

AURINKOPANEELIEN SUUNTAUSMEKANISMI

Tehokkuuden parantaminen ja suunnitteluperiaatteet

Jamil Al-Rubaye
Opinnäytetyö AMK
Kevät 2025
Automaatiotekniikka
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä: Jamil Al-Rubaye

Opinnäytetyön nimi: Aurinkopaneelin suuntausmekanismi: Tehokkuuden parantaminen ja suunnitteluperiaatteet

Työn ohjaaja: Satu Vähänikkilä

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2025

Sivumäärä: 45

Tässä opinnäytetyössä kehitettiin aurinkopaneelien suuntausmekanismi, joka maksimoi aurinkopaneelien energiantuoton seuraamalla auringon liikettä. Työn tavoitteena oli suunnitella kustannustehokas ja kestävä ratkaisu, joka mahdollistaa aurinkopaneelien optimaalisen suuntauksen sekä kotitalouksissa että pienimuotoisissa kaupallisissa sovelluksissa.

Keskeisenä toteutustapana käytettiin Raspberry Pi:tä ja Python-ohjelmointia, joiden avulla paneelien asento optimoitiin reaaliaikaisesti kameran perusteella. Mekanismin rungon suunnittelussa huomioitiin IP67-standardin vaatimukset, säänkestävyys ja rakenne, joka tukee jopa Trina Solar TSM-270PD05-aurinkopaneelia (19 kg). Lineaariset moottorit mahdollistivat paneelin tarkan liikkeen, ja turvallisuustoiminnot, kuten manuaaliset painikkeet ja ylivirtasuojaukset, lisäsivät järjestelmän luotettavuutta.

Tulokset osoittivat, että kehitetty järjestelmä paransi aurinkopaneelien energiatehokkuutta merkittävästi verrattuna kiinteisiin järjestelmiin, erityisesti alueilla, joilla auringonvalon intensiteetti vaihtelee. Suunniteltu mekanismi on helposti skaalattavissa, ja sen teknologiat tarjoavat potentiaalia laajamittaisiin sovelluksiin, kuten aurinkofarmeihin.

Johtopäätöksinä esitetään, että aurinkopaneelien tehokkuuden parantaminen vaatii sekä ohjelmisto- että laitteistosuunnittelun saumattoman integraation. Jatkotutkimusta suositellaan erityisesti tuulen- ja säänkestävyyden optimoimiseksi sekä kaupallisen käytön laajentamiseksi.

Asiasanat: Aurinkopaneelit, Suuntausmekanismi, Energiantuotto, Raspberry Pi, Python-ohjelmointi, Uusiutuva energia, Automaatio.

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme Automation Engineering

Author: Jamil Al-Rubaye
Title of thesis: Solar Panel Orientation Mechanism
Supervisor: Satu Vähänikkilä
Term and year when the thesis were submitted: Spring 2025
Number of pages: 45

This Thesis presents the design and development of a solar panel orientation mechanism aimed at maximizing energy output by tracking the sun's movement throughout the day. The primary objective was to create a cost-effective, durable and scalable system that could be used in both residential and small-scale commercial applications. The study focused on combining innovative design principles with automation technology to address the inefficiencies of fixed solar panel systems.

The system was built using a Raspberry Pi microcontroller, Python programming and real time camera to detect the brightest spot in the sky. Linear actuators controlled the movement of the solar panel frame to ensure optimal alignment with the sun. The frame was designed to meet IP67 standards, providing resistance to dust and rain. It was also engineered to support a Trina Solar TSM-270PD02 solar panel (or similar), withstand string winds and operate efficiently in temperatures ranging from -30 Celsius to +50 Celsius. The modular and scalable nature of the mechanism allows for potential adaptation to larger solar farms by linking multiple units.

Testing revealed that the developed system significantly enhanced solar panel efficiency, increasing energy output compared to fixed systems, especially in regions with variable sunlight exposure. The project emphasized the integration of cost-effectiveness, functional reliability and ease of maintenance. Safety features such as manual override buttons and electrical protections were also incorporated into the design.

The findings highlight the potential of automated solar tracking systems to contribute to sustainable energy solutions. Further research is recommended to improve the frame's durability under extreme weather conditions, develop algorithms for smoother actuator movements and explore commercial scale applications.

Keywords: Solar panels, Orientations mechanism, Raspberry Pi, Python programming, Energy efficiency

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
1.1	Tutkimuksen tausta ja tarkoitus.....	6
1.2	Tutkimuskysymykset ja tavoitteet.....	7
1.3	Työn rajoitukset ja rakenne	8
2	AURINKOPANEELIEN SUUNTAUSMEKANISMIT	9
2.1	Aurinkopaneelien toiminta ja energiatehokkuus.....	10
2.2	Suuntausmekanismin yleiset vaatimukset.....	12
2.3	Aiemmat ratkaisut ja innovaatiot	14
3	OSIEN SUUNNITTELU JA VALINTA	16
3.1	Suuntausmekanismin komponentit	16
3.2	Sähköiset komponentit.....	18
4	3D-MALLINNUS JA SUUNNITTELUOHJELMISTOT	20
4.1	Käytetty ohjelmisto	20
4.2	Pienempi kehikko yhdelle aurinkopaneelille.....	20
4.2.1	3D-mallinnus.....	21
4.2.2	2D-mallinnus.....	22
4.3	Suurempi kehikko neljälle aurinkopaneelille.....	29
5	OHJELMOINTI JA AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄ (PYTHON)	34
5.1	Ohjelman rakenne ja toiminnot	34
5.2	Koodin toteutus ja testaus.....	36
5.3	Integrointi mekaaniseen järjestelmään.....	39
6	TESTAUS JA ANALYYSI	41
7	JOHTOPÄÄTÖKSET JA KEHITYSEHDOTUKSET	43
	LÄHDELUETTELO	45

1 JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen tausta ja tarkoitus

Aurinkoenergia on yksi nopeimmin kasvavista uusiutuvan energian lähteistä, ja sen merkitys on kasvanut huomattavasti ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi ja fossiilisten polttoaineiden vähentämiseksi. Tällä hetkellä fossiilisten polttoaineiden hinnat ovat nousseet merkittävästi maailmanlaajuisesti, mikä on lisännyt painetta siirtyä kestävämpiin ja kustannustehokkaampiin energiaratkaisuihin. Aurinkoenergian hyödyntäminen voi tarjota ratkaisuja tähän haasteeseen, koska se on uusiutuva ja vähäpäästöinen energialähde, joka voi auttaa vähentämään riippuvuutta kalliista fossiilisista polttoaineista. Aurinkopaneelien tehokkuus ja energian tuotannon maksimoiminen ovat kuitenkin edelleen haasteita, jotka vaativat teknisiä innovaatioita. Perinteiset, paikallaan pysyvät aurinkopaneelit eivät pysty hyödyntämään auringon säteilyä optimaalisesti koko päivän ajan, koska ne eivät pysty sopeutumaan auringon liikkeeseen taivaalla. Tämä johtaa energian tuotannon alenemiseen verrattuna järjestelmiin, jotka seuraavat aurinkoa aktiivisesti. Aurinkopaneelien suuntausmekanismin kehittäminen voi parantaa merkittävästi aurinkopaneelien tehokkuutta ja näin tukea kestävästi energian tuotannon lisäämistä.

Tämä opinnäytetyö keskittyy aurinkopaneelien suuntausmekanismiin, joka parantaa niiden energiatehokkuutta seuraamalla auringon liikettä. Työn tavoitteena on kehittää suunnitteluratkaisu, joka mahdollistaa paneelien optimaalisen asennon säätämisen yksinkertaisella ja kustannustehokkaalla tavalla. Tämä sisältää suunnittelun rungon, joka tukee paneeleita ja tarjoaa kestävästi alustan haastavissa ympäristöolosuhteissa.

Aurinkopaneelien suuntausmekanismeilla voidaan merkittävästi parantaa energian tuottoa, erityisesti kodeissa ja pienissä kaupallisissa sovelluksissa, joissa energiantuotannon maksimointi on tärkeää. Työn päätavoitteena on tarjota innovatiivinen ratkaisu, joka yhdistää toiminnallisuuden, kestävyuden ja käytännöllisyyden ja samalla edistää aurinkoenergian tehokkaampaa käyttöä.

1.2 Tutkimuskysymykset ja tavoitteet

Tämän opinnäytetyön toisena tavoitteena on vastata keskeisiin kysymyksiin, jotka liittyvät aurinkopaneelien suuntausmekanismin suunnitteluun ja toteutukseen. Pääasialliset tutkimuskysymykset ovat:

1. Kuinka suuntausmekanismilla voidaan maksimoida aurinkopaneelin energian tuotto?
2. Mitkä ovat tekniset ja ympäristölliset vaatimukset suunniteltavan rungon?
3. Kuinka suuntausmekanismin toimintaa voidaan tehostaa hyödyntämällä Python-koodia ja Raspberry Pi-laitetta?
4. Kuinka suunnittelussa voidaan yhdistää kustannustehokkuus, kestävyys ja helppokäyttöisyys?
5. Miksi valitut mekaaniset ja sähköiset osat ovat parhaita vaihtoehtoja tälle projektille?

