

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Konetekniikan koulutus

Karelia-amk
Sini Lampinen

AURINKOPANEELIN SUUNTAUSMEKANISMI

Opinnäytetyö
Toukokuu 2022



OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2022
Konetekniikan koulutus

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600 (vaihde)

Tekijä(t)
Sini Lampinen

Nimeke
Aurinkopaneelin suuntausmekanismi

Toimeksiantaja
Karelia-amk

Tiivistelmä

Opinnäytetyön tarkoituksena on suunnitella etäohjattavan aurinkopaneelin suuntausmekanismi auringon seuraamista varten, mitoitettuna yhdelle aurinkopaneelille. Opinnäytetyössä on tutkittu ja vertailtu olemassa olevia aurinkoseurainjärjestelmissä käytettäviä mekanismeja.

Tavoitteena on kaksiakselinen aurinkopaneelin suuntausmekanismi, josta on suunniteltu kolme erilaista mallia. Vertailun tuloksena parhaaksi katsotusta mekanismivaihtoehdosta on toteutettu 3D-malli PTC Creo Parametric -suunnitteluohjelmalla.

Kieli
suomi

Sivuja 30
Liitteet 1
Liitesivumäärä 6

Asiasanat
aurinkopaneeli, aurinkoseurain



THESIS
May 2022
Mechanical Engineering Program

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600 (switchboard)

Author (s)
Sini Lampinen

Title
Solar tracking mechanism

Commissioned by
Karelia UAS

Abstract

The objective of the thesis is to design a tracking mechanism for remote-controlled solar tracker for tracking the sun, sized for a single solar panel. The thesis consists of research and comparison of existing mechanisms being used in solar tracking systems.

The goal is a two-axis tracking mechanism from which three different models have been designed. As a result of a comparison, a 3D model of the preferred mechanism option has been designed with the PTC Creo Parametric modeling software.

Language

Finnish

Pages 30

Appendices 1

Pages of Appendices 6

Keywords

solar panel, solar tracker

Sisältö

1	Johdanto	5
2	Aurinkopaneelijärjestelmät.....	5
2.1	Yhden akselin suuntausmekanismi.....	7
2.1.1	Vertikaalinen yhden akselin seurain	8
2.1.2	Horisontaalinen yhden akselin seurain	9
2.1.3	Kalteva yhden akselin seurain	10
2.2	Kahden akselin suuntausmekanismi.....	11
2.3	Aurinkopaneelijärjestelmien vertailu	15
3	Aurinkopaneelin suuntausmekanismin suunnittelu	16
3.1	Vaatimukset	16
3.2	Erilaisia mekanismivaihtoehtoja.....	17
3.3	Aurinkopaneelin suuntausmekanismin valinta	20
3.4	Lineaarimoottorin mitoitus.....	21
3.5	Varren mitoitus.....	22
4	3D-malli.....	25
5	Pohdinta.....	27
	Lähteet.....	29

Liitteet

Liite 1 Mittapiirustukset

1 Johdanto

Tämän konetekniikan opinnäytetyön tarkoituksena on suunnitella etäohjattavan aurinkopaneelin suuntausmekanismi Karelia AMK:lle. Opinnäytetyössä on tutustuttu yleisesti käytettyihin suuntausmekanismeihin aurinkoseurainjärjestelmissä, sekä vertailtu olemassa olevia järjestelmiä. Opinnäytetyössä on myös tutkittu suuntausmekanismin hyödyllisyyttä verrattuna kiinteästi asennettuihin aurinkopaneeleihin.

Opinnäytetyön tavoitteena on suunnitella kaksiakselialinen mekanismi, jossa aurinkopaneelin kääntö toteutetaan kahden eri akselin ympäri. Tämä mahdollistaa aurinkopaneelin suuntaamisen kohtisuoraan aurinkoon päin. Järjestelmä on tarkoitettu mitoittamaan yhdelle aurinkopaneelille.

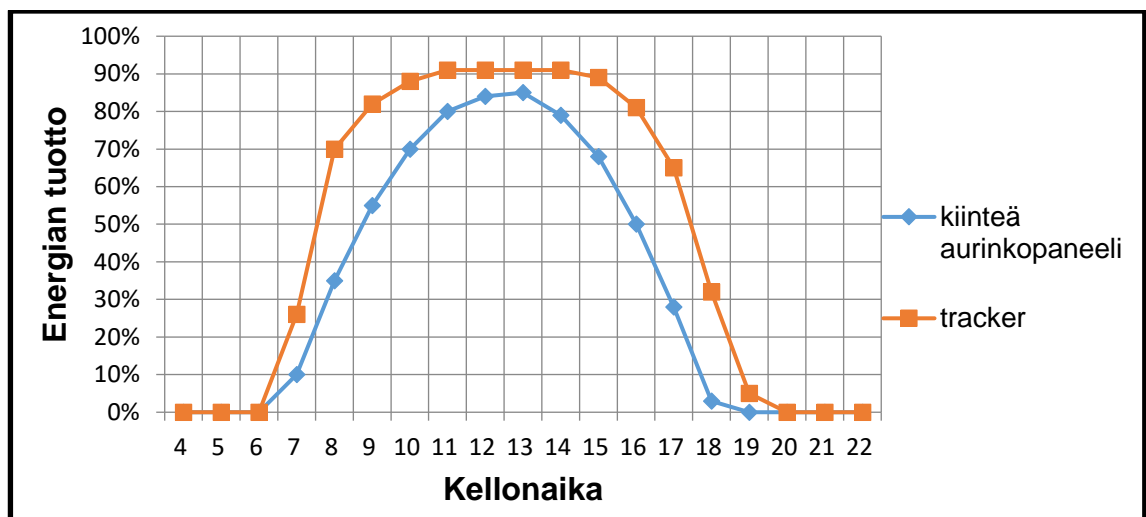
2 Aurinkopaneelijärjestelmät

Useimmat markkinoilla olevat aurinkopaneelijärjestelmät ovat kiinteästi asennettavia eli staattisia. Ne voidaan asentaa katolle, rakennuksen seinään tai maahan. Etuna kiinteissä aurinkopaneeleissa on niiden edullisuus, luotettavuus ja asentamisen helppous. Lisäksi niitä voi asentaa monta vierekkäin, koska ei tarvitse huolehtia viereisen paneelin aiheuttamista varjostuksista. Haittapuolena kiinteissä aurinkopaneelijärjestelmissä on kuitenkin niiden muuttumaton suuntaus aurinkoon nähden, jolloin heijastumista tapahtuu enemmän ja ne eivät pysty hyödyntämään auringon valoa yhtä tehokkaasti kuin seurain-tyyppiset järjestelmät.

Aurinkopaneeli tuottaa parhaiten energiaa silloin, kun auringon valon tulokulma on nolla astetta eli valo osuu siihen kohtisuorasti, jolloin heijastumista tapahtuu vähiten. Seurainjärjestelmä, jota kutsutaan myös trackeriksi, kääntää aurinkopaneeleita auringon liikeradan mukaan, jotta aurinkopaneeliin kohdistuvan kohtisuoran auringonsäteilyn määrä olisi mahdollisimman suuri. Seurainjärjestelmä voi kasvattaa aurinkopaneelien päivittäistä energiantuottoa jopa 30 % (kuvio 1),

mutta se on kalliimpi ja huoltokustannukset ovat suuremmat verrattuna kiinteisiin aurinkopaneelisiin, koska hajoavia osia on enemmän. (Suntekno OY 2010.)

Auringon seuraamista varten on kehitetty erilaisia suuntausmekanismeja, jotka ovat joko yksiakksiaalisia tai kaksiakksiaalisia. Niitä on saatavilla yhdelle tai useammalle aurinkopaneelille. Asuinrakennuksissa tracker-järjestelmä asennetaan tavallisesti terästangon päähän, kun taas suurissa järjestelmissä käytetään yleensä pitkiä putkia jotka kääntävät aurinkopaneelirivejä.



Kuvio 1. Suunnattavan aurinkopaneelin tuotto verrattuna kiinteään aurinkopaneeliin (Sedona Solar Technology 2018).

Aurinkopaneelin kääntäminen ja paikallaan pitäminen tapahtuu yleensä sähkömoottoreilla ja kallistuskulman muutos lineaarimoottoreilla. Tätä kutsutaan aktiiviseksi seurantamenetelmäksi. Moottoreiden mitoituksessa täytyy huomioida tuulikuormat ja mahdolliset lumikuormat, jotka voivat olla huomattavan suuria. Järjestelmään on mahdollista asentaa tuulennopeusmittari.

Aurinkopaneelin suuntaaminen voidaan toteuttaa valosensoreilla, jotka havaitsevat auringon sijainnin. Suuntaaminen voi myös perustua horisontaaliseen koordinaatistoon, jonka avulla voidaan määrittää auringon paikka tietyllä ajanhetkellä. Tällaisessa järjestelmässä ei tarvita valosensoreita, mutta järjestelmän suuntaaminen on riippuvainen sen maantieteellisestä sijainnista. (Solar Tracker, Wikipedia 2018.)

Passiivisessa seurantamenetelmässä suuntaaminen voi perustua esimerkiksi nestetasapainoon. Tässä menetelmässä käytetään helposti haihtuvaa nestettä, joka höyrystyy alhaisessa lämpötilassa. Kun aurinko lämmittää toista nestesäiliötä enemmän, neste höyrystyy ja siirtää painoa toiselle puolelle ja suuntaa aurinkopaneelin aurinkoa kohti. Tämä menetelmä vaatii kuitenkin tarpeeksi korkean lämpötilan toimiakseen, joten se ei ole kovin luotettava. (Adam Heisserer 2017.)

