kolmas on ringplaadi all peidus. Ringplaadi all peidus olev hammasrattaga olev ülekanne on samuti MDF plaadist tehtud ringplaat, millele on äärtesse puuritud augud ning nendesse paigaldatud poldid, mida kasutatakse puidust valmistatud hammasrattaga ülekande süsteemina.



Joonis 2.5 Olemasoleva kande süsteemi ülekanded ja mootorid

## 3. PARENDATUD PLATVORMI JAOKS KOMPONENTIDE VALIK JA ÜHENDAMINE

### 3.1 Toiteploki valik ja ühendamine

Parendatud kande süsteemi jaoks sobiliku toiteploki valik. Toiteplokki kasutatakse energia muundamiseks, et kasutatavat seadmet varustada sobivate parameetritega elektriga. Olemasoleva kande süsteemi jaoks kasutati toiteplokki mille väljundiks on 18 W võimsust, pingeks 9 V ja vooluks 2 A. Kande süsteemis olevad mootorid vajavad praeguse kande süsteemi projekteerija sõnul vähemalt 25 W võimsust. Kasutatud on toiteplokk MEAN WELL GE18I09-P1J. Pööramiseks on kasutatud samm-mootor QSH4218-51-10-049, mis on nimipingega 5 V ja nimivooluga 1 A. Tõstmiseks on kasutusel NEMA23 samm-mootorit, mis töötab 5 V ja 1,8 A juures. Nende mootorite juhtimiseks on olemas Arduino, mis töötab 9 V juures ja kasutab maksimaalselt 0,2 A. Ehk siis toiteplokk peab olema piisavalt suure võimsusega, et need tarbijad ära toita. Toiteploki võimsus leiti Oomi seaduse kaudu. Lisaks nendele on ka kasutusel madaldav pingemuundur, mis muudab 9 V sisendpinge mootoritele vajalikuks 5 V-ks. Seda tehakse kasuteguriga 0,9.

Vajalik võimsus leitakse valemiga:

$$P = \frac{U_1 * I_1}{0,9} + \frac{U_2 * I_2}{0,9} + (U_3 * I_3) = \frac{5 * 1}{0,9} + \frac{5 * 1,8}{0,9} + (9 * 0,2) = 17,4 W \quad (3.1)$$

kus  $U_1$  – pööramiseks kasutatava samm-mootori nimipinge, V

$I_1$  – pööramiseks kasutatava samm-mootori nimivool, A

$U_2$  – tõstmiseks kasutatava samm-mootori nimipinge, V

$I_2$  – tõstmiseks kasutatava samm-mootori nimivool, A

Heale insenerile tavaks korrutatakse see 1,5 läbi, et jätta ruumi voolu tippu tõusmiseks. Toiteploki võimsus peaks olema seega:

$$P = 1,5 * 17,4 = 26,1 W \quad (3.2)$$



Toiteplokk peab töötama ka alaldina, sest süsteemi toitmiseks kasutatakse 230 V vahelduvvoolu allikat. Lähim masstootmises olev standardse toiteploki võimsus on 30 W.

Töö autor võrdleb kolme toiteploki tabelis 3.1. Nordic Poweri poolt toodetud ATS030-A090 toiteplokk ning Traco Poweri poolt toodetud TPP 30-109A-D ja XP Poweri poolt toodetud EML30US09-S.

Tabel 3.1 Valitud toiteplokkide parameetrite võrdlus (Punasega välja toodud valitud toiteplokk)

Toiteplokk	Sisend- pinge, VAC	Väljund- pinge, VDC	Väljund- vool, A	Töö- temperatuur, C	Kogu- kaal, g	Hind, €
Nordic Power	100 ... 240	9,00	3,34	0° kuni 40°	240,0	14,64
Traco Power	85 ... 264	9,00	3,34	-40° kuni 85°	77,0	40.87
<b>XP Power</b>	<b>85 ... 264</b>	<b>9,00</b>	<b>3,33</b>	<b>-20° kuni 70°</b>	<b>35,0</b>	<b>62,40</b>

Toiteploki Nordic Power ATS030-A090 väljunditeks on fikseeritud 9 V ja 3,34 A. Sisendvool on maksimaalselt 0,7 A ning sisendpinge 100 V kuni 240 V. Toiteplokk suudab töötada temperatuuri vahemikus 0 kuni +40 kraadi. Suudab toimida suhtelises niiskuses kuni 80% ning ei vaja lisa jahutust. Toiteploki sisendühenduseks on IEC 60320 C8 otsik ja väljund ühenduseks on 2,1 x 5,5 mm Barrel otsikuga pistik. [20]

Traco Poweri TPP 30-109A-D toiteplokk, mille väljunditeks on fikseerimata 9 V ja 3,34 A. Sisendvool on maksimaalsel 0,4 A ja sisendpinge on 85 V kuni 264 V. Toiteplokk suudab töötada temperatuuri vahemikus -40 kuni +85 kraadi. Samuti suudab toiteplokk toimida suhtelises niiskuses kuni 95%. Toiteploki ühendusviisiks on THD ja PC pins. Toiteplokk ei vaja lisa jahutust ning tootja poolt antud keskmine aeg rikete vahel (MTBF) on kuni 3,3 miljonit tundi ehk ligikaudu 376 aastat. Mittekoormustatud tühijooksutarbimine antud toiteplokil on 60 mW, mis tähendab, et öösel, kui süsteemi ei liigutata kasutab kogusüsteem maksimaalselt ligikaudu 100 mW. Selline tarbimine toimuks ligikaudu kolm veerandikku aastast ehk ligikaudu 67 Wh energiat läheks kaduma. [21]

Toiteploki XP Poweri poolt toodetud EML30Us09-S väljunditeks on 9 V ja 3,33 A. Sisendpinge on vahemikus 85 V – 264 V ning toiteploki tööiga on 400000 tundi. Kasutegur on kuni 88 % ning võimaldab töötada temperatuuridel -20° – 70° ja niiskuses kuni 95 %. [22]

Nii Nordic Power kui ka XP Power on vaid kaitseastmel IP20 ehk tolmukindlad, Traco Poweril puudub kaitseaste täielikult. Mistõttu valituks toiteplokiks osutus XP Poweri poolt toodetud EML30US09-S toiteplokk. Kuna see toiteplokk on võimeline töötama miinus kraadidel, sest Eesti ilmastik on enamasti kuni  $-20^{\circ}$ . Samuti ka niiskuskindlus on XP Poweri kõige suurem. Hinnalt küll kõige kallim, kuid parameetrite puhul sobib kõige paremini. Joonisel 3.1 on toodud valitud toiteplokk.



Joonis 3.1 Uus toiteplokk XP Power EML30US09-S [22]

Toiteploki tuleb ka lisada ilmastikukindluse jaoks kilp. Kuna toiteplokk on vaid tolmukindel, tuleb kaitsta ka muude ilmastikuolude eest. Töö autor valis kaitsekilbiks LEGRAND poolt toodetud kilbi PLEX03 IP65, kus on üks rida ja ruumi nelja mooduli jaoks. Tuleb arvestada ka soojuspaisumist, mistõttu see kilp sobiks. Valitud kaitsekilp on toodud joonisel 3.2.



Joonis 3.2 Toiteploki jaoks vaja minev ilmastikukindel kaitsekilp LEGRAND PLEX03 IP65 601974

## 3.2 Elektrimootori valik ja ühendamine

Elektrilise võimsuse vähendamiseks oleks sobiv valida uus elektrimootor, mida kasutada kande süsteemi pööramiseks. Olemasolev süsteem kasutab pööramiseks alalisvoolu samm-mootor QSH4218-51-049 nimipingega 5 V ja nimivooluga 1 A.

Töö autor võrdleb elektrimootori valikuid. Nii samm-mootoril kui ka harjastevaba alalisvoolu mootoril ehk BLDC on kasutatud püsिमagnetiteid rootori pöörlemiseks. Samm-mootoril on suur pöördemoment eriti aeglastel kiirustel, mis sobiks olemasoleva süsteemi pööramiseks, BLDC on pöördemoment suur pigem kiirematel kiirustel. Samuti on pöörämiskiirus samm-mootoril väiksem. BLDC kiirust kontrollib sensor ning voolu suurust saab muuta, et muuta pöördemomenti. Samm-mootoril aga kiirus on pulseeriv, mis sobib sellele süsteemile paremini. Tööiga on aga BLDC mootoril kauem ning töötab vaiksemalt ja vähema vibratsiooniga. Samm-mootor aga eriti madalal kiirusel on väga vali ning suure vibratsiooniga. Samm-mootor on odavam kui BLDC mootor. [23] Seega töö autor teeb võrdlemisi samm-mootoritega.