Näihin kysymyksiin vastaaminen auttaa määrittämään ja perustelemaan suunnitteluratkaisun, joka vastaa käytännön tarpeita ja teknisiä vaatimuksia. Lisäksi kysymys osien valinnasta linkittyy työn tulevaan lukuun ”3 OSIEN SUUNNITTELU JA VALINTA”, jossa tarkastellaan perusteellisesti valittuja mekaanisia ja sähköisiä komponentteja sekä materiaalivalintoja, kuten tietokone, lineaariset moottorit, kamera jne.

Työn keskeiset tavoitteet ovat:

- Kehittää suuntausmekanismi, joka mahdollistaa aurinkopaneelin optimaalisen sijainnin auringon liikkeen mukaan.
- Suunnitella kestävä ja sääolosuhteita kestävä runko, joka tukee aurinkopaneelia ja täyttää IP67-standardin vaatimukset.
- Hyödyntää Raspberry Pi -tietokonetta ja Python-ohjelmointia suuntausmekanismin hallinnassa ja energian tuoton seurannassa.
- Luoda kustannustehokas ja modulaarinen järjestelmä, joka on sovellettavissa sekä kotitalouksiin että pienimuotoisiin kaupallisiin tarpeisiin.
- Perustella valittujen osien valinta niin teknisistä, taloudellisista kuin toiminnallisista näkökulmista.

Näihin tavoitteisiin liittyvät projektin yksityiskohtaiset vaatimukset käsitellään tarkemmin luvussa ”2.2 Suuntausmekanismin yleiset vaatimukset”, jossa määritellään sekä tekniset että ympäristölliset kriteerit, jotka suuntausmekanismin tulee täyttää. Nämä tavoitteet varmistavat, että

työ tuottaa käytännönläheisen ratkaisun, joka edistää aurinkoenergian tehokkaampaa käyttöä ja tukee siirtymistä kestävämpiin energiaratkaisuihin. On kuitenkin tärkeää huomata, että tämä opinnäytetyö ei keskity siirtymään kestävämpiin energiaratkaisuihin eikä tarkastele ratkaisuja hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi.

1.3 Työn rajoitukset ja rakenne

Tässä opinnäytetyössä keskitytään aurinkopaneelin suuntausmekanismin suunnitteluun ja kehittämiseen kotitalouksiin ja pienimuotoisiin kaupallisiin käyttötarkoituksiin. Työ ei käsittele suurikokoisten aurinkovoimaloiden ratkaisuja, eikä se tarkastele laajamittaisia aurinkoparistoja tai energian jakelujärjestelmiä. Lisäksi tässä työssä ei oteta huomioon mahdollisia laajempia ympäristövaikutuksia ja hiilidioksidipäästöjen vähentämiseen liittyviä vaikutuksia.

Työn rakenne on seuraava:

- **Johdanto:** Tässä luvussa esitellään työn tausta, tarkoitus ja pääasialliset tavoitteet.
- **Kirjallisuuskatsaus:** Tässä osiossa käsitellään aiempia tutkimuksia ja teknologioita, jotka liittyvät aurinkopaneelisiin, suuntausmekanismeihin ja niiden optimointiin.
- **Suunnittelu ja tekniset yksityiskohdat:** Tässä luvussa tarkastellaan aurinkopaneelin suuntausmekanismin ja siihen liittyvien komponenttien suunnittelua sekä niiden valintaa.
- **Ohjelmointi ja toteutus:** Tässä osiossa käsitellään Python-ohjelmointia ja sen käyttöä suuntausmekanismin ohjaamisessa, sekä energian tuoton seurannassa.
- **Johtopäätökset ja suositukset:** Tässä luvussa arvioidaan projektin onnistumista, esitetään mahdollisia parannusehdotuksia ja pohditaan tulevaisuuden tutkimusmahdollisuuksia.

2 AURINKOPANEELIEN SUUNTAUSMEKANISMIT

Aurinkopaneelien tehokkuuden maksimoiminen edellyttää sekä teknisiä että käytännön toimenpiteitä, jotka varmistavat niiden optimaalisen toiminnan eri olosuhteissa. Tässä kappaleessa käsitellään suuntausmekanismin lisäksi tärkeimpiä keinoja parantaa aurinkopaneelien energiatehokkuutta, kuten sijoittelua, huoltoa, jäähdytystä, energiavarastointia ja uusimpien teknologioiden hyödyntämistä.

Aurinkopaneelien sijoittelu ja suuntaus ovat keskeisiä tekijöitä niiden energiantuotannossa. Paneelit tulisi asentaa kulmaan, joka maksimoi auringonvalon vastaanoton. Lisäksi paneelien sijoittaminen alueille, joilla ei ole varjoistavia esteitä, kuten puita tai rakennuksia, parantaa merkittävästi niiden tehokkuutta, Esteet voivat vähentää energiantuotantoa jopa useita prosentteja päivittäin. (SEAI 01.09.2021.) Aurinkopaneelien pinnalle kertyvä pöly, lika ja lumi voivat heikentää energiantuotantoa huomattavasti. Säännöllinen puhdistus erityisesti pölyisillä tai lumisilla alueilla on välttämätöntä tuotannon ylläpitämiseksi. Siksi aurinkopaneelit tulisi sijoittaa jonkin kauas puista tai rakennuksesta, jotta lunta ja kasvijätteitä ei putoa paneelien päälle. (Walker 01.09.2021.) Nykyään IoT-pohjaiset järjestelmät mahdollistavat paneelien puhtauden reaaliaikaisen seurannan ja automaattisen puhdistuksen aktivoimisen tarvittaessa (Biswas, Bhuyan & Hassan 2023).

Korkeat lämpötilat voivat vähentää aurinkopaneelien tehokkuutta, sillä ne vaikuttavat negatiivisesti paneelien jännitteeseen. Aktiiviset jäähdytysmenetelmät, kuten veden käyttäminen paneelien jäähdytykseen, voivat olla tehokkaita lämpöhäviöiden minimoimiseksi. (Anandkumar, Vinoth, Nanthini & Anandkumar 2022.) Aurinkopaneelien tuotanto vaihtelee auringonvalon saatavuuden mukaan, mikä voi aiheuttaa haasteita energian käytön tasapainottamisessa. Energian varastointijärjestelmät, kuten akut mahdollistavat ylimääräisen energian keräämisen ja käytön. Energian varastointi myös parantaa järjestelmän luotettavuutta, erityisesti tilanteissa, joissa aurinkopaneelien tuotto vaihtelee päivän tai vuodenajan mukaan. Hyvä järjestelmä tarjoaa reaaliaikaisen seurannan ja optimoinnin. Modernit järjestelmät hyödyntävät kehittyneitä algoritmeja ja tekoälyä, jotka seuraavat energian tuotantoa ja säätävät järjestelmän toimintoja vastaamaan muuttuvia olosuhteita. (Adeyinka, Esan, Ijaola & Farayibi 2024.) Monet kotitaloudet tuottavat aurinkopaneelilla enemmän energiaa kuin ne kuluttavat. Ylimääräinen energia voidaan syöttää sähköverkkoon tai jakaa paikallisten energianjakelujärjestelmien kautta. Tämä tuo lisätuloja ja parantaa uusiutuvan energian hyödyntämistä yhteisötasolla. (Kamanzi & Kahn 2017.) Teknologiset

innovaatiot, kuten kaksipuoliset aurinkopaneelit ja perovskiittipaneelit, lupaavat lisätä aurinkopaneelien tehokkuutta entisestään. Kaksipuoliset paneelit keräävät auringonvaloa sekä etu- että takapuolelta, mikä parantaa energian keräämistä erityisesti heijastavilla pinnoilla. Perovskiittipohjaiset paneelit puolestaan tarjoavat potentiaalisen korkeampaan tehokkuuteen, alhaisempiin kustannuksiin ja joustavampiin käyttömahdollisuuksiin. Näiden teknologioiden integrointi kotitalouksiin voi tulevaisuudessa tuottaa merkittäviä etuja energiantuotannossa ja kestävässä kehityksessä.