Auringon säteilyenergian tuotanto riippuu paljon aurinkopaneelijärjestelmän maantieteellisestä sijainnista. Päiväntasaajan alueella energiaa kertyy runsaasti, koska aurinko paistaa päivällä lähes kohtisuorasti. Euroopassa energiaa kertyy selvästi vähemmän, koska mitä lähemmäs napoja kohti siirrytään, sitä loivemmassa kulmassa auringon säteily osuu maahan. Myös ilmakehä pienentää energiantuottoa napojen läheisyydessä, koska tulokulmasta johtuen auringon säteet kulkevat pitemmän matkan ilmakehässä. (Perälä 2017, 18.)

2.1 Yhden akselin suuntausmekanismi

Yhden akselin suuntausmekanismiin voi toteuttaa usealla eri tavalla. Yksiaksellisessa seurainjärjestelmässä on yksi pyörimisakseli, joka on yleensä pysty- tai vaakasuora, mutta joissakin tapauksissa kalteva. Tämä mahdollistaa auringon seuraamisen pyörittämällä aurinkopaneeleja idän ja lännen välillä. Pystysuoraa eli vertikaalista suuntausmekanismia käytetään yleensä korkeilla leveysasteilla, joissa aurinko ei nouse kovin korkealle. Horisontaalinen mekanismi tulee hyödyllisemmäksi, kun mennään lähemmäs päiväntasaajaa, jossa aurinko nousee keskipäivällä korkeammalle. (Solar Tracker, Wikipedia 2018.)

Yhden akselin suuntausmekanismia käytetään yleensä suurissa aurinkopaneelijärjestelmissä. Yhden akselin seuraimissa ei välttämättä tarvita valosensoreita, koska järjestelmän suuntaaminen voi perustua matemaattisiin kaavoihin, jotka ennakoivat auringon asemaa.

2.1.1 Vertikaalinen yhden akselin seurain

Vertikaalisen yhden akselin seurainjärjestelmän pyörimisakseli on pystysuora suhteessa maahan (kuva 1). Se pyörittää aurinkopaneelia ja suuntaa sen idästä länteen päivän aikana. Paneelin kaltevuus asetetaan tiettyyn kulmaan riippuen maantieteellisestä sijainnista ja vuodenajasta. Tällaiset järjestelmät ovatkin tehokkaampia korkeilla leveysasteilla, joissa aurinko paistaa matalalta. Niitä voidaan käyttää myös talvella, jos paneelien kallistuskulma on yli 60 astetta vaakatasoon nähden, jolloin lumi ei pääse kertymään paneelien päälle.

Vertikaalisessa suuntausmekanismissa aurinkopaneelit on asennettu muuttumattomaan kulmaan suhteessa pyörimisakseliin riippuen leveyspiirin korkeudesta. Tällaisessa järjestelmässä ongelmana voivat olla viereisten paneelien aiheuttamat varjostukset, joten järjestelmän laajentaminen vaatii paljon tilaa. Laajentamista vaikeuttaa myös se, että yhteen seuraimeen voi asentaa vain rajallisen määrän paneeleita, tai reunimmaisten paneelien tuenta ja tuulikuorma tulee ongelmaksi. Sijoittelussa on huomioitava toisten aurinkopaneeliryhmien aiheuttama varjostus energian menetyksen välttämiseksi asentamalla paneeliryhmät tarpeeksi kauas toisistaan. Pienikin varjo aurinkopaneelin nurkassa saattaa vaikuttaa sen energian tuottoon huomattavasti. Vertikaaliset trackerit tarvitsevat myös tukevan alustan kiinnitystä varten. (Sedona Solar Technology, Types Of Mounting Systems 2018.)



Kuva 1. Vertikaalinen yhden akselin aurinkopaneelijärjestelmä (Kuva: Arc-tech Solar).

2.1.2 Horisontaalinen yhden akselin seurain

Yhden akselin seurainjärjestelmän pyörimisakseli voidaan toteuttaa myös horisontaalisesti, jolloin se on vaakasuora suhteessa maahan (kuva 2). Pyörimisakselina toimiva teräspankki tukee kaikkia samassa rivissä olevia aurinkopaneeleita, joten siihen on helppo asentaa monta aurinkopaneelia vierekkäin. Yksi moottori kääntää kaikkia samassa rivissä olevia aurinkopaneeleita. Tätä toteutusta käytetään yleensä kaikkein suurimmissa aurinkopaneelijärjestelmissä, koska järjestelmää on helppo laajentaa. Se on hyödyllisempi matalilla leveysasteilla, jossa aurinko paistaa korkealta, koska paneelit kääntyvät päivän aikana vaakatasoon. Aurinkopaneelien paikoitus ja mitoitus riippuu paikallisista maasto- ja varjostusolosuhteista. (Green World Investor 2011.)

Suurissa horisontaalisissa seurainjärjestelmissä on yleensä pitkät vaakatasoiset putket, joihin aurinkopaneelit on asennettu. Paneelit ovat tyypillisesti samassa tasossa putken pyörimisakselin kanssa. Putken akseli on pohjois-eteläsuunnassa, jolloin aurinkopaneelien kääntyminen tapahtuu idästä länteen. Paneelit on asennettu samaan putkeen, ja putki pyörii seuraten auringon liikettä.



Kuva 2. Horisontaalinen yhden akselin aurinkopaneelijärjestelmä (Kuva: De-ger Energie).

Korkeammilla leveyspiireillä erilliset aurinkopaneeli-moduulit voidaan asentaa tiettyyn kulmaan suhteessa putken pyörimisakseliin riippuen auringon korkeudesta.

2.1.3 Kalteva yhden akselin seurain

Horisontaalisen ja vertikaalisen lisäksi pyörimisakseli voi olla myös kalteva suhteessa maan pintaan (kuva 3). Kaikki seuraimet, joiden pyörimisakselit eivät ole vaakatasossa tai pystysuorassa, katsotaan kallistetuiksi seuraimiksi. Kallistuskulmaa rajoittavat usein tuulikuorma ja viereisten paneelien aiheuttamat varjostukset, mutta järkevällä sijoittelulla ne voidaan asentaa melko tiiviisti ilman varjostuksia. Sijoittelun tiheyttä rajoittaa kuitenkin kallistuskulman suuruus ja järjestelmän maantieteellinen sijainti. Kallistetuissa yhden akselin seurainjärjestelmissä aurinkopaneelien pinta on yleensä yhdensuuntainen pyörimisakselin kanssa.

Kallistetut yhden akselin seurainjärjestelmät ovat monimutkaisempia kuin horisontaaliset, joten ne voivat olla kalliita. Ne eivät yleensä ole helposti

laajennettavia, eli mekaanisia osia ei jaeta yksiköiden välillä, joten kustannukset paneelia kohden eivät välttämättä ole paljon pienemmät suuremmissa ryhmissä.



Kuva 3. Kalteva yhden akselin aurinkopaneelijärjestelmä (Kuva: Runsol).

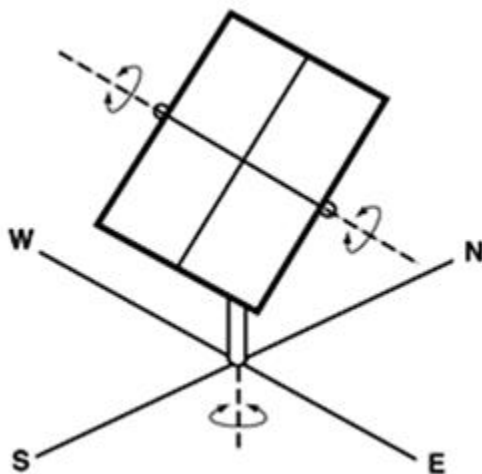
2.2 Kahden akselin suuntausmekanismi

Kaksiakselisessa seurainjärjestelmässä on kaksi pyörimisakselia, jotka ovat yleensä kohtisuorassa toisiinsa nähden. Tällainen järjestelmä mahdollistaa aurinkopaneelien lähes jatkuvan kohdistamisen aurinkoon päin, koska mekanismi voi liikkua kahteen eri suuntaan. Kahden akselin suuntausmekanismin voi toteuttaa monella eri tavalla. Sitä pyörimisakselia, joka on muuttumattomassa kulmassa suhteessa maan pintaan, kutsutaan ensisijaiseksi akseliksi. Ensisijainen akseli voi olla joko kohtisuorassa tai vaakatasossa suhteessa maan pintaan. Eri-laiset mekanismien toteutukset voidaan luokitella ensisijaisen akselin perusteella. Kahden akselin seurainjärjestelmässä aurinkopaneelien pinta on yleensä yhden-suuntainen toisen akselin kanssa. (Solar Tracker, Wikipedia 2018.)

Koska kahden akselin järjestelmä mahdollistaa auringon seuraamisen vertikaalisesti ja horisontaalisesti, sillä pystytään hyödyntämään aurinkoenergiaa tehokkaammin kuin yhden akselin seurainjärjestelmällä. Järjestelmän suuntaaminen

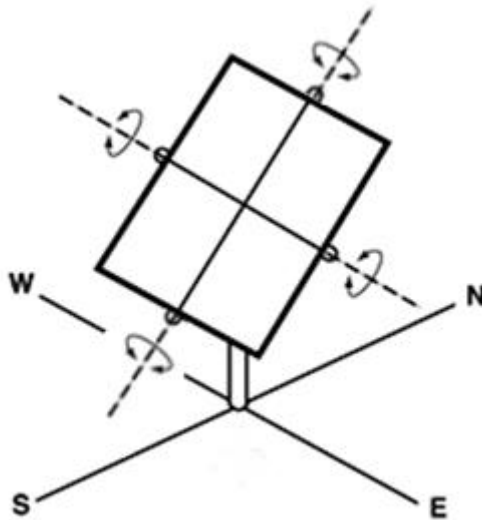
on yleensä toteutettu valosensoreilla, jolloin se ei ole riippuvainen sen maantieteellisestä sijainnista tai alkutilanteesta.