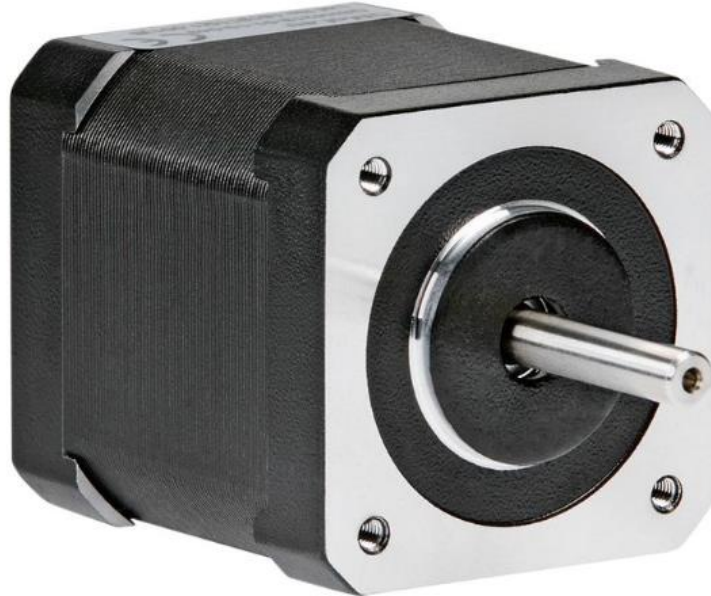
Töö autor võrdleb nelja samm-mootorit tabelis 3.2 Trinamic poolt toodetud QSH4218-51-10-049 NEMA 17, MotionKing poolt toodetud 8H2A33402 NEMA 8 ja Trinamic poolt toodetud QSH4218-35-10-027 NEMA 17.

Tabel 3.2 Valitud samm-mootorite parameetrite võrdlus (Punasega välja toodud valitud samm-mootor)

Samm-mootor	Nimivool, A	Pinge, V	Sammu nurk, °	Hoidev pöördemoment, Nmm	Võlli pikkus, mm	Võlli diameeter, Mm	Kogukaal, g	Hind, €
Trinamic NEMA 17 (049) [24]	1,00	5,00	1,8	490	24	5,00	280,0	96,50
MotionKing NEMA 8 [25]	0,20	5,00	1,8	20	20	4,00	62,68	48,33
Trinamic NEMA 17 (027) [26]	1,00	5,30	1,8	270	24	5,00	228,0	73,10

Võrdlustabelis 3.2 on märgata, et pinge ja sammu nurga poolest on kõik samm-mootorid samade parameetritega, kuid juba nimivoolu ja pöördemomendi juures on suur vahe Motionkingi ja Trinamic samm-mootorite vahel. Trinamicu QSH4218-35-10-027 puhul ei ole tegu standardpingega, et vältida lisaosade muretsemist, tuleks valida siiski standardpingega samm-mootorit. Samm-mootorite sammu nurk on võrreldavatel

mootoritel sama, milleks on  $1,8^\circ$ . Kuna Trinamic NEMA 17 on suurima pöördemomendi hoiduvusega valis töö autor just selle samm-mootori kasuks. Hinnalt on see küll kallim, kuid parameetritelt kõige sobivam. Joonisel 3.3 on toodud valitud samm-mootor. Kuna olemasolevas kandeüksüsteemis kasutati sama samm-mootorit, on juba teada, et mootor sobib, kuid olemasolev mootor tuleb välja vahetada.



Joonis 3.3 Uus samm-mootor pööramiseks Trinamic poolt toodetud QSH4218-51-10-049 NEMA 17

## 4. KATSED JA ANALÜÜS

Parendusviisideks valiti liikuva massi vähendamine ning uute elektrikomponentide valik. Samuti parendada praegust mehaanilist ülekande süsteemi.

Kandevsüsteemi parendusviisiks ei valitud purjeefekti vähenemist, kuna süsteem on liiga raske ja kohmakas, et asetada see katusele, siis purjeefekti eemaldamiseks lisatav tuulekaitseplaat pole vajalik. Kuna Eesti on üpris tuuline koht, siis aitab ka pööramiseks kasutatava samm-mootori hoidva pöördemomendi suurus suurele tuulele vastu. Ka peegli pöördekeskpunkt jäeti samaks, kuna parabool-peeglit toetava raami massi vähendus võimaldab peeglit kergemini tõsta. Samuti ei vahetatud välja samm-mootorid muu täiturmehhanismi vastu, kuna samm-mootoritel on suur pöördemoment just aeglaster kiirustel, seega sobib antud kandevsüsteemi. Parabool-peegli kallutamiseks jäeti kuulkrui süsteem tänu selle kõrgele kasutegurile.

### 4.1 Katsed raskuste tõstmisega

Katse sooritati Taltech'i NRG hoones, ruumis 317. Katse käigus uuriti kandevsüsteemi pööramiseks kasutatavat samm-mootorit ning ühte osa hammasülekandest. Elektrimootori juures uuriti, kas mootor vastab tootja poolt esitatud parameetritele. Hammasülekande juures uuriti, mis on ülekande kasutegur.

Esimese katse käigus kinnitati mootor koos ülekandemehhanismiga laua külge kasutades selleks pitskrui. Redukti vältimiseks kinnitati 220 mm pikkune alumiiniumist U-profiilis lattu, kuhu oli puuritud kaks ava läbimõõduga 8 mm. Alumiiniumprofiili mõõtmed oli 10 x 10 x 1. Avade tsentrite vahe on 200 mm. Lattu teise otsa kinnitati *minigrip* kott kasutades ühte M8 polti ja mutrit. Kotti hakati lisama kaaluvihte ning katsetati, kas mootor on võimeline lattu pöörata. Kaaluvihte lisati kotti suuremast väiksemale minnes, jõudes lõpuks ühe grammi täpsusega raskuseni, mida mootor ei suutnud enam omal jõul tõsta maaga paralleelasendist edasi. Katseid sooritati viis korda ning arvesse võeti tulemuste keskmine väärtus. Koos hammasülekandega suutis mootor 200 mm kauguselt tõsta 638 g raskust.

Teiseks katseks ühendati lattu otse mootori välti külge, et leida mootori tegelik tõstejõud ilma ülekandest tekkivate kadudeta. Katset sooritati sarnaselt eelmisele ning

korrati viis korda. Arvesse võeti tulemuste keskmine. Ilma hammasülekangeta suutis mootor 200 mm kauguselt tõsta 188 g raskust.

Katsetes kasutatud latt kaalus kokku 16 g ning tema massikese jäi kahe ava keskele. See tähendab, et mõlemale katse tulemusele liidetakse juurde pool lati kaalust.

Raskusjõud leiti järgnevalt:

$$F_{l1} = m * g = 0,016 * 9,81 = 0,16 \text{ N} \quad (4.1)$$

kus  $F_{l1}$  – raskusjõud, N

$m$  – mass, kg

$g$  – raskuskiirendus,  $\text{m/s}^2$

1. katse raskusjõud leiti järgnevalt:

$$F_{k1} = m * g = 0,64 * 9,81 = 6,26 \text{ N} \quad (4.2)$$

2. katse raskusjõud leiti järgnevalt:

$$F_{k2} = m * g = 0,188 * 9,81 = 1,84 \text{ N} \quad (4.3)$$

Lati mõju katsetulemustele arvutati valemiga:

$$F_{l1} * l_1 = F_{l2} * l_2 \Rightarrow F_{l2} = \frac{F_{l1} * l_1}{l_2} = \frac{0,157 * 0,1}{0,2} = 0,079 \text{ N} \quad (4.4)$$

kus  $F_{l1}$  – raskusjõud, N

$l_1$  – ava tsentri kaugus lati massikeskmest, m

$l_2$  – avade tsentrite vaheline kaugus, m

1. katses mootori poolt arendatud pöördemoment arvutati järgmiselt:

$$T_{k1} = \frac{(F_{k1} + F_{l2}) * l_2}{\ddot{u}k1} = \frac{(6,31 + 0,079) * 0,2}{3,6} = 0,36 \text{ Nm} \quad (4.5)$$

2. katses mootori poolt arendatud pöördemoment arvutati järgmiselt:

$$T_{k2} = (F_{k2} + F_{l2}) * l_2 = (1,84 + 0,079) * 0,2 = 0,39 \text{ Nm} \quad (4.6)$$

Ülekande kasutegur leiti järgmiselt:

$$\eta_{\text{ük}} = \frac{T_{k2}}{T_{k1}} = \frac{0,36}{0,39} = 0,92 \quad (4.7)$$

Katse ajaks olid mootor ja juhtimispuult ühendatud toiteploki külge, mille väljundpingeks oli 9 V. Toitejuhtme külge oli ühendatud Extech MA63 ampertangid, millega mõõdeti süsteemi poolt tarbitavat voolu. Maksimaalse tarbimise juures oli vool süsteemis 2,2 A mõlemal katsel. Juhul kui ainult kontrolleri oli töös, ilma mootorit kasutamata, mõõtsid ampertangid 0,15 A suurust voolu tarbimist.