2.1 Aurinkopaneelien toiminta ja energiatehokkuus

Aurinkopaneelit ovat laitteita, jotka koostuvat useista aurinkokennoista, ja niiden tehtävänä on muuntaa auringon säteily sähköenergiaksi. Tämän muunnos tapahtuu valosähköisen ilmiön, eli fotovoltai-efektin avulla. Fotovoltai-efektissä auringon säteilyn mukana tulevat fotonit törmäävät aurinkokennon puolijohdemateriaaliin, joka on tavallisesti piitä. Tämä törmäys saa aikaan sen, että elektronit vapautuvat puolijohteesta ja alkavat liikkua, jolloin muodostuu sähkövirta. Aurinkopaneelien avulla saatava sähköenergia voidaan käyttää suoraan kulutukseen tai varastoida esimerkiksi akkuihin myöhempää käyttöä varten. Aurinkopaneelien tehokkuuteen vaikuttavat muun muassa käytetty puolijohdemateriaali, kennon rakenne sekä ympäristön olosuhteet, kuten säteilyintensiteetti ja lämpötila. (Krisciunas 12.08.2023.)

Jotta aurinkokeräimiä ei sekoitettaisi aurinkopaneelisiin, aurinkopaneelit eroavat aurinkokeräimistä siten, että paneelit tuottavat sähköä, kun taas keräimet keskittyvät auringon lämpöenergian hyödyntämiseen esimerkiksi veden lämmityksessä.

Aurinkopaneelien tehokkuutta voidaan edelleen parantaa integroiduilla järjestelmillä, joissa paneelit yhdistetään esimerkiksi rakennusten kattoihin. Tämä ei ainoastaan vähennä materiaalikustannuksia, vaan myös mahdollistaa energian tehokkaamman keräyksen rakenteiden optimaalisen suuntaamisen ansiosta. Lisäksi uusimmat paneelityypit, kuten monokiteinen ja monikiteinen pii, ovat yleisimmin käytettyjä kaupallisissa sovelluksissa niiden korkean hyötysuhteen vuoksi, ne kattavat yli 95 % aurinkopaneelien markkinaosuudesta. (Bano, Tariq & Shah 2021.)

Aurinkopaneelien energiantuotannon optimointi perustuu useisiin tekijöihin, joilla on merkittävä vaikutus paneelien tehokkuuteen ja tuottavuuteen. Yksi tärkeimmistä tekijöistä on paneelien

suuntaus ja kallistuskulma, sillä parhaaseen tuottoon päästään, kun paneelit ovat kohtisuorassa auringon säteisiin nähden. Kiinteissä järjestelmässä tämä optimoidaan paikallisen leveysasteen mukaan: esimerkiksi Suomessa paneelien optimaalinen kallistuskulma on noin 30–45 astetta. Toisaalta liikkuvat järjestelmät, kuten kaksiakseliset suuntausmekanismit, voivat parantaa energiantuotantoa seuraamalla aurinkoa koko päivän ajan. Tällaiset tracking-järjestelmät voivat lisätä tuotantoa jopa 40 % verrattuna kiinteisiin järjestelmiin. (Voznyak ym. 05.08.2024.)

Sään vaikutus on toinen keskeinen tekijä. Pilvisyys, sateet ja ilman saasteet vähentävät auringon säteilyintensiteettiä, mikä puolestaan heikentää aurinkopaneelien tuotantotehoa. Näiden vaikutusten arvioidaan olevan suurimmat alueilla, joilla auringonpaistetta esiintyy vain vähän vuoden aikana, kuten korkeilla leveysasteilla. (Krisciunas 12.08.2023.) Lisäksi ympäristötekijät, kuten puiden, rakennusten tai muiden esteiden aiheuttama varjostus, voivat vähentää merkittävästi paneelien tuottamaa energiaa. Varjojen vaikutus on erityisen suuri, jos se kohdistuu paneelin kriittisiin kohtiin, kuten sarjaan kytkettyihin kennoihin. Tällaisia vaikutuksia voidaan minimoida huolellisella sijoittelulla ja käyttämällä esimerkiksi varjojen vaikutusta vähentäviä optimointiratkaisuja.

Aurinkopaneelien tehokkuuteen liittyy myös niiden rakenteen ja valmistusmateriaalien optimointi. Tutkimukset ovat esimerkiksi osoittaneet, että paneelien sisäinen lämpötilan säätely voi merkittävästi vaikuttaa niiden tuottokykyyn. Paneelien integrointi rakennusten kattoihin on myös noussut esiin lupaavana ratkaisuna, sillä tämä mahdollistaa energian keräämisen suoraan rakennusten pintarakenteista. (Sandanayake, Li, Zhao & Joseph. 10.11.2022.)

Aurinkopaneelien energiantuotannon optimointi vaatii siten sekä teknisiä että ympäristöllisiä huomioita, joilla varmistetaan järjestelmien pitkäaikainen ja kustannustehokas toiminta. Aurinkopaneelien suuntausmekanismit ovat keskeisessä asemassa energiatehokkuuden optimoimisessa, sillä ne vaikuttavat suoraan paneeleihin osuvan säteilyn määrään. Kiinteissä järjestelmissä paneelit asetetaan tiettyyn kulmaan paikallisen leveysasteen mukaan. Ne ovat yksinkertaisia ja kustannustehokkaita, mutta ne eivät hyödynnä auringonpaistetta yhtä tehokkaasti kuin liikkuvat järjestelmät, sillä paneelien asento pysyy vakiona päivän ja vuoden aikana.

Liikkuvat järjestelmät, eli seuranta- (tracking-) mekanismit, ovat kehittyneempiä ratkaisuja, joissa aurinkopaneelit seuraavat auringon liikettä päivän aikana. Tämä parantaa huomattavasti paneelien altistumista suoralle säteilylle. Tracking-järjestelmät voidaan jakaa kahteen päätyyppiin:

- Yksiakselinen seuranta: Järjestelmä liikuttaa paneeleita itä-länsi-suunnassa, jolloin ne säilyttävät optimaalisemman kulman suhteessa auringon asemaan päivän aikana. Tällainen järjestelmä perustuu yhteen kiinteään akseliin, joka voi olla joko vaakasuorassa tai vinossa suhteessa maanpintaan. Itä-länsi-liike seuraa auringon kaarta horisontissa päivän aikana, mutta paneelien kallistuskulma pysyy muuttumattomana.
- Kaksiakselinen seuranta: Tämä järjestelmä vie optimoidun suuntaamisen pidemmälle, sillä se pystyy seuraamaan aurinkoa kahdessa suunnassa: itä-länsi-suunnassa ja pystysuunnassa (kallistuskulman säätö). Tämän järjestelmän avulla paneelit pysyvät tarkasti kohtisuorassa auringon säteisiin nähden koko päivän ja jopa vuodenajan mukaan, kun auringon kaari taivaalla muuttuu (Loon & Daud 2020).

Tracking-järjestelmät voivat lisätä energiantuotantoa jopa 25–40 % verrattuna kiinteisiin järjestelmiin, erityisesti alueilla, joissa aurinko paistaa runsaasti vuoden ympäri. Kuitenkin niiden käyttöön liittyy korkeampia investointikustannuksia ja lisääntynyttä huoltotarvetta, mikä voi rajoittaa niiden kannattavuutta tietyissä olosuhteissa.

Tracking-järjestelmien hyöty energiantuotannossa on merkittävä. Yhdysvaltain energiaviraston (DOE) ja National Renewable Energy Laboratoryn (NREL) mukaan yksiakseliset järjestelmät lisäävät energiantuotantoa keskimäärin 20–30 % ja kaksiakseliset jopa 40 %, riippuen maantieteellisestä sijainnista ja sääolosuhteista. Kiinteät järjestelmät ovat kustannustehokkaita alhaisten investointikustannustensa vuoksi, mutta pitkän aikavälin analyysissä tracking-järjestelmät voivat tarjota paremman kokonaistuoton energiantuotannon lisääntyessä. Järjestelmien valinta riippuu kuitenkin paikallisista olosuhteista ja budjetista. (Loon & Daud 2020.)