Yleisimmässä toteutuksessa ensisijainen akseli on kohtisuora maanpintaan nähden ja aurinkopaneelit on asennettu tangon päähän (kuva 4). Tyypillisesti tanko toimii ensisijaisena pyörimisakselina, joka kääntää aurinkopaneeleja idästä länteen auringon liikeradan mukaan päivän aikana. Tangon yläpäässä on toinen pyörimisakseli, joka on kohtisuora ensisijaiseen akseliin nähden. Sillä toteutetaan aurinkopaneelien kulman muutos suhteessa maan pintaan. Yhteen seuraimeen voi asentaa rajallisen määrän aurinkopaneeleita, koska niiden painopiste on akselin päässä. Liian leveässä asetelmassa reunimmisille paneeleille ei saada riittävästi tukea, ja tuulikuormat voivat olla huomattavan suuria. Erilliset seuraimet on sijoitettava tarpeeksi kauas toisistaan varjostusten välttämiseksi, joten tiivis sijoittelu ei ole kannattavaa ja järjestelmän laajentaminen on hankalaa. Siksi kaikkein suurimmissa järjestelmissä käytetäänkin yleensä yksiakselista mekanismia. (Sedona Solar Technology, Types Of Mounting Systems 2018.)



Kuva 4. Kahden akselin suuntaus (Kuva: Sedona Solar Technology).

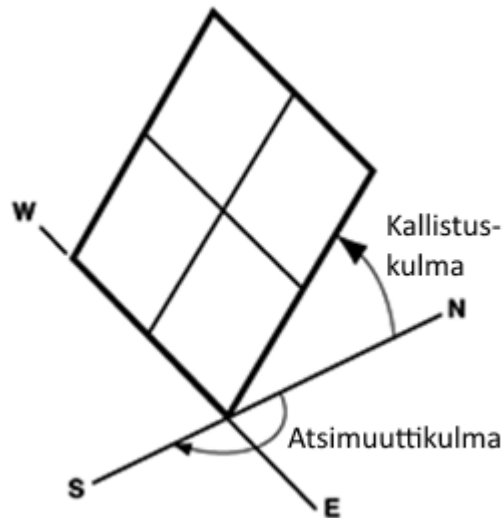
Ensisijainen akseli voi myös olla vaakasuora maan pintaan nähden (kuva 5). Tällöin tanko, jonka päähän aurinkopaneelit on asennettu ei pyöri. Tällainen mekanismi helpottaa sähköjohtojen asennusta, koska niiden ei ole mahdollista kiertyä tangon ympäri. Mekanismi voi kuitenkin rajoittaa moduulin kallistumiskulmaa, varsinkin jos molemmat moottorit ovat lineaarimoottoreita.



Kuva 5. Horisontaalinen kahden akselin suuntaus (Kuva: Sedona Solar Technology).

Myös auringon nousun ja laskun aikana auringon säteilyenergia on huomattava. Jos kallistus-kulman muutos on tarpeeksi suuri, kaksiakselinen seurainjärjestelmä pystyy hyödyntämään auringosta saatavan maksimi energiantuoton myös auringon nousun ja laskun yhteydessä, johon yksiakselinen järjestelmä ei pysty.

Kahden akselin suuntausmekanismin voi myös toteuttaa niin sanotulla atsimuuttiseurannalla (kuva 6). Sen ensisijainen akseli eli atsimuuttiakseli on pystysuorassa maan pintaan nähden, millä toteutetaan paneelien kääntö eli atsimuuttikulman muutos. Toista akselia käytetään paneelien kallistuskulman muutokseen.



Kuva 6. Atsimuuttikulma (Kuva: Sedona Solar Technology).

Atsimuuttijärjestelmät ovat melkein samanlaisia kuin tyypilliset kaksiakseliset järjestelmät, mutta erona niissä on aurinkopaneelien kiinnitystapa. Sen sijaan, että paneelit kiinnitettäisiin akselin päähän, atsimuuttijärjestelmässä ne voidaan kiinnittää suureen renkaaseen, joka kääntää paneeleita (kuva 7). Etuna tässä ratkaisussa on, että aurinkopaneelien paino jakautuu renkasosan päälle. Näin yhteen seuraimeen pystytään asentamaan enemmän aurinkopaneeleita. Tällaista järjestelmää käytetään yleensä korkeammilla leveyspiireillä.



Kuva 7. Kaksiakselinen atsimuuttiseuranta (Kuva: Titan Tracker).

2.3 Aurinkopaneelijärjestelmien vertailu

Kiinteästi asennettujen aurinkopaneelien tärkeimpiin ominaisuuksiin kuuluu niiden luotettavuus, koska niissä ei ole liikkuvia osia, minkä takia aurinkopaneelijärjestelmän kääntömekanismit ovat harvinaisia. (Käpylehto 2016, 117–118.) Kiinteä aurinkopaneelijärjestelmä on helppo asentaa tukevasti asennuspaikasta riippumatta. Muita kiinteän aurinkopaneelijärjestelmän hyviä puolia ovat vähäinen huollon tarve, yksinkertaisuus, säänkesto ja se, että järjestelmä itsessään ei kuluta sähköä.

Jotta kiinteillä aurinkopaneeleilla saa saman energiantuoton, niitä joutuu ostamaan enemmän, kuin suunnattavassa järjestelmässä. Kiinteät aurinkopaneelit liikaantuvat helpommin kuin seurain-tyyppiset järjestelmät, koska pöly, lika ja lumi kertyy kiinteiden aurinkopaneelien päälle, kun taas seurainjärjestelmien liike vähentää lian kerrostumista. Kiinteiden aurinkopaneelien muuttumaton kulma aiheuttaa auringonvalon heijastumista mikä pienentää energiantuottoa.

Kaikissa auringon seuraamiseen tarkoitetuissa järjestelmissä on hyvin samantapainen mekaniikka. Suurimpana erona niissä on ensisijaisen pyörimisakselin suunta maan pintaan nähden ja se, miten aurinkopaneelit ja moottorit on asennettu.

Seurain-tyypin valintaan vaikuttaa monet tekijät esim. järjestelmän koko, paikallinen sää ja auringon korkeus eli aurinkopaneelijärjestelmän maantieteellinen sijainti. Jos verrataan markkinoilla olevia aurinkopaneelijärjestelmiä, järjestelmän koko vaikuttaa niiden hintaan enemmän, kuin akselien lukumäärä. Näin ollen yhdelle aurinkopaneelille mitoitettut suuntausmekanismit ovat kaikkein halvimpia.

Yksiaksiaalisella järjestelmällä päästään lähelle kaksiaksiaalisen energiantuottoa, mutta se on edullisempi yksinkertaisen mekaniikan takia. Lisäksi sen huoltokustannukset ovat alhaisemmat, koska hajoavia osia on vähemmän kuin kaksiaksiaalisessa järjestelmässä. Lisäksi täytyy huomioida, että vaikka seurainjärjestelmä voi nostaa energian tuottoa huomattavasti, se vaatii kuitenkin enemmän huoltoa ja energiaa kääntömekanismien toimintaan kiinteästi asennettuihin aurinkopaneelisiin verrattuna. Siksi todellinen energiantuoton kasvu ei

välttämättä ole merkittävä. Lisäksi seurainjärjestelmä vaatii tukevan alustan ja on painavampi monimutkaisemman mekanismin takia.

Seurainjärjestelmän asentaminen tyypilliselle harjakatolle voi olla vaikeaa, kun taas lähellä katon pintaa oleva kiinteästi asennettu paneelisto on mahdollista toteuttaa nopeasti ja edullisesti (Käpylehto 2016, 122).

Sääolosuhteet ovat yleensä suurempi ongelma seurainjärjestelmissä, kuin kiinteissä järjestelmissä. Seurainjärjestelmien rakenteen vuoksi tuulikuorma voi olla ongelma. Myös kovat pakkaset voivat vaikuttaa sähkömoottoreiden toimintaan. Suunnattavien aurinkopaneelijärjestelmien parhaita puolia ovat niiden tehokkuus ja tarkkuus.

3 Aurinkopaneelin suuntausmekanismin suunnittelu

Suunnittelu aloitettiin ottamalla selvää, minkälaisia mekanismivaihtoehtoja markkinoilla olevissa seurainjärjestelmissä on käytetty. Tavoitteena on suunnitella kaksiakselialinen mekanismi mitoitettuna yhdelle aurinkopaneelille, mutta joka olisi mahdollisesti laajennettavissa eli sen tulisi kestää myös kahden aurinkopaneelin aiheuttamat kuormat. Vaikka kyseessä on pieni järjestelmä, tutkittiin myös mekanismeja, joita käytetään kaikkein suurimmissa järjestelmissä.

Suurin ero mekanismien välillä on se, mitä moottoreita on käytetty ja mihin ne on sijoitettu. Suunnitteluvaiheessa mietittiin useita vaihtoehtoisia sijoituspaikkoja moottoreille.

3.1 Vaatimukset

Opinnäytetyön vaatimuksena olivat seuraavat asiat:

- suuntaaminen kahdella akselilla
- helppo siirtää paikasta toiseen

- mahdollisuus laajentaa asentamalla enemmän aurinkopaneeleja
- suuntaus täysin pystysuoraan (90 astetta maanpintaan nähden) ja täysin vaakasuoraan.

Useimmissa markkinoilla olevissa mekanismiratkaisuissa ei ollut mahdollista kääntää aurinkopaneelia vaatimusten mukaisesti.