Mootori poolt tarbitav võimsus arvutati järgmiselt:

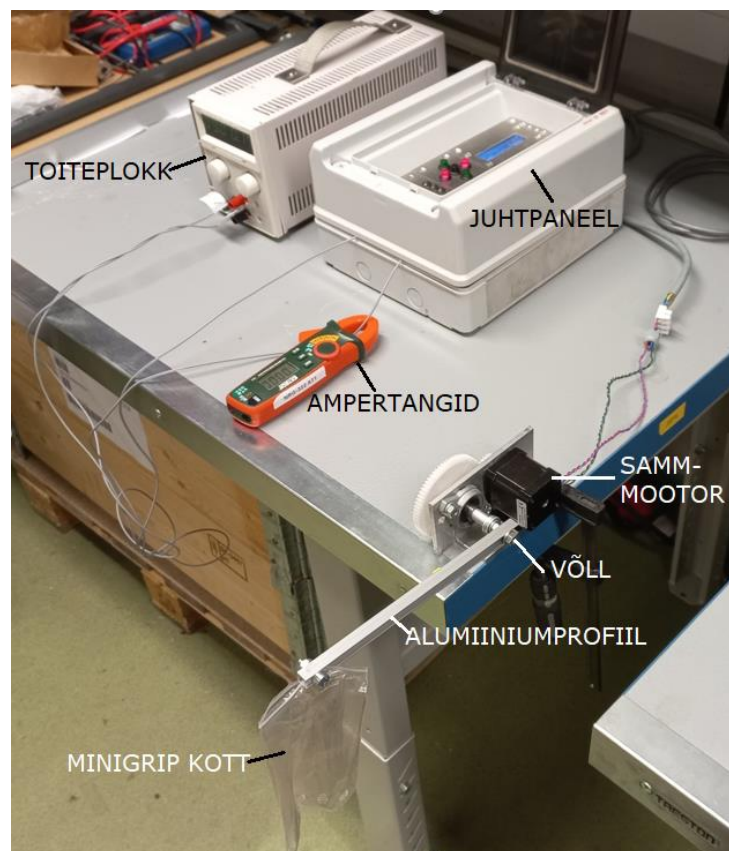
$$P_{el.mootor} = U * (I - I_{tühijooks}) * 0,9 = 9 * (2,2 - 0,15) * 0,9 = 17,69 \text{ W} \quad (4.8)$$

kus  $P_{el.mootor}$  – mootori poolt tarbitav võimsus, W

$U$  – süsteemi toitepinge, V

$I$  – süsteemis tarbitav vool, A

$I_{tühijooks}$  – süsteemi tarbitav vool ilma mootorita, A



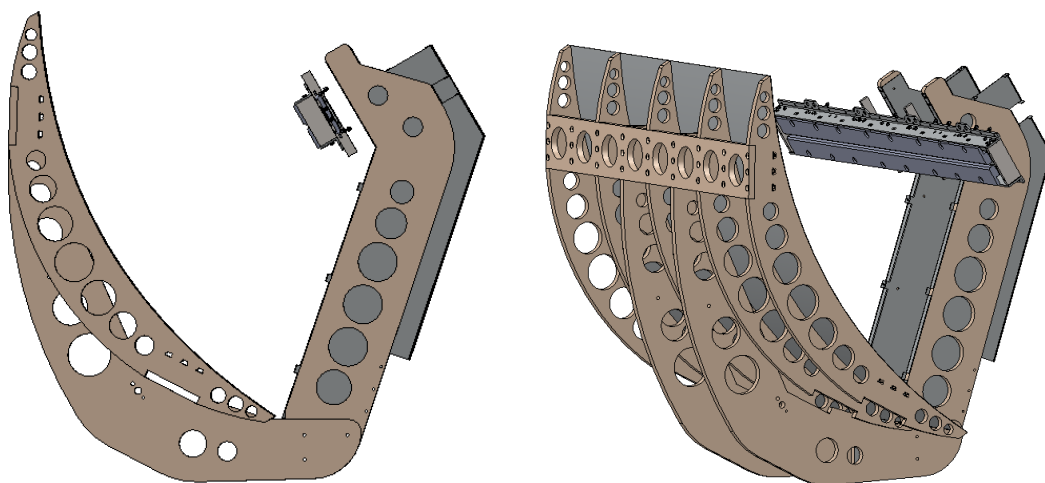
Joonis 4.1 Katsel tehtud pilt

Järelikult mootor ei vasta tootja poolt esitatud parameetritele. Mootor tarbib kaks korda rohkem voolu, aga arendab ainult ligikaudu 80% andmelehel lubatud momendist. Mootor tuleks kindlasti välja vahetada.

Hammasülekanne on oodatust parema kasuteguriga. Hammasülekanne oli eelnevalt määratud PTFE määrdega, mis võib olla hea kasuteguri põhjuseks. Hammasrattad tuleks võlli külge kinnitada mõnel muul viisil, näiteks kahe mutri vahele kokku pressides. Praegu on hammasrattad liiga pehmest materjalist, et olla seadmekruvidega võlli külge pandud.

## 4.2 Liikuva massi vähendamine

Päikest järgiva kande süsteemi peamiseks parendusviisiks oli liikuva massi vähendamine. Olemasoleva kande süsteemi parabool-pegli raam ning päikesekiirguse kogujat hoidev raam oli massilt ligikaudu 46,8 kg. Joonisel 4.2 on toodud välja vana raami välimus.



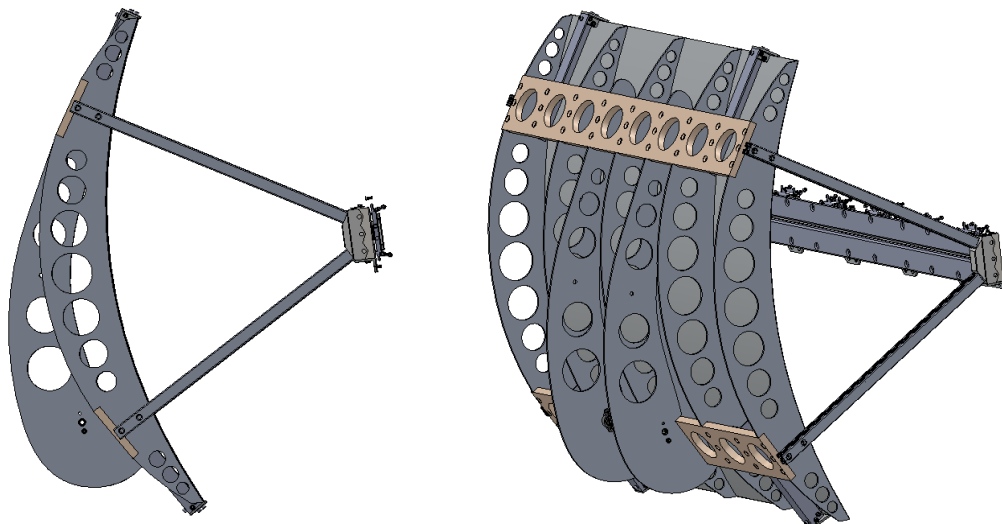
Joonis 4.2 Olemasoleva kande süsteemi parabool-pegli ning päikesekiirguse koguja raam

Parendatud kande süsteemi raam on toodud joonisel 4.3. Uus raam on massilt 32 kg. Parabool-pegli ning päikesekiirguse koguja pealt kaotas töö autor mudelilt 14,8 kg. Uues raamis olevad muudatused on järgnevad. Parabool-pegli toestusribid, mis eelnevalt olid MDF plaadist 10 mm laiused, on nüüd alumiiniumist ning 5 mm laiused, mis on kinnitatud vinklitega ühendusplaadi külge. Ribid ühenduses hoidev plaat on



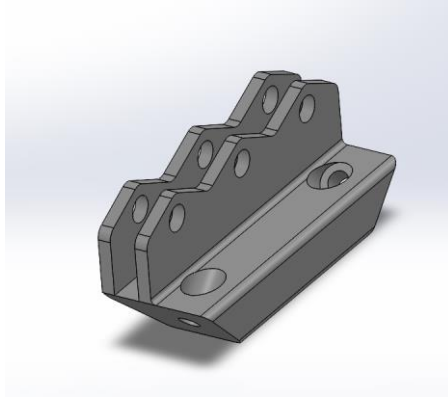
samuti MDF plaadist, töö autor proovis asendada plaadid keermelatiga, mis on ribidest läbi, ning mutritega kinnitatud, kuid kuna keermelattidega peeglit hoidvaid plaate ei saanud stabiilselt hoida, otsustas töö autor, et ka MDF materjalist toetusplaadid võivad jääda uude mudelisse.