2.2 Suuntausmekanismin yleiset vaatimukset

Suuntausmekanismin tarkoituksena on varmistaa aurinkopaneelin maksimaalinen energiantuotto kohdistamalla paneeli jatkuvasti kohti taivaan kirkkainta kohtaa tai suoraan kohti aurinkoa. Tämä saavutetaan kameran avulla, joka ohjaa paneelia liikkumaan oikeaan asentoon. Järjestelmä on suunnattu ensisijaisesti kotitalouskäyttöön, mutta se on muokattavissa myös kaupallisiin sovelluksiin. Esimerkiksi aurinkofarmeilla useita runkoja voidaan yhdistää yhden kameran ohjaukseen. Tämän yksityiskohtaisempi käsittely ei kuitenkaan kuulu tämän opinnäytetyön laajuuteen, sillä työ keskittyy kehittämään runkoa yhdelle tai jopa neljälle aurinkopaneelille. Suuntausmekanismille asetetaan seuraavanlaisia vaatimuksia:

- Kamera tunnistaa kirkkaimman pisteen tai auringon sijainnin taivaalla.
- Kamera käyttää Python-koodia auringon sijainnin määrittämiseen ja ohjaa lineaarisia aktuaattoreita siirtämään paneelin oikeaan asentoon. Tarkemmat yksityiskohdat liikkeestä käsitellään opinnäytetyön koodausosiossa.
- Järjestelmä käyttää Raspberry Pi:tä, joka mahdollistaa pilvipohjaisen tiedonkeruun ja energiantuoton seurannan internetin kautta.
- Runkoon on asennettu manuaalinen painike aktuaattoreiden ohjaamiseen huoltotilanteissa tai hätätapauksissa.
- Rungon on oltava IP67-luokiteltu kestääkseen pölyä ja sadetta.
- Rungon on kannateltava Trina Solar TSM-270PD05-aurinkopaneelia (19 kg) tai vastaavaa.
- Rakenne on suunniteltava kestävä myrskyjä, voimakkaita tuulia ja korroosiota.
- Järjestelmän tulee toimia lämpötila-alueella -10 °C - +50 °C.
- Järjestelmä voidaan asentaa erilaisiin paikkoihin, kuten katoille, pihoille tai muihin kiinnityspaikkoihin.
- Paneelit eivät kuitenkaan kestä rakeita, joten asiakas tekee päätöksen järjestelmän käytöstä tällaisten sääolojen riskialueilla. Rakeet ja myrskyt voivat olla ennalta-arvaamattomia, mutta järjestelmään voidaan ohjelmoida Pythonin avulla toiminto, joka siirtää rungon turvalliseen asentoon tuulisissa olosuhteissa. Tämä vähentää vaurioita ja keventää rakenteen rasitusta, ja tästä toiminnosta keskustellaan tarkemmin koodausosiossa.
- Järjestelmän on oltava helppo huoltaa ja korjata.
- Hätäpainike tarjoaa manuaalisen hallinnan vikatilanteissa.
- Järjestelmän on oltava mahdollisimman edullinen, jotta se on kilpailukykyinen suhteessa tuottamaansa energiamäärään.
- Mekanismi on ensisijaisesti suunniteltu kotikäyttöön, mutta pienillä muutoksilla, kuten useiden runkojen yhdistämisellä, sitä voidaan mukauttaa myös kaupalliseen käyttöön, jolloin tuotettu energia voidaan esimerkiksi myydä.
- Järjestelmän tulee noudattaa sähkö- ja turvallisuusstandardeja, erityisesti liittyen ulkokäytön kestävyysvaatimuksiin.
- Komponenttien suojaus sähkövaurioilta toteutetaan esimerkiksi sulakkeilla, jotka estävät virtapiikit. Raspberry Pi:n ja muiden elektroniikkakomponenttien ympärille voidaan lisätä eristäviä ja vedenkestäviä kotelointeja IP67-luokituksen mukaisesti.

- Käyttäjien turvallisuus varmistetaan estämällä pääsy sähköisiin osiin ja varustamalla painikkeet ja liitännät selkeillä ohjeilla ja varoituksilla.
- Raspberry Pi ohjaa järjestelmää ja mahdollistaa reaaliaikaisen tiedonsiirron pilvipalveluun. Kameran ja aktuaattorien integrointi mahdollistaa järjestelmän tarkan ja jatkuvan toiminnan.

2.3 Aiemmat ratkaisut ja innovaatiot

Aurinkopaneelien suuntausmekanismin kehittämiseksi on kokeiltu useita erilaisia ratkaisuja ja innovaatioita. Tässä luvussa käsitellään aiemmin käytettyjä menetelmiä ja niiden vahvuuksia sekä haasteita. Ensimmäinen menetelmä on valovastusten käyttö. Valovastusten (LDR) käyttö auringon paikantamiseen on eräs yleisesti käytetty ratkaisu aurinkopaneelien ohjaamiseen. LDR (Light Dependent Resistor) on komponentti, jonka resistanssi muuttuu valon voimakkuuden mukaan. Suuntausmekanismeissa useita LDR-antureita voidaan sijoittaa eri puolille paneelia siten, että ne mittaavat valon voimakkuutta eri suunnista. Järjestelmän toimintaperiaate perustuu siihen, että LDR-antureiden lukemia verrataan ja paneelin kulmaa säädetään kohti kirkkainta valonlähdettä eli aurinkoa. Tämän ratkaisun etuna on sen yksinkertaisuus ja kustannustehokkuus, sillä se ei vaadi monimutkaista laskentaa tai ohjelmointia. Kuitenkin menetelmä on herkkä ympäristön häiriöille, kuten pilvisyydelle tai varjoille, jotka voivat heikentää ohjauksen tarkkuutta.

Toinen menetelmä aurinkopaneelien suuntaukseen perustuu auringon koordinaattien laskemiseen ja hyödyntämiseen. Tässä lähestymistavassa käytetään luotettavia tietolähteitä, jotka tarjoavat tarkat tiedot auringon sijainnista eri päivinä ja kellonaikoina. Kehittyneemmissä järjestelmissä koordinaatit voidaan päivittää automaattisesti internetin välityksellä, mikä lisää järjestelmän tarkkuutta ja helppokäyttöisyyttä. Suuntauksen toimintaperiaate perustuu aurinkokulmien, kuten azimutin ja korkeuskulman, laskentaan, minkä jälkeen kehikon kulmaa säädetään näiden tietojen mukaisesti. Tämän menetelmän merkittävä etu on sen riippumattomuus paikallisista valaistusolosuhteista, kuten pilvisyydestä, mikä tekee siitä erityisen luotettavan vaihtelevissa sääolosuhteissa. Toisaalta haasteena on, että auringon sijainti muuttuu jatkuvasti vuodenajan mukaan, mikä edellyttää järjestelmältä jatkuvia päivityksiä ja tarkkaa kalibrointia. Lisäksi tämä lähestymistapa voi olla monimutkaisempi toteuttaa verrattuna yksinkertaisempiin menetelmiin.

Toinen lähestymistapa aurinkopaneelijärjestelmien kehittämiseen on erilaisten ohjelmointikielten valinta ja hyödyntäminen. Ohjelmointikieli vaikuttaa merkittävästi järjestelmän kehittämiseen ja

ylläpitoon. Jotkut ratkaisut voisivat hyödyntää kehittyneempiä ohjelmointikieliä, kuten C++ tai Java, mutta tämä vaatisi asiantuntemusta kyseisistä kielistä. Tähän projektiin on valittu Python sen yksinkertaisuuden ja helppokäyttöisyyden vuoksi, mikä tekee siitä houkuttelevan vaihtoehdon erityisesti nopeaan kehitykseen.

Python tarjoaa laajan kirjastovalikoiman, joka helpottaa kameran ja antureiden integrointia, ja sen etuna on käytön helppous ja monipuolisuus. Kuitenkin haasteena voi olla, että Python ei välttämättä sovellu parhaiten reaaliaikaisiin sovelluksiin tai suurta laskentatehoa vaativiin tehtäviin, mikä asettaa rajoituksia joissakin käyttökohteissa.

3 OSIEN SUUNNITTELU JA VALINTA

Tässä luvussa tarkastellaan projektin keskeisiä komponentteja, jotka muodostavat aurinkopaneelin suuntausmekanismin järjestelmän. Komponenttien huolellinen valinta ja suunnittelu ovat ratkaisevassa roolissa järjestelmän toiminnan ja luotettavuuden kannalta. Komponenttien valinta perustuu projektille asetettuihin vaatimuksiin, kuten tarkkuus, kestävyys, energiatehokkuus ja kustannustehokkuus. Tässä käsitellään valittuja laitteistoja, kuten kameraa, mikrokontrolleria, toimilaitteita ja virranhallintakomponentteja. Näiden osien yhteistyö varmistaa järjestelmän sujuvan toiminnan, jossa aurinkopaneelit optimoivat asennon kirkkaimman auringonvalon saavuttamiseksi. Komponenttien valinnan jälkeen käsitellään myös sähköisten liitäntöjen ja johdotuksen suunnittelua. Sähköinen kytkentä on elintärkeää komponenttien yhteistoiminnan kannalta, ja sen oikea toteutus varmistaa järjestelmän turvallisen ja tehokkaan toiminnan pitkällä aikavälillä. Tämä luku tarjoaa yksityiskohtaisen katsauksen käytettyihin komponentteihin sekä niiden yhteensopivuuteen ja rooliin osana aurinkopaneelin suuntausjärjestelmää.

3.1 Suuntausmekanismin komponentit

Tämän aurinkopaneelin suuntausmekanismin toteuttamisessa valitut komponentit ovat keskeisessä roolissa järjestelmän toiminnassa ja luotettavuudessa. Valinnat on tehty ottaen huomioon komponenttien kestävyys, kustannustehokkuus, tehokkuus sekä omat tekniset taidot niiden käsittelyssä. Käytetyt komponentit tukevat toisiaan ja takaavat järjestelmän kokonaisvaltaisen toimivuuden. Taulukko 1 kuvaa järjestelmän pääkomponentit, niiden ominaisuudet sekä käyttötarkoituksen.