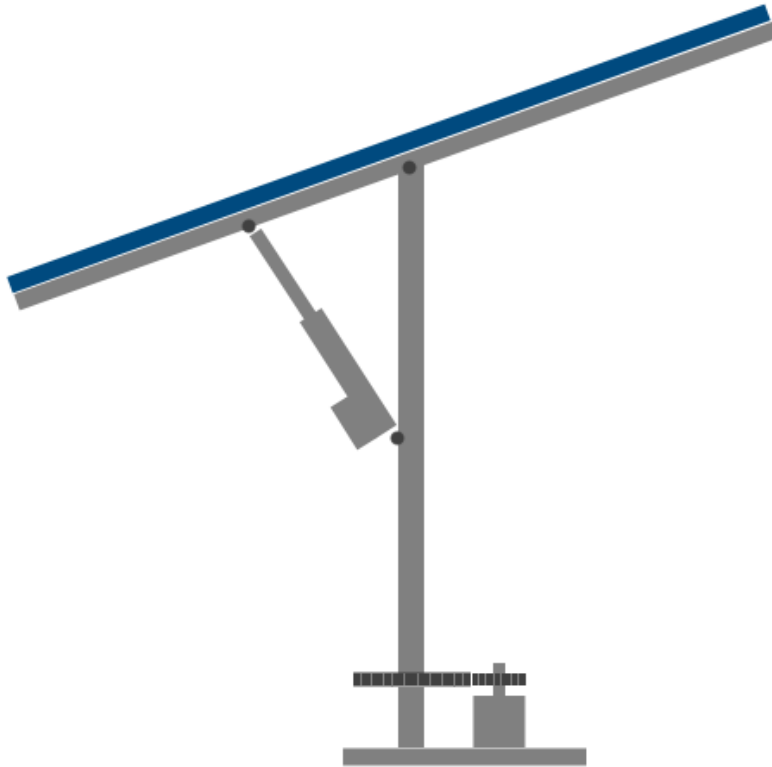
Suuntausmekanismin tarvittavat osat:

- tukeva alusta (kiinnitys mahdollisesti pulteilla tai painoilla)
- runkorakenne alumiiniprofiilista
- kiinnitysosat
- kaksi sähkömoottoria
- muovikotelo sähköosille
- mahdollisesti vedenpitävä kotelo alustaan, jonka sisälle moottori.

3.2 Erilaisia mekanismivaihtoehtoja

Paneelin suuntausmekanismiksi suunniteltiin kolme erilaista toteutustapaa vaatimusten pohjalta. Niistä piirrettiin luonnokset, jotka ovat vain suuntaa antavia eivätkä välttämättä kuvaa mekanismin toiminnallisuutta tai vastaa todellisia mittasuhteita.

Ensimmäisenä vaihtoehtona oli *malli 1*. Siinä on pyörivä varsi, jonka kääntö toteutetaan askelmoottorilla, joka sijoitetaan alas (kuva 8). Kulman muutos tapahtuu lineaarimoottorilla.



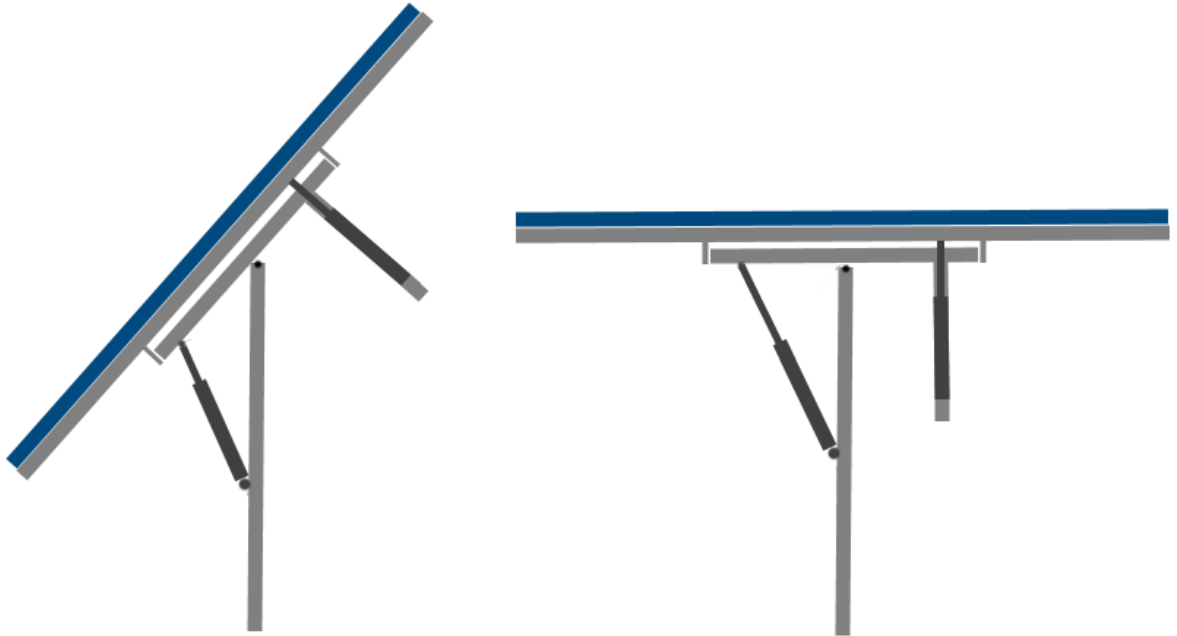
Kuva 8. Malli 1 (Kuva: Sini Lampinen).

Useimmissa kahden akselin aurinkopaneelijärjestelmissä on käytetty tätä ratkaisua. Pyörivä varsi mahdollistaa laajimman mahdollisen liikeradan, mutta sähköjohtojen kiertyminen varren ympäri on otettava huomioon. Järjestelmä on tukeva, koska painopiste on alhaalla.

Taulukko 1. Ensimmäisen mallin hyödyt ja haitat.

Hyödyt	Haitat
Laajat liikeradat	Sähköjohtojen kiertyminen
Yksinkertainen	
Tukeva	

Toiseksi vaihtoehdoksi suunniteltiin *malli 2*. Horisontaalinen tip-tilt, jossa kaksi lineaarimoottoria (kuva 9). Tässä järjestelmässä molempien akselien kääntö toteutetaan lineaarimoottorilla.



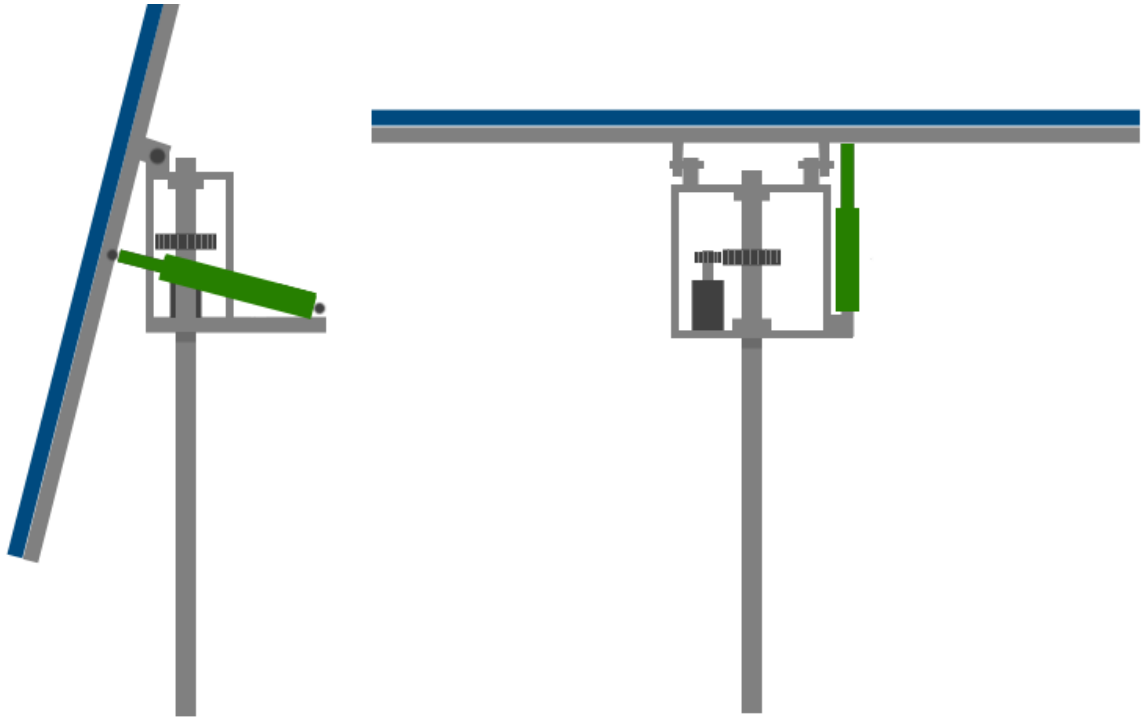
Kuva 9. Malli 2 (Kuva: Sini Lampinen).

Varren yläosassa on ristinivel -tyyppinen mekanismi. Varsi ei ole pyörivä, joten sähköjohtojen kiertyminen ei ole ongelma. Tämän ansiosta varresta olisi mahdollista tehdä kokoontaitettava kuljetusta varten. Tämä ratkaisu on kokonaisuudessaan kevyt ja se vaatii tukevan alustan ja kiinnityksen, koska painopiste on korkealla.

Taulukko 2. Toisen mallin hyödyt ja haitat.

Hyödyt	Haitat
Kevyt	Kulman muutos ei ole riittävä
Yksinkertainen	Liian lyhyet liikeradat
Sähköjohdot eivät kierry varren ympärille	

Kolmantena vaihtoehtona oli *malli 3*, jossa Askelmoottori sijoitetaan varren yläpäähän "laatikkoon" jolloin vain yläosa on pyörivä (kuva 10). kulman muutos tapahtuu lineaarimoottorilla.



Kuva 10. Malli 3 (Kuva: Sini Lampinen).

Ongelmaksi tässä ratkaisussa tulee korkealla sijaitseva painopiste ja hammaspyörän koko, joka tulisi olemaan suurempi, kuin kuvassa 10 on esitetty, jolloin painopiste siirtyy liian kauas keskiakselista.