Uues mudelis on ka muudetud päikesekiirguse kogujat hoidvat raami osa. Kui eelneval mudelil on näha, et talad, mis hoiavad kogujat on MDF plaadist ning kaetud alumiiniumist lehtplaatidega. See aga on väga suure massiga, ilma peeglita kaalub see raam 29,2 kg, arves on küll päikesekiirguse koguja. Uus mudel ilma peeglita kuid koos kogujaga on 15,6 kg. Töö autor elimineeris kogujat hoidvad talad ning konstrueeris alumiiniumprofiilid kogujat hoidma. Kasutati 30x30 G1 alumiiniumprofiile. Alumiiniumprofiilid on kinnitatud peegli külge poltidega ribide külge ribisid koos hoidva plaadi juures.



Joonis 4.3 Kande süsteemi parendatud parabool-pegli ning päikesekiirguse koguja raam

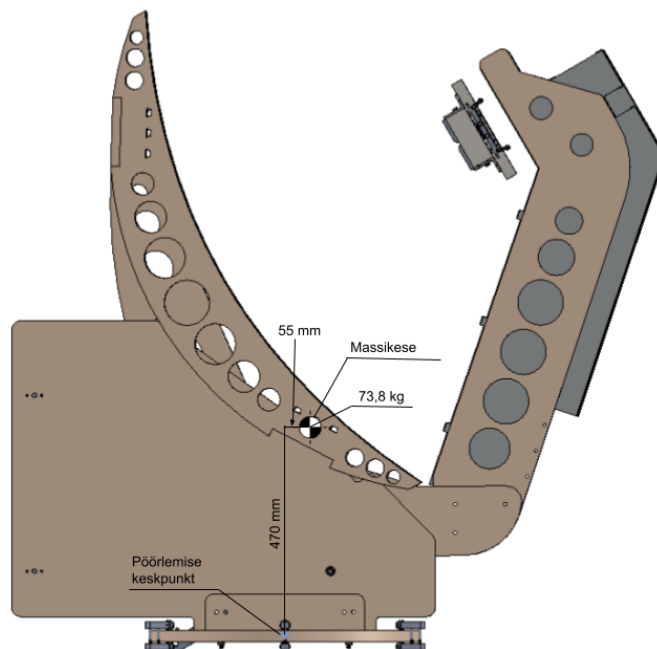
Kiirguse koguja külge kinnitamiseks modelleeris töö autor vaheplaadi, et ühendada koguja profiilidega. Vaheplaat oleks 3D prinditav lisaosa ABS materjalist ning on toodud joonisel 4.4. Vaheplaat kinnitaks koguja ääreplaadi külge poltidega, olles mõlemalt poole ääreplaadi küljes. Selline disain on mõeldud printimiseks mineva materjalikulu vähendamiseks. Alumiiniumprofiilid kinnituvad vaheplaadi kaldkülgedele, kus läbi avade on võimalik poldiga kinnitada profiil vaheplaadi külge. Lisas 6 on toodud vaheplaadi kinnitust alumiiniumprofiilide ja kiirguse kogujaga.



Joonis 4.4 Alumiiniumprofiilide kinnituseks koguja külge modelleeritud vaheplaat

### 4.3 Massikeskme viimise katse süsteemi pöörlemise keskpunktile lähemale

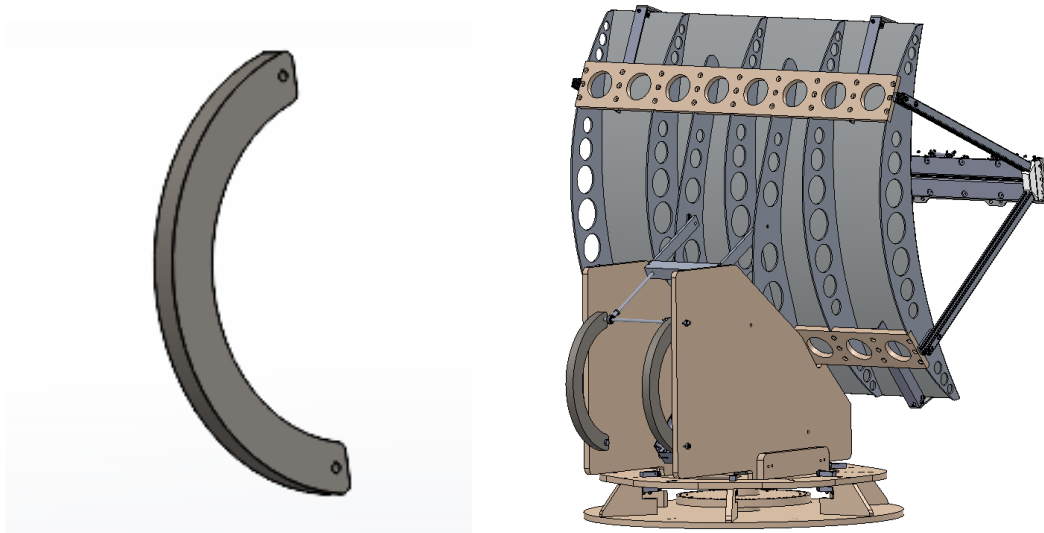
Olemasoleva süsteemi massikeske asus platvormi pöörlemise keskpunktist 55 mm peegli suunas ning 470 mm alusest ülespoole. Et optimeerida elektrilisi komponente ning muuta süsteemi pööramist kergemaks, tuli viia süsteemi massikeske pöörlemise keskpunktile lähemale. Joonisel 4.5 on toodud esialgse mudeli massikeske asukoht.



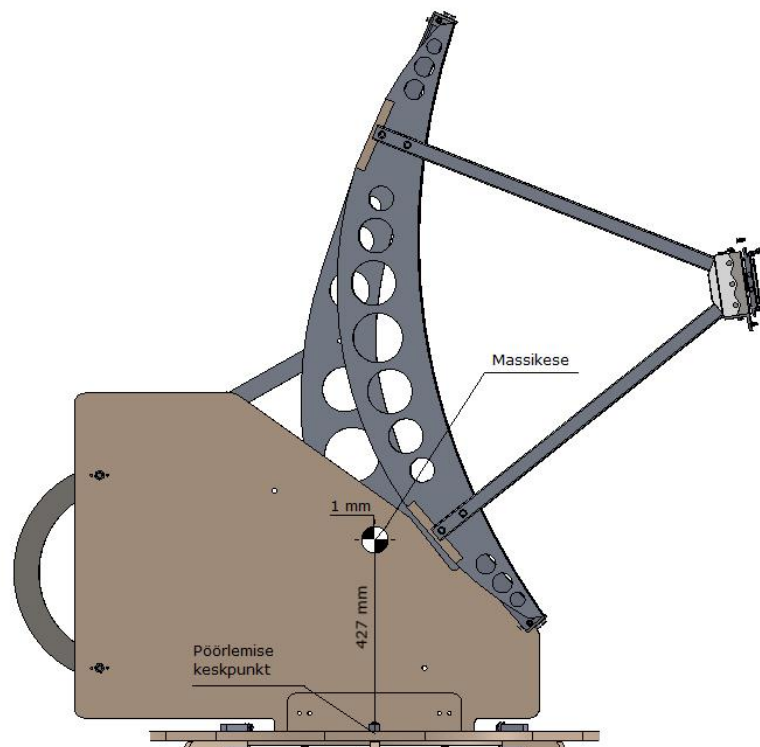
Joonis 4.5 Olemasoleva kande süsteemi massikeskme asukoht

Parendamisviisiks modelleeris töö autor katsetuseks kande süsteemile vasturaskused, et muuta massikeske asukohta. Vasturaskused on terasest, ning viidud raamist eemale,

kasutades vähem raskust, siiski on vasturaskus kinnitatud külgl plaatide. Joonisel 4.6 on toodud välja disainitud vasturaskused ning kuidas need kande süsteemi asetatud on. Vasturaskused on U-kujuga, et viia raskus süsteemist eemale, kuid ei muuda süsteemi rohkem kohmakaks. Samuti on võimalik vajadusel kasutada neid kui sangasid, et süsteemi keerata.