Taulukko 1. Järjestelmän pääkomponenttien valinta

Komponentti	Ominaisuudet	Tarkoitus	Hinta (€)
Kamera: Raspberry Pi Camera 3	Resoluutio: 12 MP Kuvakulma: säädettävissä linssivalinnoilla Yhteensopivuus: CSI-portti	Tunnistaa taivaan kirkkaimman kohdan ja optimoi aurinkopaneelin suuntauksen	30

		Python-pohjaisen ohjelmiston avulla.	
UV-suodatin: baader Astro Solar	Vähentää UV- ja infrapunasäteilyä. Suojaa kameran linssiä	Suojaa kameraa pitkäaikaiselta altistukselta auringonvalolle, joka voi vahingoittaa linssiä tai heikentää kuvien laatua.	16
Mikrokontrolleri: Raspberry Pi 4	RAM: 4 GB Portit: USB 3.0, HDMI, GPIO Yhteydet: Wi-Fi, Bluetooth, Ethernet	Toimii järjestelmän keskusyksikkönä: ohjaa toimilaitteita, käsittelee kameran tietoja ja tarjoaa yhteyden internetiin.	62
Moottoriohjain: L298N	Tukee DC-moottoreita Kaksikanavainen käyttö Jännite: 5–35 V	Välittää ohjaussignaalit Raspberry Pi:lta toimilaitteille ja säätää paneelin asentoa kirkkaimman kohdan mukaan.	7
Muunnin: Victron Orion-TR	Jännitemuunnos: 24 V – 12 V Kapasiteetti: 15 A	Muuntaa virran sopivaksi Raspberry Pi:lle ja muille komponenteille.	64
MPPT-säädin: Victron MPPT 75/15	Jännitteet: 12/24 V Kapasiteetti: 15 A Bluetooth-moduuli	Maksimoi aurinkopaneelien sähköntuotannon tehokkuuden ja lataa akkuja turvallisesti.	60
Toimilaitteet: Lineaariset toimilaitteet	Iskunpituus: 700 mm Maksimivoima: 2000 N Käyttöjännite: 12/24 V	Säätävät paneelin asentoa lineaarisella liikkeellä optimaalisen auringonvalon saavuttamiseksi.	127
Aurinkopaneelit: Trina Solar TSM- 270PD05 tai vastaava	Teho: 270 W Paino: 19 kg kappaleelta	Tuottaa sähköä järjestelmän tarpeisiin. Käytetään yksi tai neljä paneelia.	90
Jäähdytyskotelo: Raspberry Pi Armor	Metallikotelo tuulettimella parempaa jäähdytystä varten	Tarjoaa tehokasta jäähdytystä Raspberry Pi:lle intensiivisessä käytössä.	20
Akku	Valinta tarpeen mukaan	Tallentaa tuotetun sähkön käyttöä varten. Akun kapasiteetti riippuu	-

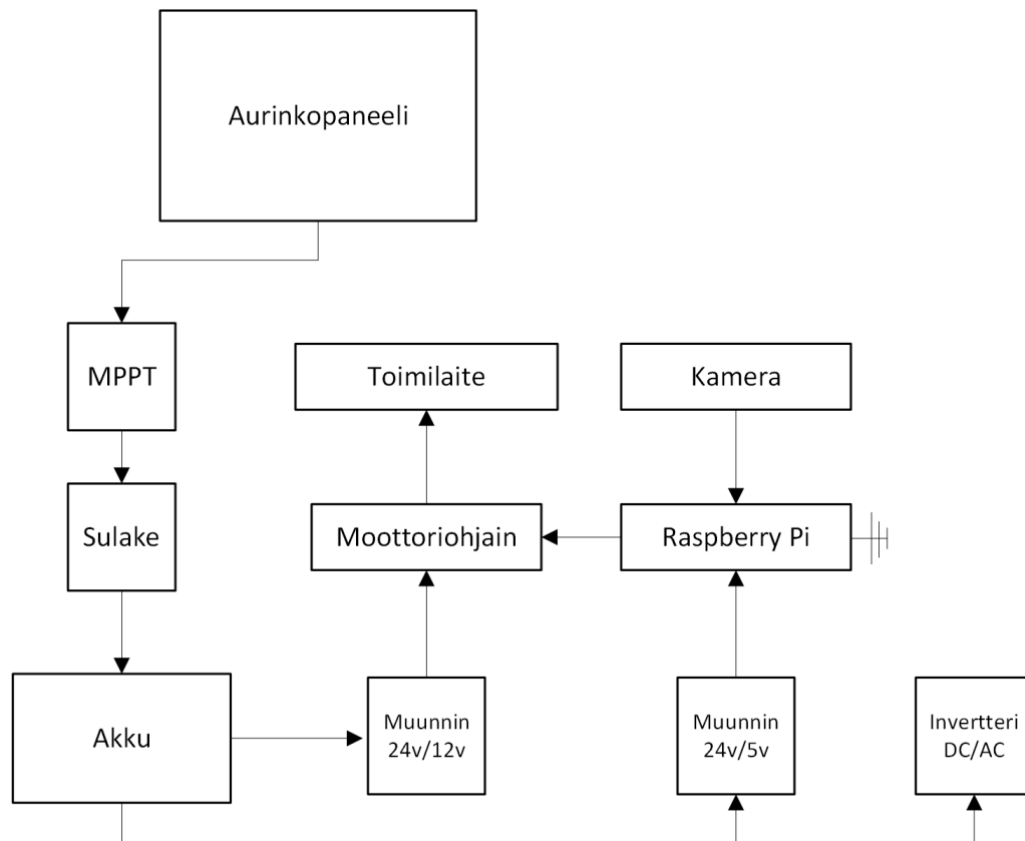
		järjestelmän kulutuksesta ja tallennustarpeesta.	
--	--	--	--

3.2 Sähköiset komponentit

Aurinkopaneelien suuntausjärjestelmän sähköiset komponentit on kytketty niin, että energiavirta ja ohjaussignaalit kulkevat järjestelmässä tehokkaasti ja luotettavasti. Kuvassa 1 näkyy suuntausjärjestelmän sähköiset komponentit lohkokaavio. Järjestelmä alkaa aurinkopaneelista, joka tuottaa tasavirtaa (DC) auringon säteilyenergiasta. Tämä energia siirtyy ensin MPPT-säätimeen (Maximum Power Point Tracking), joka optimoi paneelien tuottaman energian ja varastoi sen akkuun. Akku toimii järjestelmän pääasiallisena virtalähteenä ja syöttää virtaa kaikille sähköisille komponenteille, kuten Raspberry Pi -mikrotietokoneelle, lineaaritoimilaitteille ja invertterille.

Raspberry Pi toimii järjestelmän ohjauskeskuksena. Se vastaanottaa kuvatietoa kameramoduulilta, joka tunnistaa auringon sijainnin taivaalla. Prosessoituaan nämä tiedot Raspberry Pi lähettää ohjaussignaalit moottoriohjaimille, jotka säätelevät kahden lineaarisen toimilaitteen toimintaa. Yksi toimilaitte vastaa aurinkopaneelien liikkeestä vasemmalle ja oikealle, kun taas toinen säättää paneelien kallistuskulmaa ylös ja alas auringon liikkeen mukaan. Moottoriohjaimet ovat kytketty Raspberry Pi:hin, ja ne välittävät tarvittavan virran toimilaitteille.

Järjestelmään on integroitu myös invertteri, joka muuntaa akusta tulevan tasavirran (DC) vaihtovirraksi (AC), jotta kerättyä energiaa voidaan käyttää kotitalouden sähkölaitteissa. Lisäksi järjestelmässä on kaksi jännitemuunninta: yksi muuntaa 12 V:n jännitteen 5 V:ksi Raspberry Pi:tä varten, ja toinen varmistaa toimilaitteiden tarvitsemien jännitteiden yhteensopivuuden. Turvallisuuden takaamiseksi järjestelmässä käytetään sulakkeita, jotka suojaavat ylikuormituksilta ja oikosuluilta. Kaikki sähkökomponentit on liitetty toisiinsa säänkestävillä kaapeleilla, ja ne on sijoitettu IP67-luokiteltuun sähkökoteloon, joka suojaa niitä kosteudelta ja pölyltä. Tämä kokonaisuus varmistaa järjestelmän luotettavan toiminnan kaikissa olosuhteissa ja maksimoi aurinkopaneelien hyödyntämisen.



Kuva 1. Suuntausjärjestelmän sähköiset komponentit lohkokkaavio.