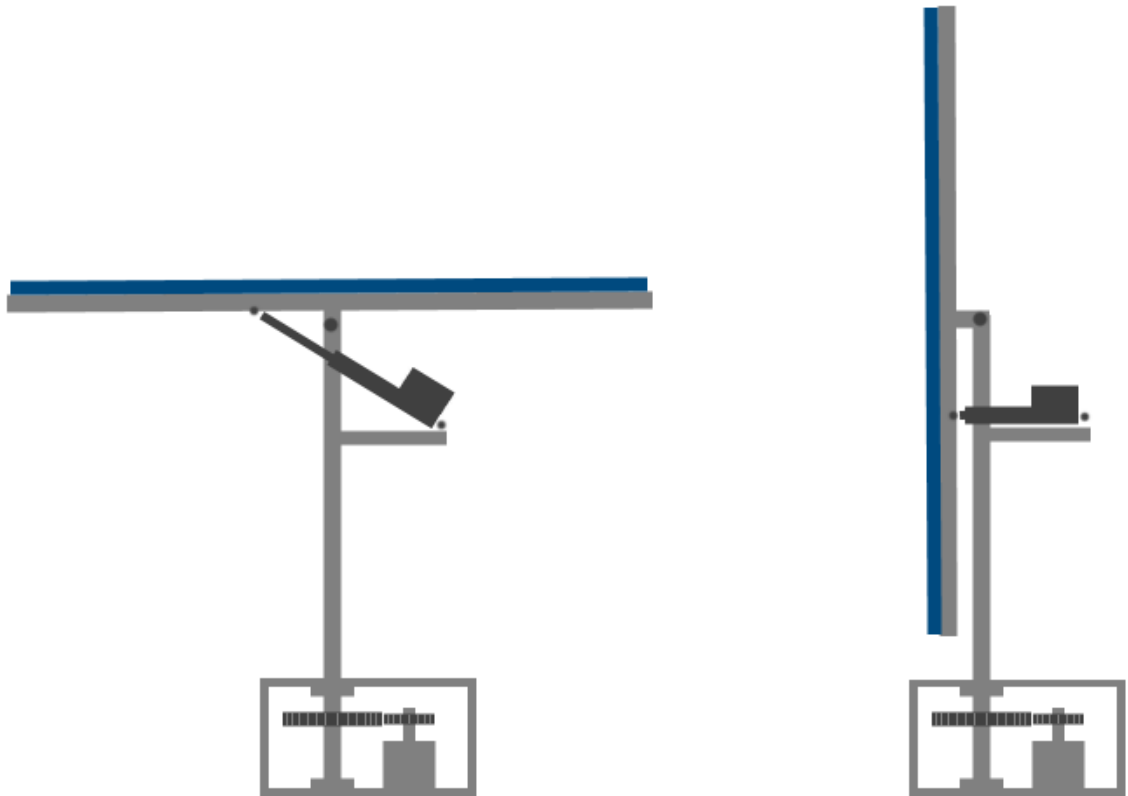
Taulukko 3. Kolmannen mallin hyödyt ja haitat.

Hyödyt	Haitat
Laajat liikeradat	Painopisteen paikka
	Hammaspyörä ei mahdu yläosaan

3.3 Aurinkopaneelin suuntausmekanismin valinta

Malli 1 on yksinkertaisempi ja tukevampi kuin *malli 3*, koska painopiste on alempana. Lisäksi se mahdollistaa laajemmat liikeradat kuin *malli 2*. Kun askelmoottorin sijoittaa alas, sen saa helposti suojattua säältä ja koteloa suurentamalla saman kotelon sisään voi sijoittaa myös akun ja mahdollisesti lisäpainoja. Tämän takia päädyttiin *malliin 1*, jota alettiin suunnitella eteenpäin. Lineaarimoottorin sijoituspaikka vaihdettiin alkuperäisestä luonnoksesta, ja lopullinen sijoituspaikka

mahdollistaa aurinkopaneelin kääntämisen täysin pysty- ja vaakasuoraan asentoon (kuva 11).



Kuva 11. Luonnos valitusta mekanismiratkaisusta (Kuva: Sini Lampinen).

3.4 Lineaarimoottorin mitoitus

Koska aurinkopaneeli keskitetään sitä kannattelevan nivelen päälle, sen kääntämisestä ei aiheudu lineaarimoottoriin merkittäviä voimia. Suurimmat voimat, jotka vaikuttavat lineaarimoottoriin syntyvät tuulikuormasta. Aurinkopaneelin koko vaikuttaa tuulikuorman suuruuteen. Lineaarimoottori mitoitettiin aurinkopaneelille, jonka mitat ovat 1600 mm x 1000 mm.

Tuulikuorman laskemiseen käytettiin standardia SFS-EN 1991-1-4+AC+AC1 ja kaavaa 1.

$$F_w = C_s C_d \cdot C_f \cdot qp(ze) \cdot A_{ref} \quad (1)$$

missä F_w = tuulivoima
 $C_s C_d$ = rakennekerroin (1 = ei värähtelee)
 C_f = tuulivoimakerroin (1,8 = liikennemerkkimäinen)
 $q_p(z_e)$ = tuulenpaine kerroin korkeudella z_e
 A_{ref} = pinta-ala = 1,6 m²

Tuulenpaine kertoimena käytettiin arvoa 0,65 kN/m², joka vastaa arvoa korkeudella 5 metriä maastotasosta maasto luokassa 1.

Kaikki arvot kaavaan 1 sijoitettuna:

$$F_w = 1 \cdot 1,8 \cdot 0,65 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,6 \text{ m}^2 = 1872 \text{ N} \quad (1)$$

Tarvitaan siis 2000 N moottori. Moottorin iskunpituuden valinta tehtiin sen sijoituspaikan perusteella.

3.5 Varren mitoitus

Varren materiaaliksi valittiin alustavasti 45x45 alumiiniprofiili. Varren täytyy kestää tuulikuormasta aiheutuvat jännitykset. Varren keston tarkastelussa käytettiin kaavaa 2.

$$\delta_x = \frac{Mt_z}{I_z} \cdot y \quad (2)$$

missä δ_x = normaalijännitys
 Mt_z = taivutusmomentti
 I_z = pinnan neliömomentti z-akselin suhteen
 y = tarkastelukohta y-suunnassa

45x45 Alumiiniprofiilista tarvittavat tekniset tiedot:

$$I_z = 1,4 \cdot 10^5 \text{ mm}^4 = 140\,000 \text{ mm}^4$$

$$y_{max} = 22,5 \text{ mm}$$

$$\text{Alumiinin myötöraja} = 195 \text{ MPa}$$

Taivutusmomentti saadaan laskettua kaavasta 3.

$$Mt_{zmax} = F_w \cdot l \quad (3)$$

missä Mt_{zmax} = taivutusmomentti

F_w = tuulivoima

l = varren pituus

Taivutusmomentin laskemiseksi tarvitaan aikaisemmin laskettu suurin mahdollinen tuulivoima 1872 N ja varren pituus 1000 mm. Arvot kaavaan 3 sijoitettuna:

$$Mt_{zmax} = 1872 \text{ N} \cdot 1000 \text{ mm} = 1\,872\,000 \text{ Nmm} \quad (3)$$

Nyt saadaan laskettua 45x45 alumiiniprofiilivarteen aiheutuva normaalijännitys kaavalla 2.

$$\delta_{max} = \frac{1\,872\,000 \text{ Nmm}}{140\,000 \text{ mm}^4} \cdot 22,5 \text{ mm} = 300,9 \text{ N/mm}^2 \quad (2)$$

Verrataan laskettua tulosta alumiinin myötörajaan: 300,9 MPa > 195 MPa.

Vertailusta saadaan selville, että 45x45 alumiiniprofiili ei kestä. Täytyy valita isompi, joko 45x90 tai 90x90.

Tarkistetaan 45x90 alumiiniprofiilivarren kestävyys.

45x90 Alumiiniprofiilin tekniset tiedot:

$$I_z = 2,6 \times 10^5 \text{ mm}^4 = 260\,000 \text{ mm}^4$$

$$y_{max} = 22,5 \text{ mm}$$

$$\text{Alumiinin myötöraja} = 195 \text{ MPa}$$

Lasketaan 45x90 Alumiiniprofiilivarteen aiheutuva normaalijännitys kaavalla 2.

$$\delta_{max} = \frac{1\,872\,000 \text{ Nmm}}{260\,000 \text{ mm}^4} \cdot 22,5 \text{ mm} = 162 \text{ N/mm}^2 \quad (2)$$

162 MPa < 195 MPa, joten 45x90 alumiiniprofiili kestää. Tarkistetaan vielä myös 90x90 alumiiniprofiilivarren kestävyys. Tekniset tiedot:

$$I_z = 16 \times 10^5 \text{ mm}^4 = 1\,600\,000 \text{ mm}^4$$

$$y_{max} = 45 \text{ mm}$$

$$\text{Alumiinin myötöraja} = 195 \text{ MPa}$$

Lasketaan 90x90 Alumiiniprofiilivarteen aiheutuva normaalijännitys kaavalla 2.

$$\delta_{max} = \frac{1\,872\,000 \text{ Nmm}}{1\,600\,000 \text{ mm}^4} \cdot 45 \text{ mm} = 52,7 \text{ N/mm}^2 \quad (2)$$

52,7 MPa < 195 MPa, joten 90x90 alumiiniprofiili kestää tuulikuormasta aiheutuvat jännitykset hyvin. Toisaalta se on käytännöllisempi kuin 45x90 symmetrisyyden takia ja mahdollistaa tukevamman kiinnityksen akseliin. Tämän takia varreksi valittiin 90x90 alumiiniprofiili.

Varren pituudeksi suunniteltiin 1 metri, mutta sitä lyhennettiin ja päädyttiin 900 mm:n, koska rakenteesta halutaan mahdollisimman kevyt. Tämä pituus riittää, koska paneelin alareunan ja mahdollisen kotelon väliin jää vielä noin 100 mm varaa, kun paneelin kääntää pystysuoraan asentoon.