Joonis 4.6 Kande süsteemile modelleeritud terasest vasturaskused



Joonis 4.7 Uue raami ning vastukaaludega uus massikeskme asukoht

Joonisel 4.7 näidatud, kus asub uus massikese. Massikese on kõigest 1 mm pöörlemise keskpunktist ning ka madalamal, kui eelnevalt, olles 427 mm kõrgusel alusest. Vastukaaluks olevad teraslatid kaaluvad kokku 12 kg. Massikeskme asukoht

pöörlemise keskpunkti kohal tõstab süsteemi tõhusust. Olemasolev süsteem kaalus 92,9 kg ja kogu parendatud süsteem kaalub 90,4 kg. Kogu mass ei vähenenud palju, kuid maha arvestades vastukaalud, on uue süsteemi mass 78 kg.

Mudelis viidi koordinaatsüsteem süsteemi pöörlemise keskpunkti. Vasturaskusi lõplikus mudelis ei kasutata. Massikese saadi küll pöörlemise keskpunkti kohale, aga *Solidworks*is katsetades, oli näha, et inertsus muutus suuremaks, kui ilma vasturaskusteta. Mida lähemale saadi massikese seda suuremaks muutus inertsmoment, seega massikeskme pöörlemise keskpunktile lähemale viimine ei aidanud inertsmomenti vähendada. Esialgusel mudelil oli inertsmomendiks 10,75 Nm. Mudelil, kus on vastukaalud lisatud, saadi inertsmomendiks *Solidworks*i kaudu 12,50 Nm. Kande süsteemi mudelil, kus vasturaskuseid ei lisatud, saadi inertsmomendiks 8,14 Nm.

## 4.4 Elektrikomponentide optimeerimine

Et optimeerida elektrikomponente, valis töö autor uue toiteploki ning pöörlemiseks kasutatava samm-mootori. Kuna süsteemi liigutamiseks vajaminevaks võimsuseks arvutati 30 W, siis selle põhjal valiti vastavate parameetritega toiteplokk. Toiteploki osutus XP Power EML30US09-S. Toiteploki väljundite ning vajamineva pöördemomendi hoidmise suuruse põhjal valiti ka uus samm-mootor, milleks osutus MotionKing 23H2A8430 NEMA 23.

Et optimeerida elektrilisi komponente, tuleb ka täiendada hammasratta ülekande osa. Hammasrattaid kinnitasid varasemal mudelil seadekruid, mis olid üle keeratud ning lahti vibreerinud, seega leidis töö autor, et tuleks kogu hammasratta ülekanne välja vahetada. Mõni hammasratas käis ülekandes lopergult, kuna kinnitus ei olnud piisavalt tugev. Samuti prooviti hammasrataste määrimist teflonmäärdega, tulemuseks oli parem ülekanne.

Et leida kui suur vahe elektritarbimises tuleks on tehtud järgmised arvutused. Pööramist sai mõõdetud dünamomeetriga 2,3 kg ehk 22,56 N mis on mõõdetud 0,655 m kauguselt.

Seega pööramisel minev vajalik pöördemoment leiti järgmiselt:

$$T_{m\ddot{o}t} = m * l = 22,56 * 0,655 = 14,78 \text{ Nm} \quad (4.9)$$

kus  $m$  – mass, kg

$l$  – kaugus, kus mōõdeti mass, m

Kui võtta esimese ülekande kasuteguri, mis oli valemist 4.7 saadud 0,922 ning panna see astmele kolm (kuna on kolm sarnast ülekannet), siis saame kõigi kolme kasuteguri 0,784.

Kogu süsteemi ülekanne leiti järgnevalt:

$$\mu_1 = 3,6 * 4 * 1,39 * 5,5 = 110,09 \quad (4.10)$$

Seda arvesse võttes, ning teades, et mootor realselt arendab 0,39 Nm pöördemomenti, mis leiti valemis 4.6, siis korrutades selle kogu süsteemi ülekandega, saadakse ideaalsetes tingimustes süsteemile mõjuva pöördemomendi, milleks on 42,38 Nm. Kui see nüüd tagasi realsusesse tuua, ehk on teada, et kolm ülekannet on kasuteguriga 0,763 siis leitakse pöördemoment järgnevalt:

$$T_{reaal} = T_{ideaal} * 3\ddot{u}k = 42,38 * 0,763 = 32,33 \text{ Nm} \quad (4.11)$$

kus  $T_{ideaal}$  – Ideaalsetes tingimustes süsteemile mõjuv pöördemoment, Nm

$3\ddot{u}k$  – kolme ülekande kasutegur

See on väga suur vahe kaaluga saadud tulemusest ehk ülejäänud hammasrattad kas on vähem efektiivsemad kui esimene ülekanne või viimane isetehtud puidust ülekanne, mis on suhteliselt pehmelt ühendatud süsteemi külge on väga madala kasuteguriga:

$$\mu_2 = \frac{T_{m\ddot{o}t}}{T_{reaal}} = \frac{14,78}{32,33} = 0,457 \quad (4.12)$$

kus  $\mu_2$  - viimane hammasratta ülekanne, puidust

Oletades, et süsteemi parendatakse (laagrid korda, hammasrattad kinni, uued mootorid, massi vähemaks), siis saab arvesse võtta ideaalsed tingimused, ehk pöördemomenti leitakse järgnevalt:

$$T_{p\ddot{o}ramine} = T_{h\ddot{o}rdumine} + T_{inerts} = 13 * 0,022 * 52,2 * 0,039 * 9,81 + 8,14 = 0,44 + 8,14 = 8,58 \text{ Nm} \quad (4.13)$$

kus  $T_{h\ddot{o}rdumine}$  – Hõõrdemomenti tekitavad tegurid korrutatult, Nm

$T_{inerts}$  – Solidworksist saadud pöörlemisel tekkiv inertsmoment, Nm

Halvimal juhul, kui ei muudeta hammasratta ülekannet, oleks vaja süsteemile arendada pöördemomenti, mida leitakse järgmiselt:

$$T_{arend1} = \frac{T_{pööramine}}{3ük * \mu} = \frac{8,58}{0,764 * 0,457} = 24,61 \text{ Nm} \quad (4.14)$$

Seega süsteemile arendatav pöördemoment jagades ülekandega, saadakse:

$$T_{arend2} = \frac{Tm}{\mu2} = \frac{24,61}{110,09} = 0,22 \text{ Nm} \quad (4.14)$$

Trinamic NEMA 17 QSH4218-51-10-049 samm-mootor suudab arendada 0,49 Nm pöördemomenti 1 A juures, see tähendaks et Trinamic samm-mootor tarbiks halvimal juhul alla ühe ampri voolu.

Seega pööramiseks kuluks ainult:

$$T_{lõpp} = I * \frac{U}{\mu} = 1 * \frac{5}{0,9} = 5,6 \text{ W} \quad (4.14)$$

kus  $\mu$  - alalispingemuunduri kasutegur

## KOKKUVÕTE

TalTechis olemasolevat päikest järgivat kande süsteemi analüüsi, ning leiti viisid, kuidas optimeerida elektrilisi komponente ning tõsta süsteemi tõhusust. Süsteemis muudeti päikesekiirguse kollektorit ja parabool-peeglit hoidvat raami, ning analüüsi käigus valiti uued elektrilised komponendid ja toodi välja hammasratta ülekande uuendamise vajadus.

Teoreetilises osas kirjeldati olemasolevat kande süsteemi ning analüüsi selle ülesehitust, kasutatud materjale ning meetodeid. Sealhulgas ka kuidas parabool-pegeliga päikesekiirgus kogujale peegeldus. Uuriti päikese trajektoori Eestis, et teada, mis on parabool-pegeli jaoks vajalik kaldenurk. Käidi läbi kande süsteemile võimalikud parandusviisid ning mehaaniline struktuur, kus koostati kinemaatikaskeem, lihtsustatud raami joonis ning vajalikud arvutuskäigud. Skeemid ning joonised koostati *Autocad* keskkonnas.

Töö autor kasutas *Solidworks*i keskkonda mudeli muutmiseks. Varasema süsteemi MDF materjalist raami massiks oli 46,8 kg. Parendatud süsteemi raam on valmistatud alumiiniumi profiilidest ning lattidest massiga 32 kg. Modelleeritud on ka ABS materjalist vaheplaadid alumiiniumprofiilide kinnituseks päikesekiirguse koguja külge. Massikeskme süsteemi pöörlemise keskpunktile lähemale toomiseks katsetati vastukaaluks modelleeritud terasest latte. Tänu vastukaaludele oli massikese pöörlemise keskpunktist vaid millimeetri kaugusel kuid see suurendas kande süsteemi inertsmomenti. Katse tulemusena otsustati vasturaskuseid mitte kasutada. Valiti uus toiteplokk, et toita ära kõik vajaminevad tarbijad. Arvutuste käigus saadi vajaminevaks toiteploki väljundvõimsuseks 30 W. Valiti ka süsteemi pööramiseks kasutatav samm-mootor, millel on sama suur pöördemoment süsteemi paigal hoidmiseks, kui olemasoleval süsteemil. Lõputöö tulemusena on pööramiseks vajalik pöördemoment vähendatud 24,61 Nm-ni varasema 53,96 Nm-lt. Mootori sama pöörlemissageduse korral nõuab see seega 2,2 korda vähem võimsust.