4 3D-MALLINNUS JA SUUNNITTELUOHJELMISTOT

4.1 Käytetty ohjelmisto

Tässä luvussa esitellään käytetyt ohjelmistot aurinkopaneelikehikon 3D-mallinnuksessa. Suunnittelussa hyödynnettiin kahta pääasiallista ohjelmistoa: SolidWorks ja SketchUp. SolidWorks on teollisuustason suunnitteluohjelmisto, joka mahdollistaa tarkat tekniset piirustukset ja yksityiskohtaisen 3D-mallinnuksen. Tätä ohjelmistoa käytettiin kehikon rakenteen, putkien ja liitosten luomiseen. SolidWorks on erityisen hyödyllinen, koska se tukee parametrista suunnittelua, jossa muutokset voidaan tehdä nopeasti ja helposti ilman että koko mallia tarvitsee rakentaa alusta alkaen. Lisäksi ohjelmiston tarjoamat stressi- ja kuormitussimulaatiot mahdollistavat kehikon mahdollistavat lujuuden ja kestävyuden tarkastelut eri kuormitustilanteissa.

SketchUp puolestaan on yksinkertaisempi ja käyttäjäystävällisempi ohjelmisto, joka on erityisesti suunniteltu visuaalisten mallien luomiseen. SketchUpin avulla voidaan luoda nopeasti visuaalisia esityksiä ja kokeilla erilaisia geometrisia kokoonpanoja. Tämä ohjelmisto oli erityisen hyödyllinen kokoonpanon suunnittelussa, koska sen käyttöliittymä mahdollistaa reaaliaikaisen muokkauksen ja säätämisen ilman suuria ohjelmointitaitoja. Se tarjosi joustavan alustan luoda 3D-malleja, joita voitiin käyttää myös visualisointiin ja esittämiseen. Näiden ohjelmistojen yhdistelmä mahdollisti tarkkojen teknisten piirustusten laatimisen ja samalla antoi mahdollisuuden kokeilla erilaisia rakennevaihtoehtoja ennen varsinaista toteutusta.

4.2 Pienempi kehikko yhdelle aurinkopaneelille

Tässä luvussa esitellään pienemmän kehikon suunnitteluprosessia. Kehikko on tarkoitettu tukemaan yhtä aurinkopaneelia. Tämä kehikko on suunniteltu joustavaksi, sillä se voidaan helposti muokata tukemaan pienempiä paneeleja tai suurempia, kuten Trina Solar TSM-270PD05 (mitat: 1650 mm x 992 mm x 35 mm, paino: 19 kg).

Alukonseptin luominen: Suunnitteluprosessi alkoi määrittelemällä kehikon perusmitat ja geometria. Koska kehikko on alun perin suunniteltu tukemaan yhtä aurinkopaneelia, sen rakenne

on yksinkertainen ja kevyt. Tavoitteena oli luoda kohtuullisella materiaalimäärällä tukeva mutta kevyt kehikko, joka pystyy kantamaan aurinkopaneelia. Suunniteltiin myös, kuinka kehikko voidaan tarvittaessa laajentaa tai muokata suurempaa paneelia varten.

Kokoonpanon visualisointi: SketchUpin avulla voitiin myös visualisoida, miltä kehikko tulee näyttämään valmiina. Tämä vaihe antoi mahdollisuuden testata, kuinka aurinkopaneeli mahtuu kehikkoon ja miten paneeli voidaan turvallisesti asentaa ja säätää. Vaikka alkuperäinen malli oli suunniteltu yhdelle paneelille, sen rakenne on joustava ja se voidaan muokata tukemaan suurempia paneeleja, kuten Trina Solar TSM-270PD05.

Viimeiset tarkistukset ja optimointi: Pienemmän kehikon mallinnuksen viimeisessä vaiheessa tarkistettiin, että kaikki osat olivat yhteensopivia ja että kehikko olisi helppo valmistaa ja koota. Lisäksi varmistettiin, että kehikko pystyy tukemaan sekä pienempiä että suurempia paneeleja ja että sen rakenne kestää sään vaihtelut, erityisesti tuuli- ja lumikuormat.

4.2.1 3D-mallinnus

3D-mallinnus SketchUpissa: Mallinnusprosessi tehtiin SketchUp-ohjelmistossa, joka on ilmainen online-ympäristö. SketchUpin avulla luotiin yksinkertainen mutta tarkka 3D-malli kehikon rakenteesta. Tämä ohjelmisto mahdollistaa nopean mallin muokkaamisen, ja se oli hyödyllinen erityisesti ensimmäisten kokeilumallien luomisessa. Pienemmän kehikon osat, kuten putket ja kiinnitykset, mallinnettiin tarkasti, ja mallit voidaan myöhemmin päivittää suuremmalle paneelille sopiviksi. Mallinnuksessa keskityttiin kehikon eri osien, kuten yläosan, keskiosan ja alaosan, luomiseen ja niiden yhdistämiseen toimivaksi kokonaisuudeksi (kuva 2).



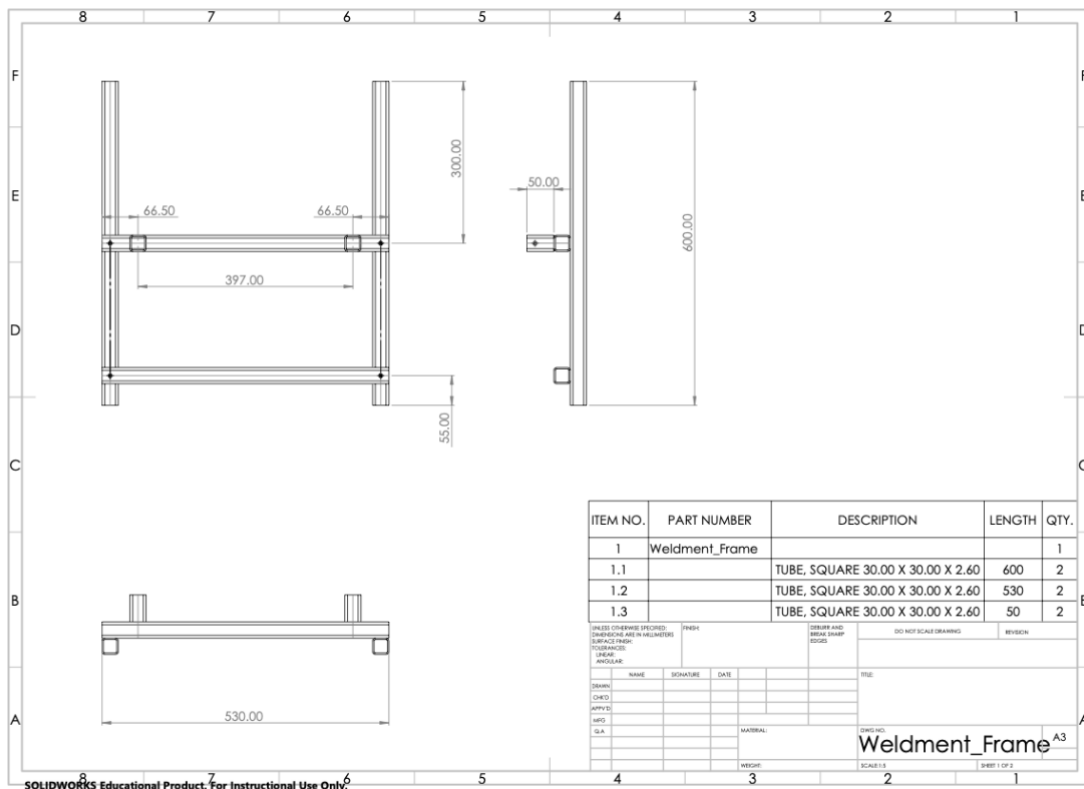
Kuva 2. Aurinkopaneelin suuntausmekanismin pienemmän kehyksen 3D-malli.

4.2.2 2D-mallinnus

2D-piirustukset SolidWorksissa: Vaikka 3D-mallinnus tehtiin SketchUpissa, tarkat 2D-piirustukset luotiin SolidWorksissa. SolidWorks mahdollisti osien tarkan mitoituksen ja teknisten piirustusten luomisen. Näihin piirustuksiin on merkitty tarkasti osien pituudet ja kiinnityspaikat, ja ne toimivat ohjeina valmistuksessa ja kokoonpanossa. 2D-piirustukset, jotka liitän tähän osioon, tarjoavat tarkat tiedot kehyksen komponenteista ja niiden yhdistämisestä. Koko kehikko on jaettu kolmeen osaan, joita kutsutaan nimillä Weldment_Frame, Weldment_Horizontal ja Weldment_Base. Näistä nimistä voi päätellä suoraan, että kyseessä ovat kehyksen ylä-, keski- ja alaosat, mutta tämä jako on tärkeä myös osien oikean asennuksen ja kiinnityksen varmistamiseksi.