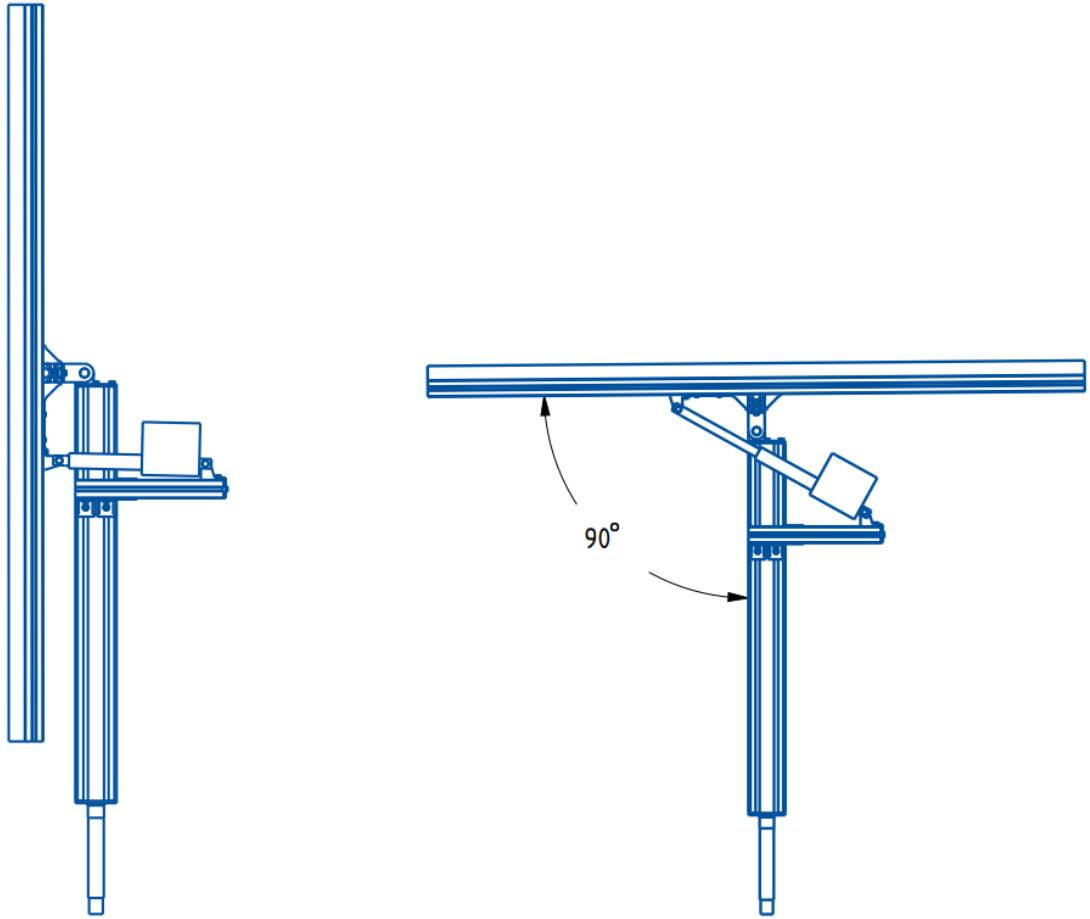
4 3D-malli

Aurinkopaneelin suuntausmekanismista tehtiin 3D-malli PTC Creo Parametric -suunnitteluohjelmalla (kuva 13). Paneelin kiinnitystä varten suunniteltiin kehikko alumiiniprofiilista, joka on mitoitettu 1600x1000 mm:n kokoiselle aurinkopaneelille. Alumiiniprofiilien kokoonpanossa käytettiin valmiiksi mitoitettuja osia. Paneelin tukirakenteen ja varren välinen nivel sekä lineaarimoottorin kiinnikkeet suunniteltiin ja mitoitettiin itse, minkä jälkeen ne mallinnettiin suunnitteluohjelmalla. Kaikista itse suunnitelluista osista tehtiin mittapiirustukset (liite 1).

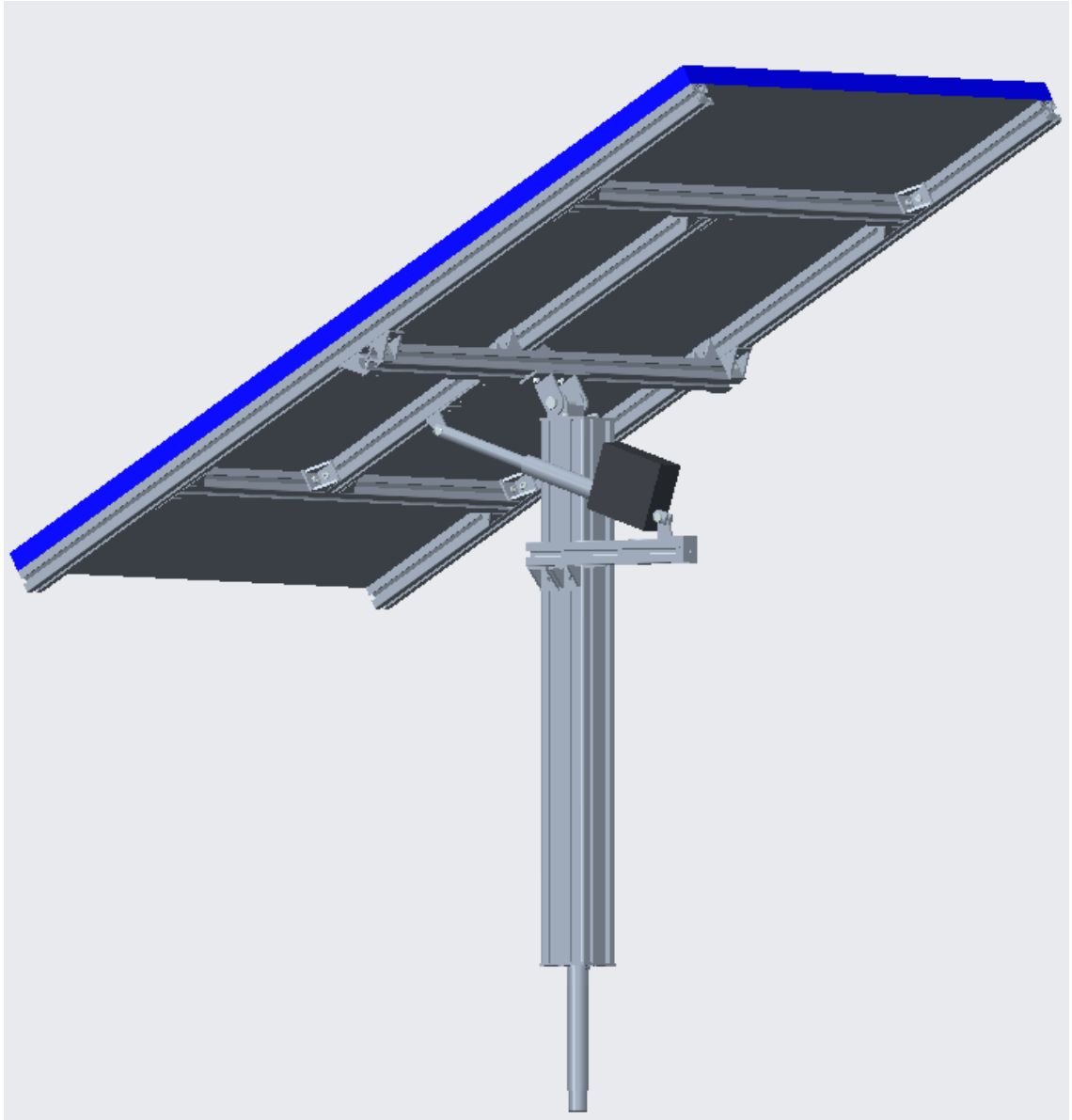
Taulukko 4. Osaluettelo.

Osa	Osan kuvaus	Mitat	Kpl
Nivel1	Tukirakenteen ja varren välinen nivel		1
Nivel2	Vastakappale		1
Kiinnike	Lineaarimoottorin kiinnikkeet		2
Tukilevy	Kiinnikkeen liukumisen estäminen	160x40x3	1
Päätyosa	Lineaarimoottorin tukipalkin pääty	45x40	1
Varsi	Alumiiniprofiili 900 mm	90x90x900	1
Reunapalkki	Alumiiniprofiili 1600 mm	40x40x1600	2
Tukipalkki	Alumiiniprofiili 920 mm	40x40x920	2
Kiinnikepalkki	Alumiiniprofiili 900 mm	40x40x900	1
Keskipalkki	Alumiiniprofiili 1000 mm	40x40x1000	1
Lineaarimoottorin tuki	Alumiiniprofiili 323 mm	40x40x323	1
Kulma	Alumiiniprofiilin kulmapala	40x40	22
Kulma	Alumiiniprofiilin kulmapala	45x45	1

Lineaarimoottorin iskunpituudeksi valittiin 200 mm, koska se on lyhyin ja siten myös kevyin vaihtoehto, mutta riittää 90 asteen kääntökulman saavuttamiseksi. Lineaarimoottorin tukipalkki paikoitettiin niin, että paneelin ääriasennot vastaavat vaatimuksia (kuva 12). Lopuksi 3D-mallista tehtiin kokoonpanopiirustus (liite 1).



Kuva 12. Paneelin suuntaus (Kuva: Sini Lampinen).



Kuva 13. 3D-kokoonpano (Kuva: Sini Lampinen).

5 Pohdinta

Erilaisten aurinkopaneelin suuntaismekanismien suunnittelu oli mielenkiintoista, vaikka lopputulos muistuttaakin yleisesti käytettyjä malleja kahden akselin suuntauksessa. Opinnäytetyössä oli myös muutamia kohtia, joissa ei täysin onnistuttu, esim. yhtenä vaatimuksena oli järjestelmän mahdollinen laajentaminen. Tätä varten tarvitsisi kuitenkin isomman lineaarimoottorin ja tukevamman rakenteen, mikä tekisi järjestelmästä turhan painavan yhdelle paneelille, jolloin sen siirtäminen tulisi hankalammaksi. Opinnäytetyö ei myöskään pysynyt aikataulussa.