Tulevikus tuleks vahetada välja hammasülekanded. Olemasolevas kande süsteemis kasutatavad hammasrattad on moondunud loperguseks ning kinnitused on lahti vibreerinud. Ühendused omavahel ei ole terved ning vajavad välja vahetamist. Samuti tuleks kande süsteem valmis ehitada uue mudeli järgi ning teha uued katsetused.

## KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Meerstetter Engineering, „Basics of Peltier Element: Meerstetter Engineering,“ 2022. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.meerstetter.ch/customer-center/compendium/70-peltier-elements#Basics%20of%20PE>. [Kasutatud 3 Märts 2022].
- [2] R. Awati, „Techtarget- Seebeck effect,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.techtargget.com/searchnetworking/definition/Seebeck-effect>. [Kasutatud 18 aprill 2022].
- [3] V. Vaidyanathan, „What are the seebeck effect and peltier effect,“ Scienceabc, 16 jaanuar 2022. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.scienceabc.com/pure-sciences/what-are-the-seebeck-effect-and-peltier-effect.html>. [Kasutatud 18 aprill 2022].
- [4] U. Fayaz, „Päikesenergia toitel termoelektrigeneraatori soojuskollektori konstruktsiooni optimeerimine. Design optimization of solar-powered thermoelectric generator thermal collector,“ Tallinn, 2021.
- [5] Azo Materials, „Will Peltier Modules Replace Compressors in Thermoelectric Cooling Technology?,“ 26 September 2014. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=11389>. [Kasutatud 12 Märts 2022].
- [6] A.-S. Küttim, „Parabool-peepliga päikesekollektori kiirguse vastuvõtja mudeli ehitamine ja soojuskadude uurimine. Construction and research of heat losses of solar radiation reciver model for a solar collector with parabolic mirror,“ Tallinn, 2017.
- [7] I. Q. Search, „Ball Screws: Industrial Quick Search,“ 2022. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.iqsdirectory.com/articles/ball-screws.html>. [Kasutatud 7 Märts 2022].
- [8] „Solartechadvisor: Silicon use solar panels,“ 28 November 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://solartechadvisor.com/silicon-use-solar-panels/>. [Kasutatud 12 Märts 2022].
- [9] A. Manton, „Solar Energy: A renewable Resource with Global Importance,“ DigitalCommons , 2015.
- [10] D. D. Rooij, „Sino Voltaics,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://sinovoltaics.com/learning-center/technologies/solar-concentrators-different-technologies/>. [Kasutatud 13 Aprill 2022].
- [11] Oorjan, „Solar concentrator,“ 8 Juuni 2018. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.oorjan.com/blog/2018/06/08/solar-concentrator/>. [Kasutatud 13 Aprill 2022].
- [12] Energiatalgud, „Päikesepaneel: Energiatalgud,“ 8 Veebruar 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://energiatalgud.ee/P%C3%A4ikesepaneel>. [Kasutatud 3 Märts 2022].
- [13] O. o. E. E. & R. Energy, „Solar Radiation Basics,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.energy.gov/>. [Kasutatud 26 Detsember 2021].
- [14] C. Honsberg ja S. Bowden, „Photovoltaics Education Website,“ 2019. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.pveducation.org/>. [Kasutatud 26 Detsember 2021].
- [15] H. Voolaid ja U. Visk, Geomeetiline optika, Tartu: Tartu ülikool, 2007.
- [16] A. TERA, „Tera: Kinnitustarvikud,“ 2022. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.tera.ee/kinnitustarvikud/>. [Kasutatud 12 Märts 2022].
- [17] P. Kutsehariduskeskus, „Tiguülekanded,“ [Võrgumaterjal]. Available: [https://www.hariduskeskus.ee/opiobjektid/masinaelemendid/?KURSUSE\\_TEEMA](https://www.hariduskeskus.ee/opiobjektid/masinaelemendid/?KURSUSE_TEEMA)