Tässä ensimmäisessä 2D-piirustuksessa (kuva 3) näkyy Weldment_Frame -kehikon rakenne, joka on kehikon yläosa. Piirustus sisältää tärkeitä mittatietoja, jotka auttavat ymmärtämään kehikon osien sijainnin ja kiinnityksen. Tämä osa kehikosta on suunniteltu siten, että se mahdollistaa paneelin siirtämisen eteen- ja taaksepäin, jolloin sen suuntausta voidaan säätää optimaalisesti auringon mukaan:

- Kokonaismitat:
 - Kehikon leveys on 530 mm, korkeus 600 mm ja syvyys 110 mm. Tämä rakenne tukee aurinkopaneelia ja sen kiinnitystä.
- Putkien mitat ja sijoittelu:
 - Piirustus esittää kolme eri putkikokoa ja niiden tarkat mitat:
 - Putki 1.1: Kaksi neliöputkea, joiden pituus on 600 mm, asennetaan kehikon ylä- ja alapuolelle vaakasuoraan tukirakenteiksi.
 - Putki 1.2: Kaksi neliöputkea, joiden pituus on 530 mm, sijoitetaan kehikon keskiosaan tukemaan rakenteen vakautta.
 - Putki 1.3: Pienempiä putkia, joiden pituus on 50 mm, käytetään osien liittämiseen ja kehikon stabilointiin.
- Liitokset ja kiinnityspaikat:
 - Kehikon putkien tarkat liitospisteet ja kiinnityspaikat on merkitty piirtämällä aukon paikat 2D-piirustukseen. Näiden aukkojen avulla aurinkopaneeli voidaan kiinnittää tukevasti kehikkoon.

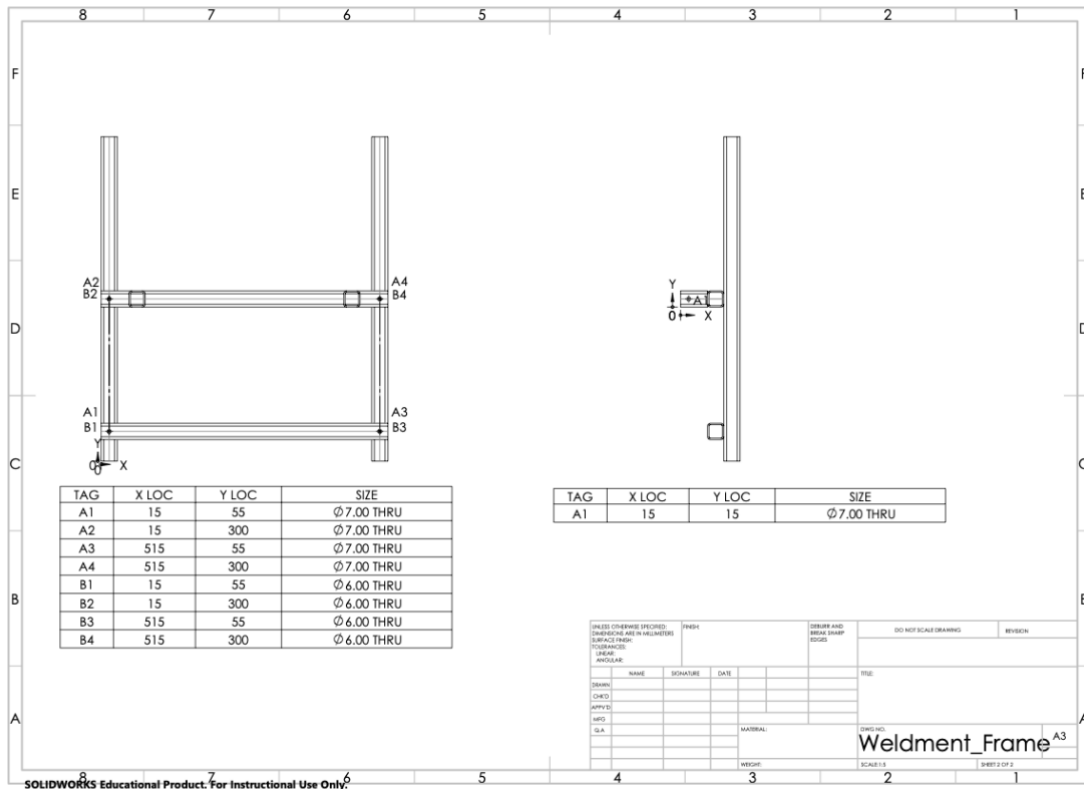


Kuva 3. Pienemmän aurinkopaneelin kehyksen 2D-tekniinen piirustus.

Toisessa 2D-piirustuksessa (kuva 4) esitetään kehyksen aukot ja niiden tarkat mitat ja sijainnit. Aukot ovat olennaisia aurinkopaneelin kiinnittämisen ja kehyksen kokoonpanon kannalta:

- Aukot ja niiden sijainnit: Piirustus näyttää aukot, jotka on merkitty tunnisteilla A1, A2, A3, A4, B1, B2, B3, B4. Näiden aukkojen avulla kehyksen osat kiinnitetään toisiinsa ja aurinkopaneeliin.
 - Aukot A1, A2, A3, A4 sijaitsevat kehyksen yläosassa, ja niiden halkaisija on 7,00 mm. Näihin aukkoihin tulevat pultit, jotka kiinnittävät aurinkopaneelin kehykseen.
 - Aukot B1, B2, B3, B4 sijoittuvat alempiin osiin, ja niiden halkaisija on 6,00 mm. Nämä aukot yhdistävät kehyksen rakenteen osat toisiinsa ja tukevat sen kokoonpanoa.
- Tarkat mittaukset:
 - Piirustus sisältää myös aukkojen tarkat X- ja Y-koordinaatit, jotka määrittävät niiden sijainnin kehyksen osissa. Aukot on mitoitettu siten, että ne voivat pitää aurinkopaneelin paikoillaan ja mahdollistaa sen säätämisen oikeaan asentoon.
 - Aukot A1 ja A2 sijaitsevat 15 mm:n päässä vasemmasta reunasta ja 55 mm:n etäisyydellä alareunasta.

- Aukot A3 ja A4 sijaitsevat 515 mm:n päässä vasemmasta reunasta ja 55 mm:n etäisyydellä alareunasta.
- Aukot B1, B2, B3 ja B4 sijaitsevat samalla tavalla kuin A aukot, mutta niiden halkaisija on pienempi (6 mm), ja ne sijaitsevat alemmissa osissa.

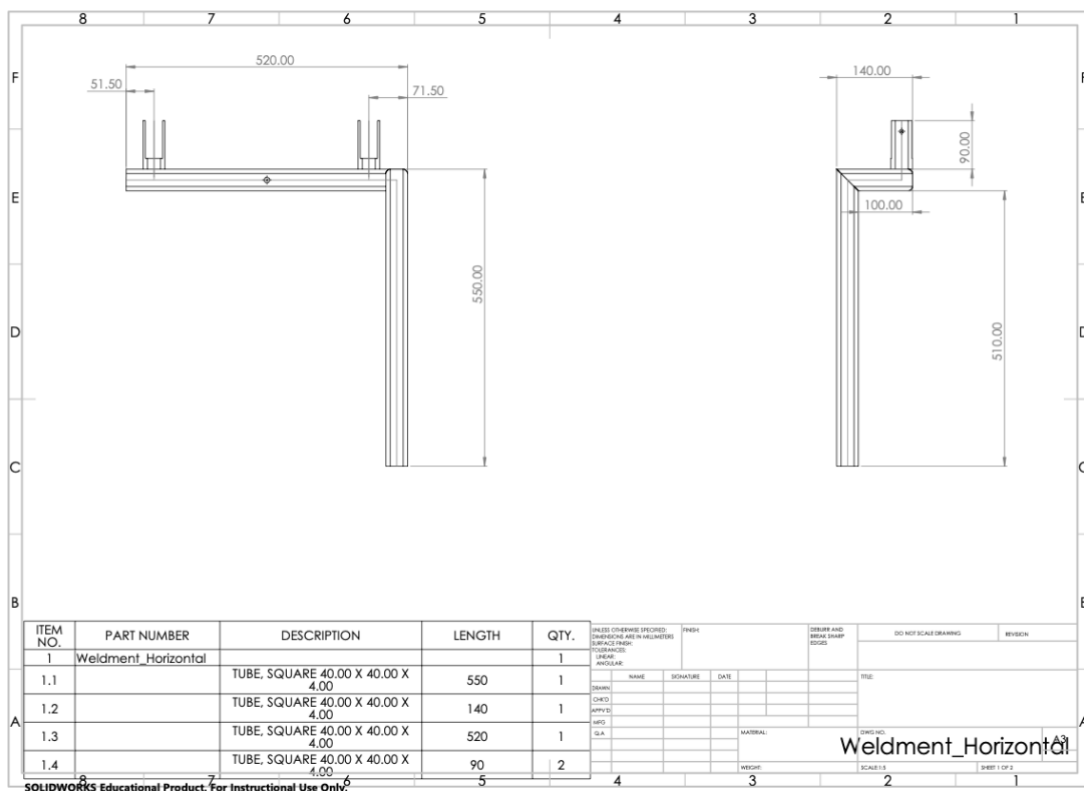


Kuva 4. Pienemmän aurinkopaneelin kehyksen 2D-tekniinen piirustus.