Opinnäytetyön aihe on ajankohtainen, koska aurinkoenergia on yksi tärkeimmistä uusiutuvan energian lähteistä ympäristöystävällisyyden takia. Suomessakin on kohtuullisen hyvät mahdollisuudet aurinkoenergian tuotantoon pitkien kesäpäivien ansiosta. Siksi on tärkeää, että aurinkoenergian hyödyntämiseen kehitetään jatkuvasti uusia ja tehokkaampia ratkaisuja.

Lähteet

- Adam Heisserer. 2017. Solar Tracking.
<https://www.adamheisserer.com/#/passive-solar-tracking/>.
16.1.2019.
- All Earth Renewables. 2017. PV Tracker vs. PV Fixed Mount System.
<https://www.allearthrenewables.com/blog/dealers/dealers/pv-tracker-vs-pv-fixed-mount-system>. 15.5.2018.
- Green World Investor. 2011. Solar Trackers Guide.
<http://www.greenworldinvestor.com/2011/07/06/solar-trackers-guide-types-passivesingle-axisdual-axis-2-axisprice-and-uses/>.
24.5.2018.
- Homepower. 2018. <https://www.homepower.com/tracker-types-features>.
9.6.2018.
- Independent Power Systems. 2016. Like a Sunflower, Solar PV Panels Track the Sun. <http://solarips.com/2016/02/like-a-sunflower-solar-pv-panels-track-the-sun/>. 15.5.2018.
- Inter PV. 2010. Energy Yield and Solar Trackers.
http://www.interpv.net/magazine/mag_view.asp?idx=416&page=2&part_code=02. 11.6.2018.
- Käpylehto, J. 2016. Auringosta sähköt kotiin, kerrostaloon ja yritykseen.
Helsinki: Into Kustannus Oy.
- Perälä, R. 2017. Aurinkosähköä. Alfamer / Karisto Oy.
- Sedona Solar Technology. 2018. Types of mounting systems.
<http://sedonasolartechnology.com/types-of-mounting-systems/>.
2.5.2018.
- Solar Feeds. 2021. Types of Solar Trackers and their Advantages and Disadvantages. <https://solarfeeds.com/solar-trackers-types-and-its-advantages-and-disadvantages/>. 1.12.2021
- Solar Power World. 2016. Advantages and disadvantages of a solar tracker system.
<https://www.solarpowerworldonline.com/2016/05/advantages-disadvantages-solar-tracker-system/>. 9.6.2018.
- Solar Tracker Guide. 2017. Types of solar trackers.
<http://www.solartracker.guide/types-of-solar-trackers/>. 21.5.2018.
- Suntekno Oy. 2010. Aurinkopaneelit.
<http://suntekno.bonsait.fi/resources/public/tietopankki/paneelit.pdf>.
2.5.2018.
- Wikipedia. Solar Tracker. https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_tracker. 20.5.2018.