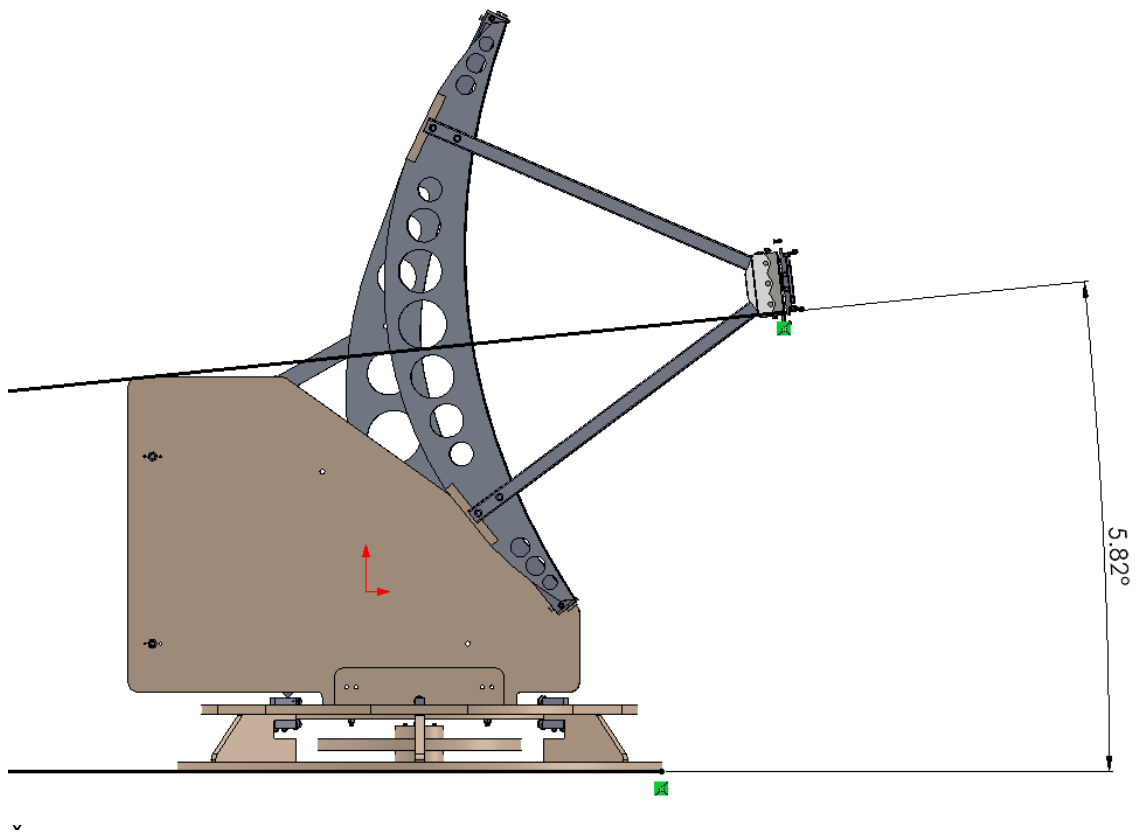


- D\_\_\_MEHAANILISTE\_ÜLEKANNETE\_TÜÜBID\_\_\_Tiguülekaned\_(tigu\_ja\_tigurata ste\_konstruktsioon\_ja\_materjalid%2C\_tiguülekanede\_kinemaatika%2C\_tiguredu ktorid).. [Kasutatud 12 Märts 2022].
- [18] Stokker, „Tehnilised määrded,“ 2022. [Vörgumaterjal]. Available: <https://www.stokker.ee/teflonolimaare-ptfe-spray-500ml-motip/-765895798>. [Kasutatud 2 Märts 2022].
- [19] Taltech, Mechanical and Metal Trades Handbook, Haan-Gruiten: Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 2018.
- [20] Elfa Distrelec, „Elfadistrelec: ATS030-A090 toiteplokk,“ [Vörgumaterjal]. Available: <https://www.elfadistrelec.ee/et/power-supply-9v-34a-30w-nordic-power-ats030-a090-mm/p/11028806>. [Kasutatud 12 Mai 2022].
- [21] Elfa Distrelec, „Elfadistrelec: TPP 30-109A-D toiteplokk,“ [Vörgumaterjal]. Available: <https://www.elfadistrelec.ee/et/ac-dc-medical-power-supply-30w-9v-34a-traco-power-tp-30-109a/p/30154119?track=true&no-cache=true&marketingPopup=false>. [Kasutatud 24 aprill 2022].
- [22] Elfa Distrelec, „Elfadistrelec: EML30US09-S toiteplokk,“ [Vörgumaterjal]. Available: <https://www.elfadistrelec.ee/et/switched-mode-power-supply-medical-30w-9v-33a-xp-power-eml30us09/p/30224455?trackQuery=power+supply+&pos=1&origPos=807&origPageSize=50&track=true>. [Kasutatud 12 Mai 2022].
- [23] omc, „StepperOnline,“ [Vörgumaterjal]. Available: <https://www.omc-stepperonline.com/support/brushless-dc-motors-vs-stepper-motors>. [Kasutatud 25 aprill 2022].
- [24] Elfa Distrelec, „Elfadistrelec: QSH4218-51-10-049 Samm-mootor,“ [Vörgumaterjal]. Available: [https://www.elfadistrelec.ee/et/hybrid-stepper-motor-490nm-nema-17-trinamic-qsh4218-51-10-049/p/15422328?trackQuery=cat-DNAV\\_PL\\_1856268&pos=2&origPos=93&origPageSize=50&filterapplied=filter\\_Operating+Voltage+Max.~V%3d5&track=true](https://www.elfadistrelec.ee/et/hybrid-stepper-motor-490nm-nema-17-trinamic-qsh4218-51-10-049/p/15422328?trackQuery=cat-DNAV_PL_1856268&pos=2&origPos=93&origPageSize=50&filterapplied=filter_Operating+Voltage+Max.~V%3d5&track=true). [Kasutatud 13 Mai 2022].
- [25] Elfa Distrelec, „Elfadistrelec: 8H2A33402 Samm-mootor,“ [Vörgumaterjal]. Available: [https://www.elfadistrelec.ee/et/stepper-motor-20nm-nema-motionking-8h2a33402/p/30097257?trackQuery=cat-DNAV\\_PL\\_1856268&pos=1&origPos=42&origPageSize=50&filterapplied=filter\\_Operating+Voltage+Max.~V%3d5&track=true](https://www.elfadistrelec.ee/et/stepper-motor-20nm-nema-motionking-8h2a33402/p/30097257?trackQuery=cat-DNAV_PL_1856268&pos=1&origPos=42&origPageSize=50&filterapplied=filter_Operating+Voltage+Max.~V%3d5&track=true). [Kasutatud 13 Mai 2022].
- [26] Elfa Distrelec, „Elfadistrelec: QSH4218-35-10-027 Samm-mootor,“ [Vörgumaterjal]. Available: <https://www.elfadistrelec.ee/et/hybrid-stepper-motor-270nm-nema-17-trinamic-qsh4218-35-10-027/p/15422326?trackQuery=samm-mootor&pos=1&origPos=1&origPageSize=50&track=true>. [Kasutatud 13 Mai 2022].
- [27] L. S. Sterling, The Art of Agent-Oriented Modeling, London: The MIT Press, 2009.
- [28] H. Kasepõld, „Päikesekiirguse mõõteseadmele liikumistrajektoori järgimissüsteemi loomine. Movement tracking system developing for solar irradiation measurement device,“ Tallinn, 2021.
- [29] R. Awati, „Techtarget- Seebeck effect,“ [Vörgumaterjal]. Available: <https://www.techtargt.com/searchnetworking/definition/Seebeck-effect>. [Kasutatud 18 aprill 2022].
- [30] TME, „BLDC mootorid,“ [Vörgumaterjal]. Available: <https://www.tme.eu/ee/details/df-fit0441/bldc-mootorid/dfrobot/fit0441/>. [Kasutatud 24 aprill 2022].
- [31] Elfa Distrelec, „Elfadistrelec: 23H2A8430 Samm-mootor,“ [Vörgumaterjal]. Available: <https://www.elfadistrelec.ee/et/stepper-motor-8nm-nema-23->

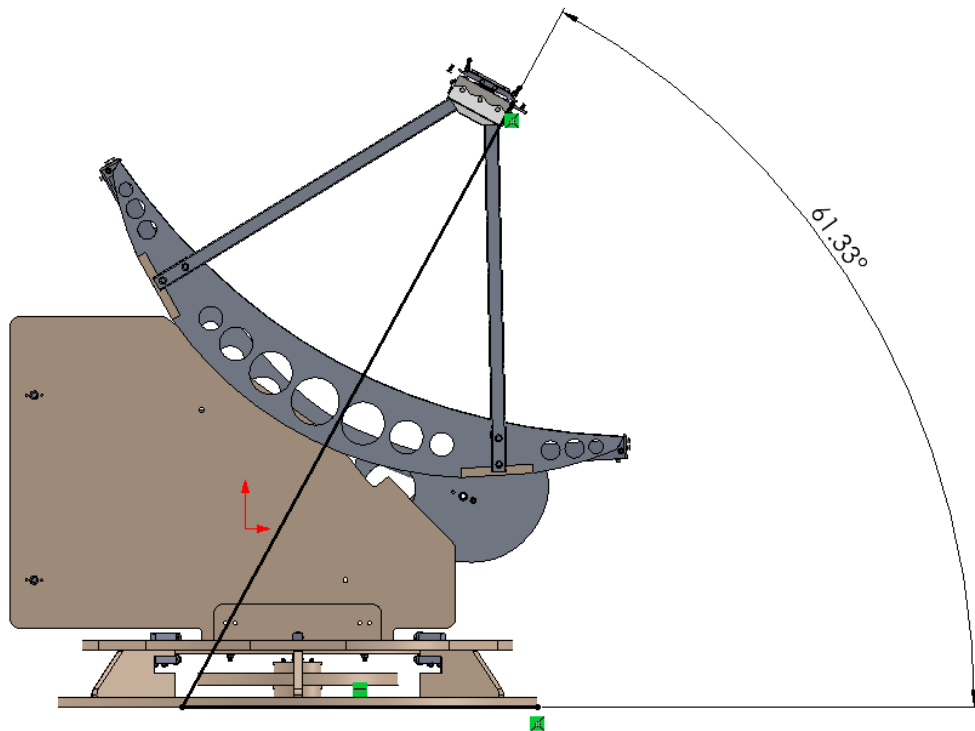
motionking-23h2a8430/p/30097253?trackQuery=cat-DNAV\_PL\_1856268&pos=1&origPos=84&origPageSize=50&filterapplied=q%3d\*%26filter\_Holding+Torque~~Nm%3d1.8%26filter\_Rated+Current~~A%3d3&track=true. [Kasutatud 13 Mai 2022].

# LISAD

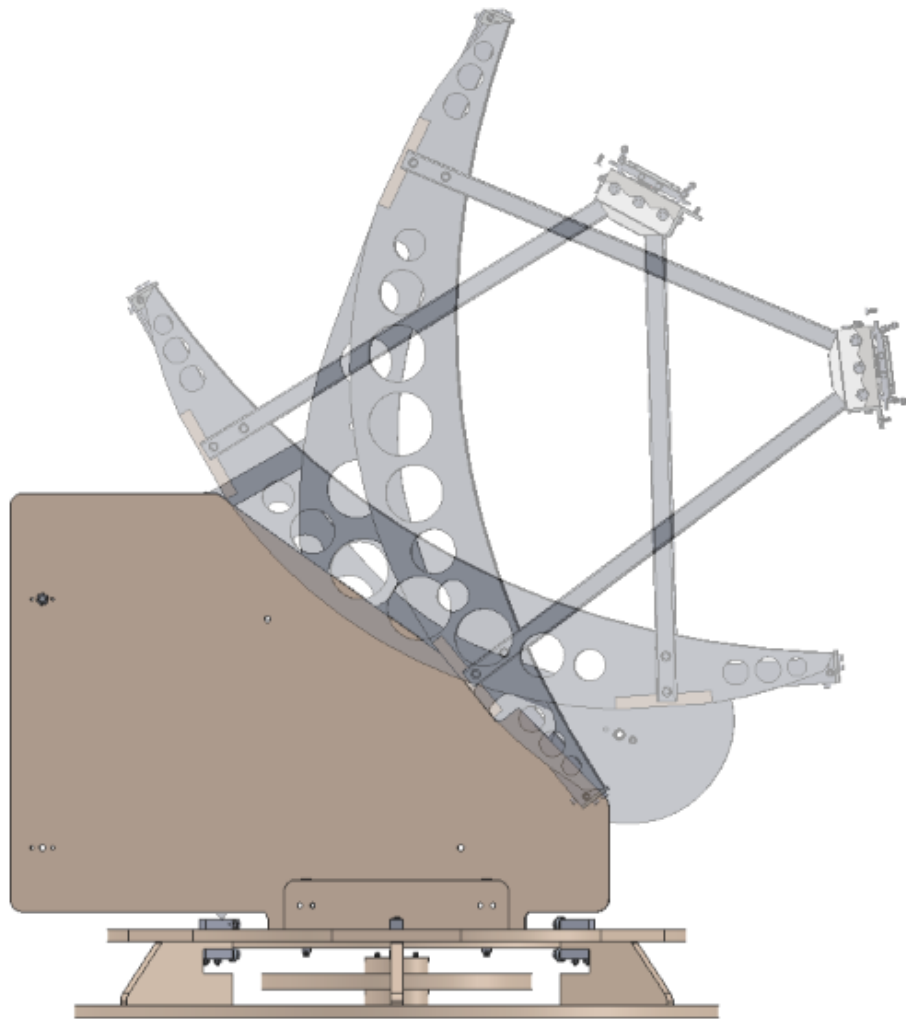
# Lisa 1 Kandevisüsteemi minimaalne kaldenurk



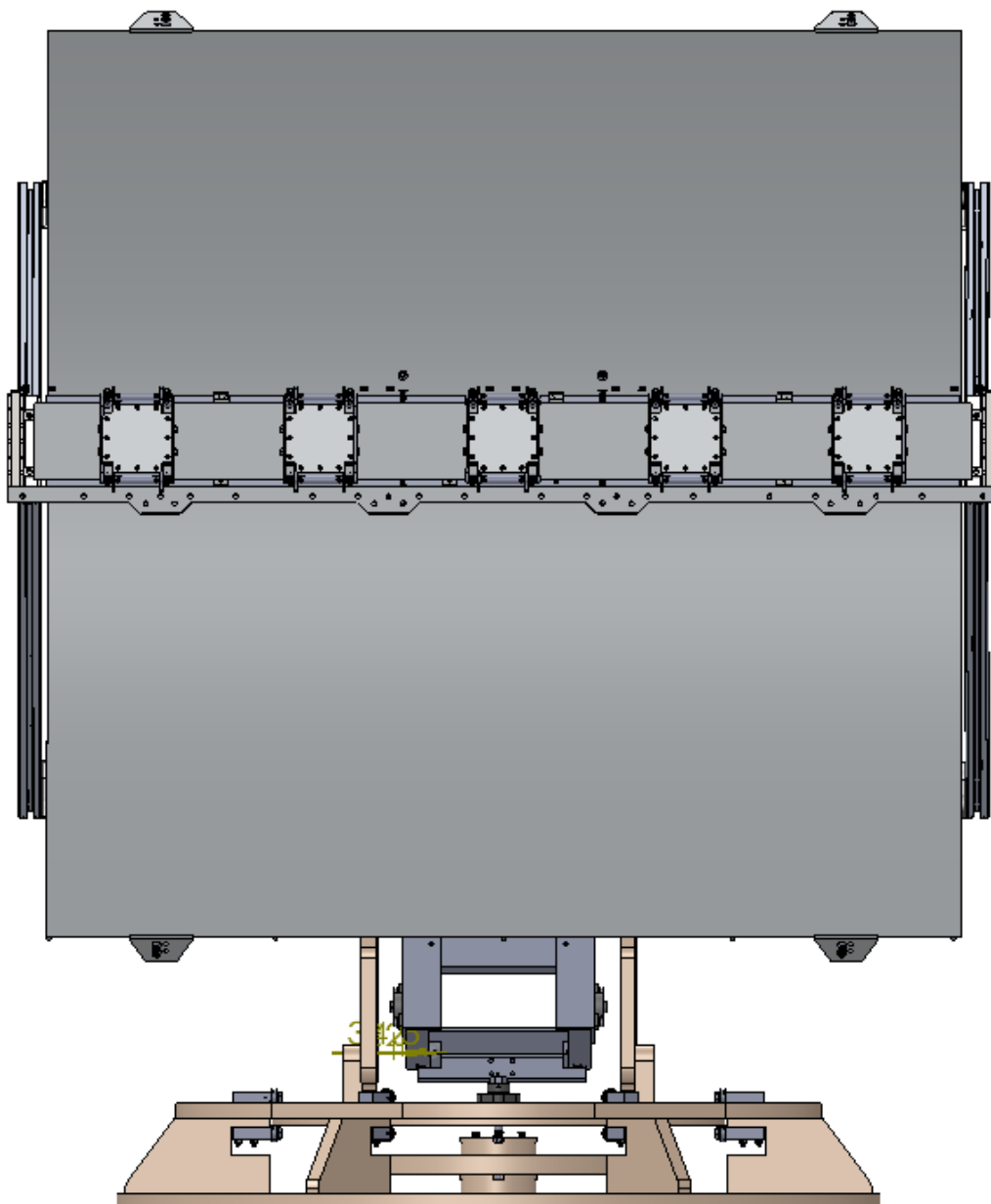
## Lisa 2 Kandevisüsteemi maksimaalne kaldenurk



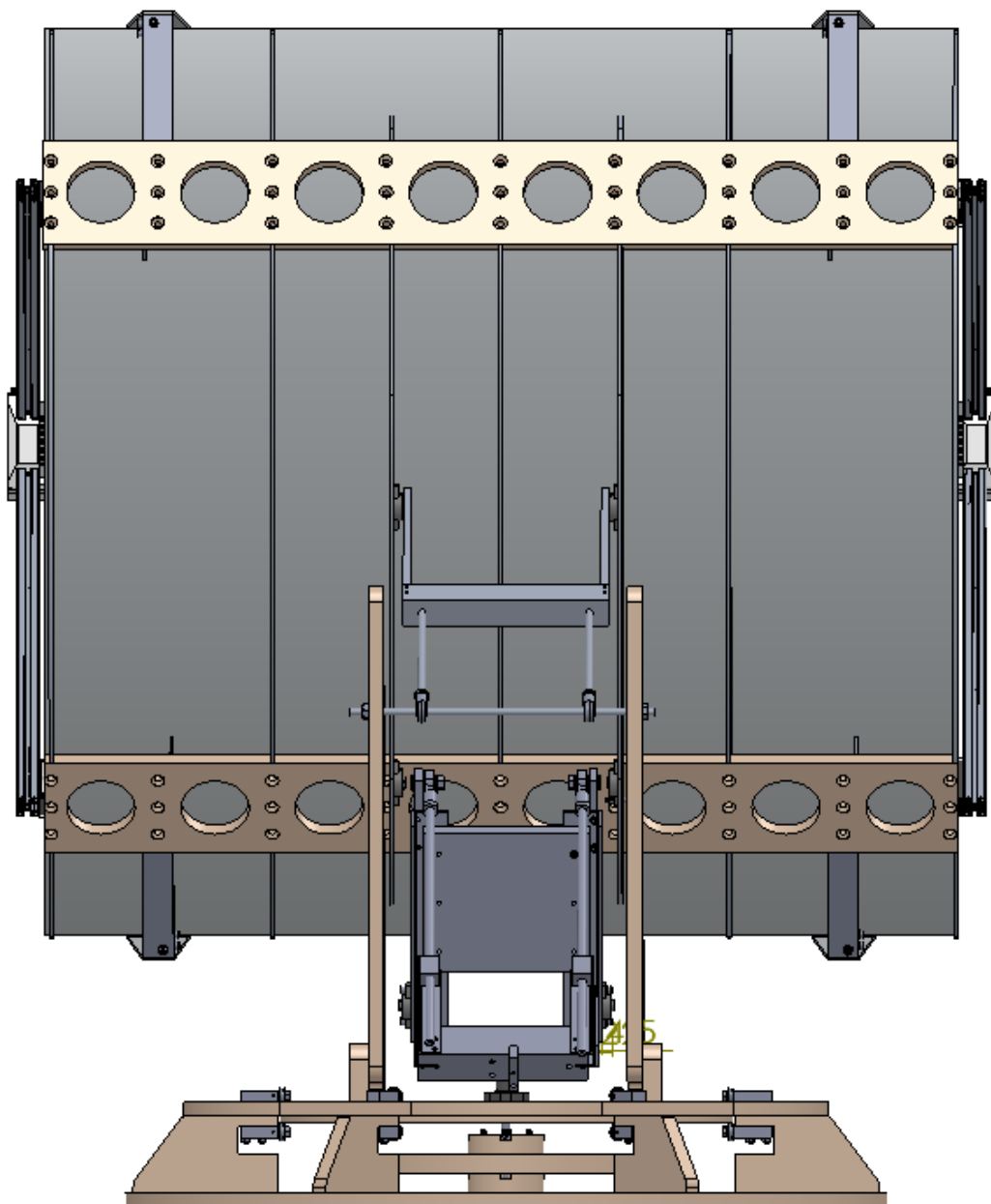
**Lisa 3 Kandevisüsteemi positsioonid maksimaalses ja minimaalses asendis**



## Lisa 4 Kandevisüsteemi eesvaade



## Lisa 5 Kandevisüsteemi tagantvaade





**Lisa 6 Alumiiniumprofiilide kinnituseks modelleeritud vaheplaat**