kuvio 1: <http://sedonasolartechnology.com/performance/>

kuva 1: <http://arctrackerinc.net/en/trackers/>

kuva 2: <http://www.degerenergie.de/>

kuva 3: <http://www.chrunsol.com/cn/project.aspx?page=2>

kuva 4: <http://sedonasolartechnology.com/types-of-mounting-systems/>

kuva 5: <http://sedonasolartechnology.com/types-of-mounting-systems/>

kuva 6: <http://sedonasolartechnology.com/types-of-mounting-systems/>

kuva 7: http://www.titantracker.es/v_portal/apartados/apartado.asp?te=718

kuva 8: Sini Lampinen

kuva 9: Sini Lampinen

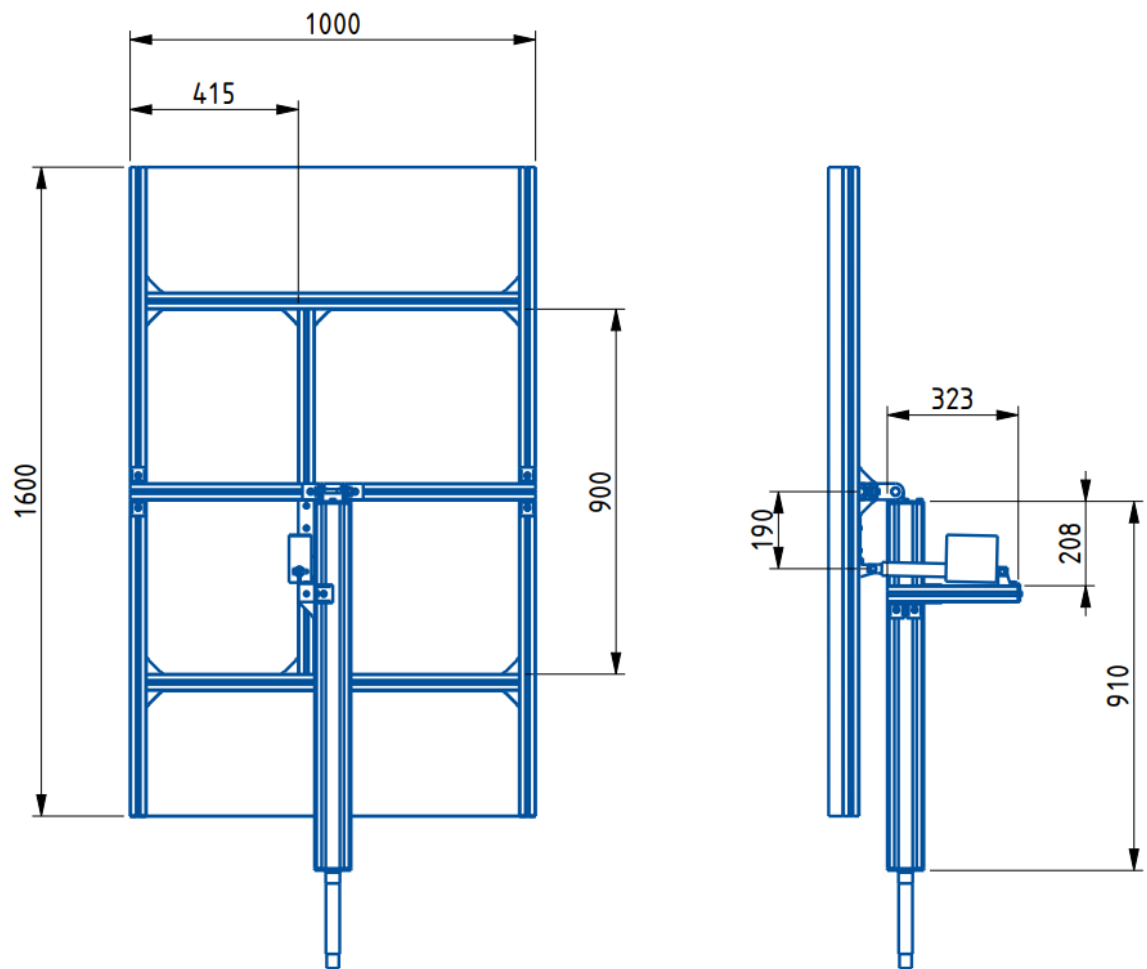
kuva 10: Sini Lampinen

kuva 11: Sini Lampinen

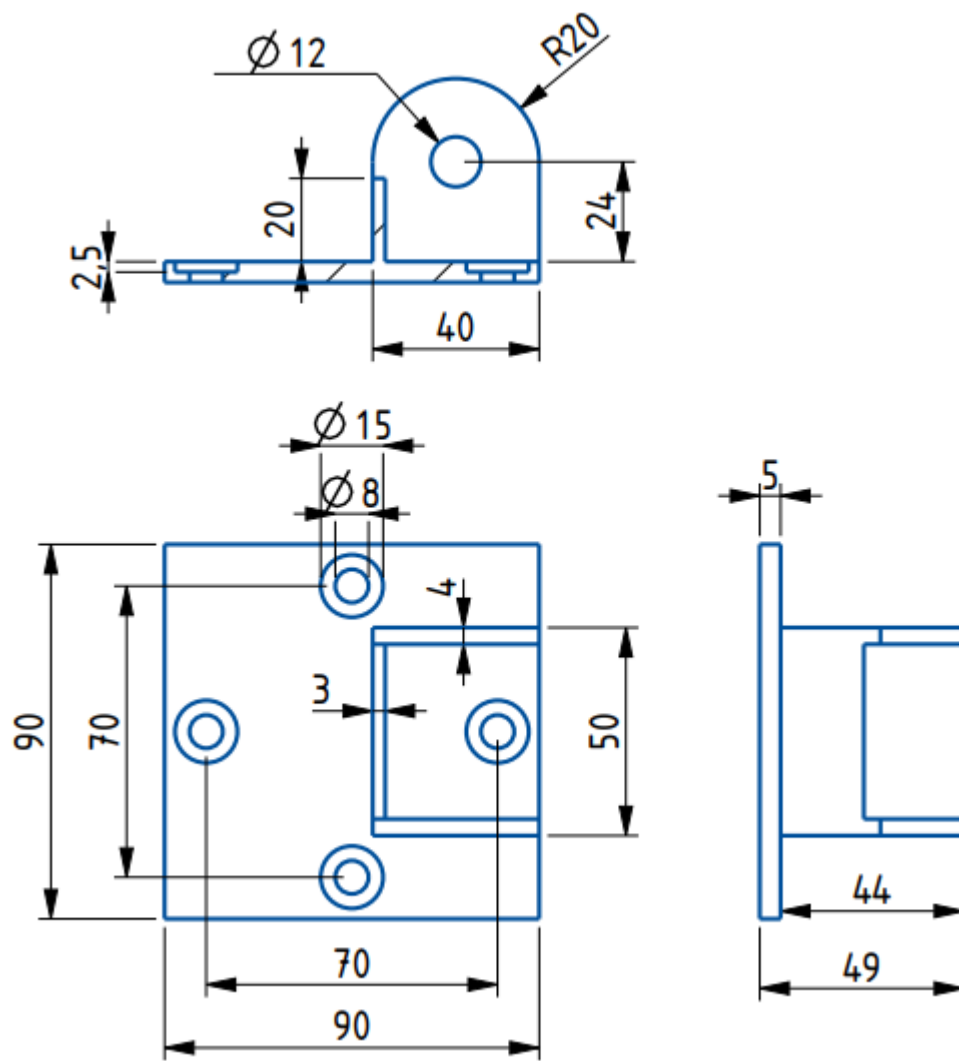
Kuva 12: Sini Lampinen

Kuva 13: Sini Lampinen

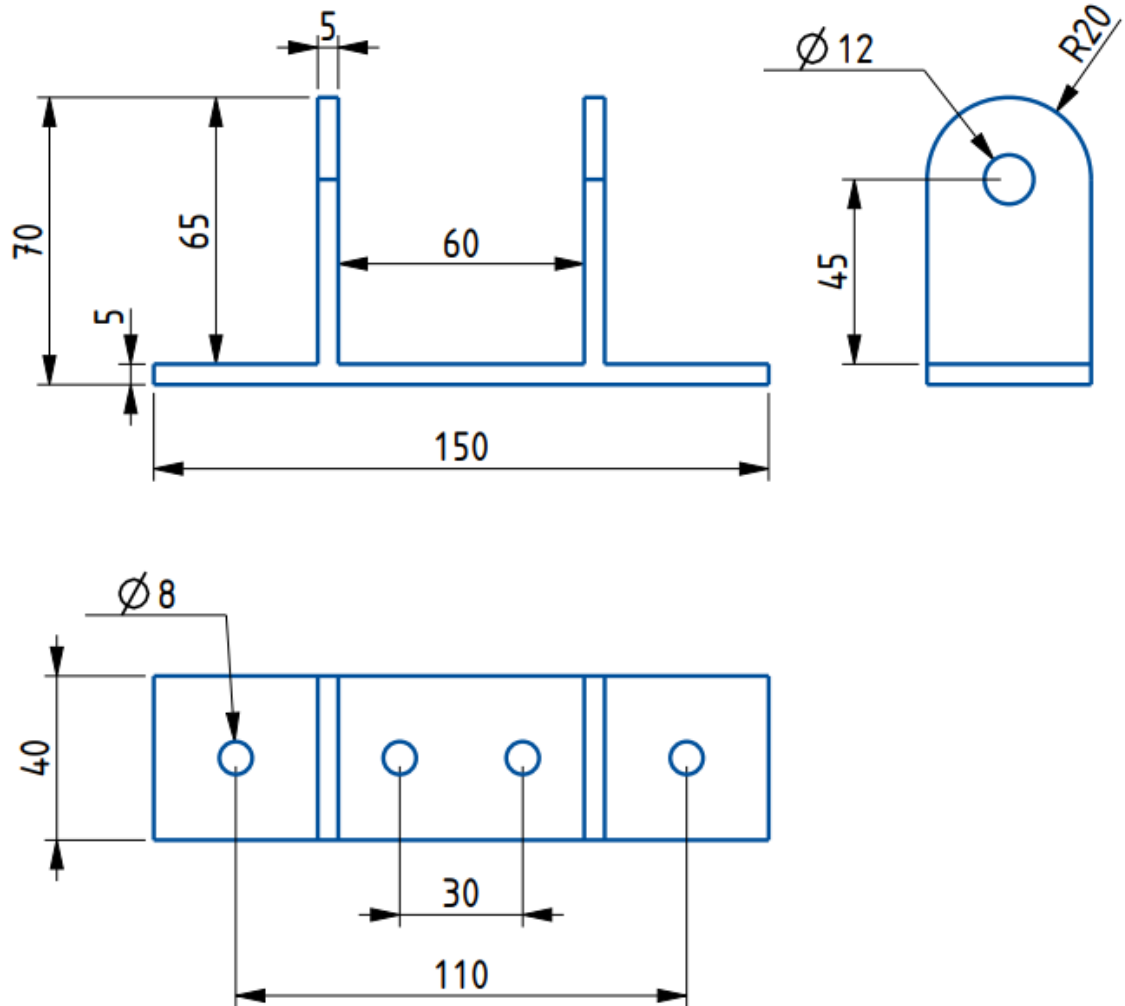
Mittapiirustukset



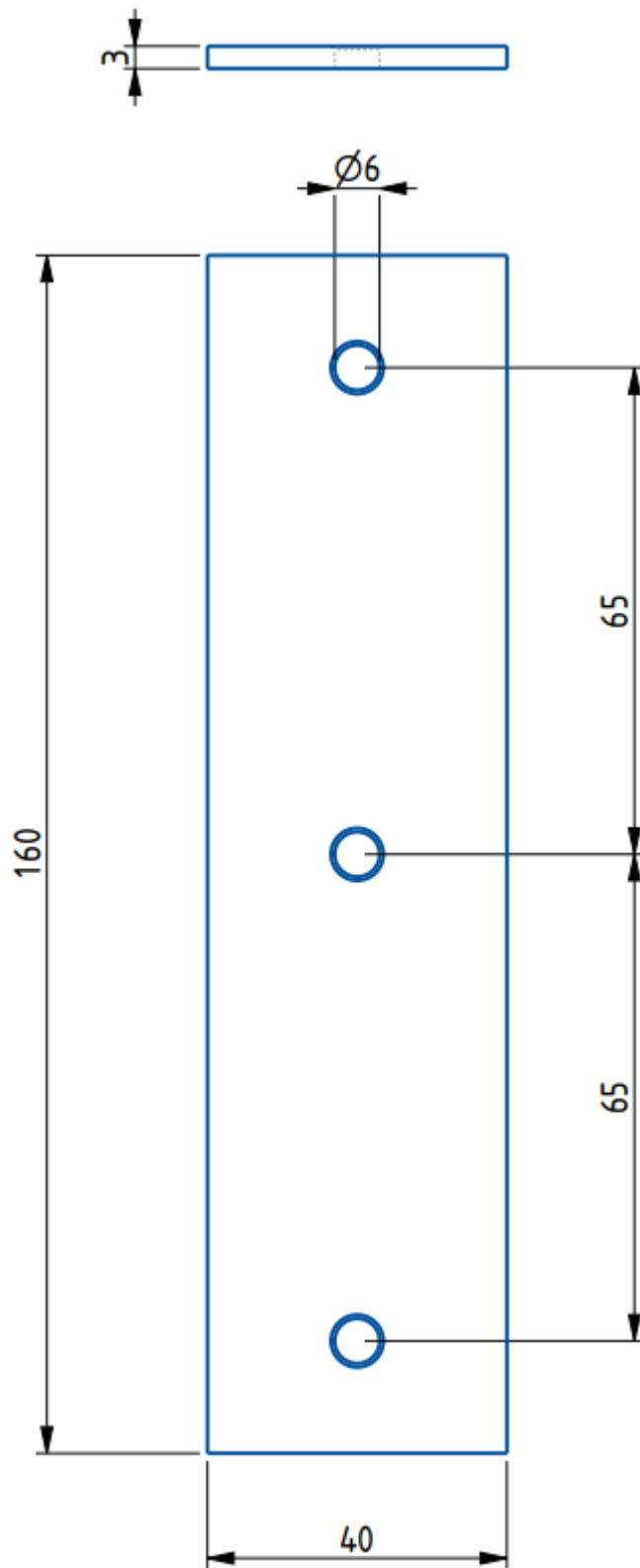
Mittapiirustukset



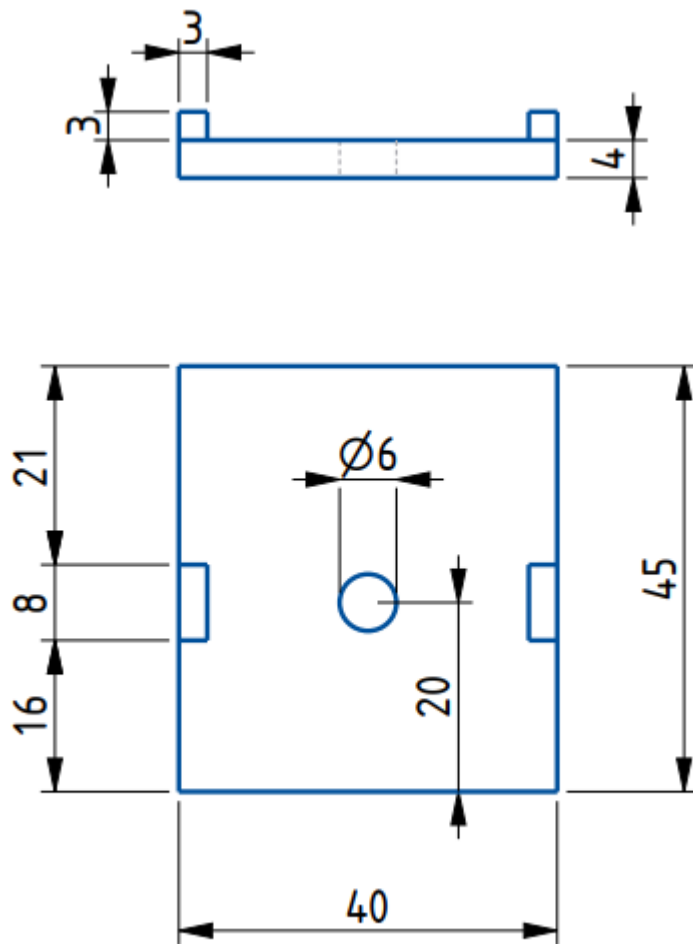
Mittapiirustukset



Mittapiirustukset



Mittapiirustukset



Mittapiirustukset