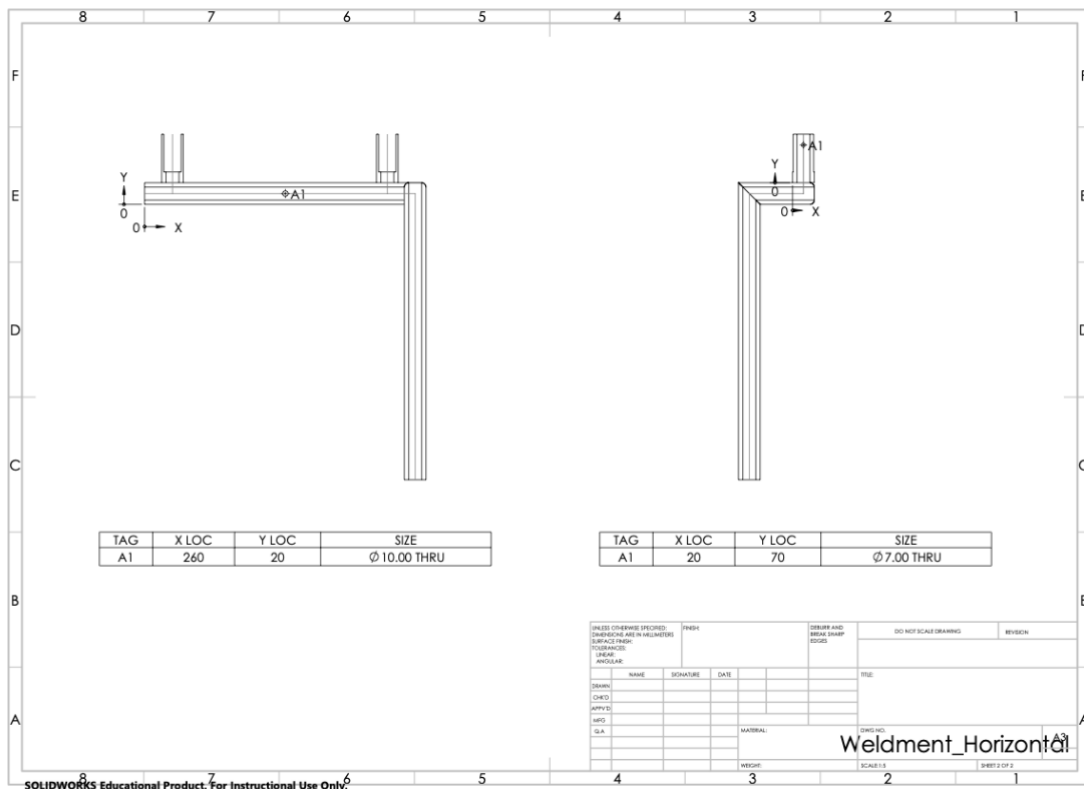
Tässä Weldment_Horizontal –piirustuksessa (kuvat 5 ja 6) näkyy kehyksen keskiosa, joka on suunniteltu liikkumaan vasemmalle ja oikealle. Tämä liikkumisominaisuus mahdollistaa aurinkopaneelin suuntaamisen tarkasti auringon mukaan, mikä parantaa järjestelmän energiatehokkuutta. Keskiosa toimii tärkeänä liukuvana tukirakenteena, joka yhdistää kehyksen osia ja tarjoaa tukea aurinkopaneelille. Kehyksen tärkeimmät ominaisuudet:

- Kokonaismitat:
 - Keskiosan pituus on 520 mm, korkeus 550 mm ja leveys 100 mm. Rakenne mahdollistaa osien liikkumisen ja säätämisen optimaalisen suuntauksen saavuttamiseksi.
- Liikkuva rakenne:

- Keskiosa on suunniteltu niin, että siitä voidaan liikuttaa vasemmalle ja oikealle kehikon sisällä. Tämä liikkuminen tapahtuu lineaarisella toimilaitteella, joka mahdollistaa kehikon osan siirtämisen ilman suuria ponnistuksia. Liikkuvuus tarjoaa joustavuutta aurinkopaneelin asennossa ja mahdollistaa sen optimaalisen suuntaamisen auringonvaloa kohti.
- Putkien mitat ja sijoittelu:
 - Piirustus esittää kolme erikokoista neliöputkea, joiden mitat ovat seuraavat:
 - Putki 1.1: Neliöputki, jonka pituus on 550 mm ja koko 40,00 mm x 40,00 mm x 4,00 mm, on keskeinen osa kehikon rakenteen vakauttamiseksi.
 - Putki 1.2: Pienempi putki, jonka pituus on 140 mm, toimii tukirakenteena ja lisää kehikon lujjuutta.
 - Putki 1.3: Toinen putki, jonka pituus on 520 mm, yhdistää kehikon osat ja parantaa sen kestävyttä.
- Liitokset ja kiinnityspaikat:
 - Piirustuksessa näkyvät aukot, jotka on merkitty tunnisteilla A1, A2, A3, A4. Näihin aukkoihin tulevat kiinnityspultit, jotka yhdistävät kehikon osat toisiinsa ja mahdollistavat paneelin kiinnityksen. Aukkojen tarkat mitat ja paikat on merkitty, jotta kokoonpano voidaan tehdä oikealla tavalla.



Kuva 5. Pienemmän aurinkopaneelin kehiksen 2D-tekninen piirustus.

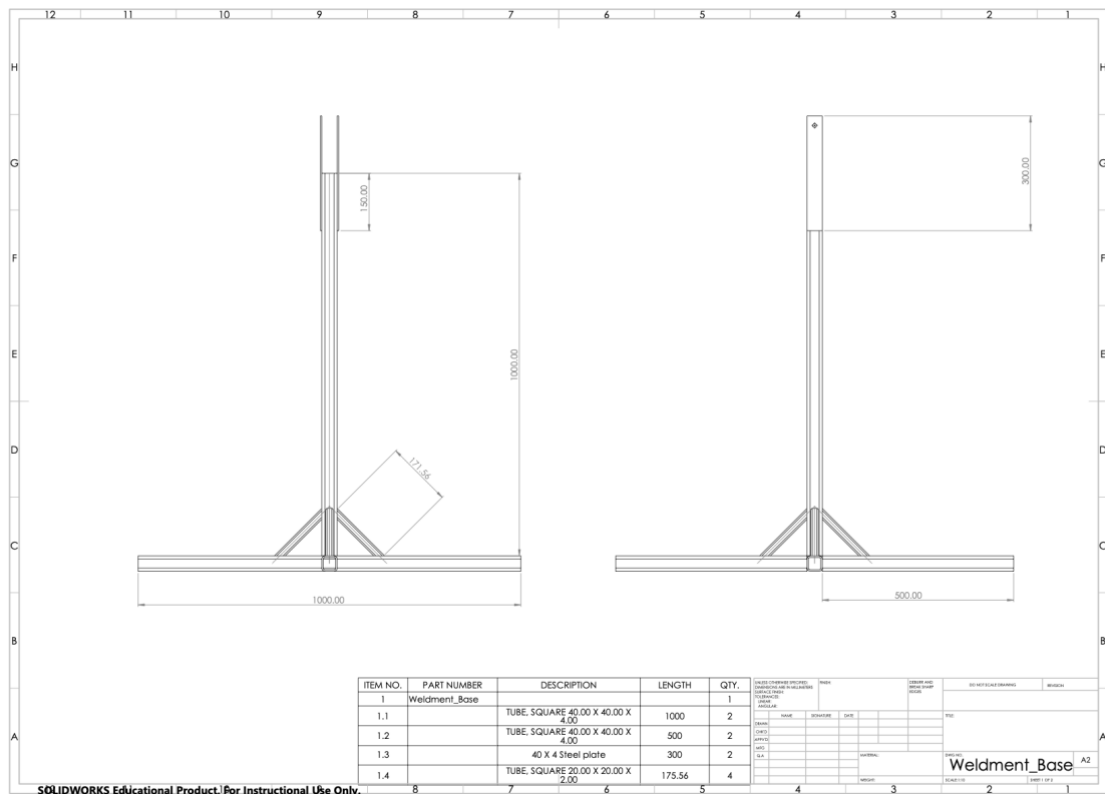


Kuva 6. Pienemmän aurinkopaneelin kehyksen 2D-tekniinen piirustus.

Tässä Weldment_Base –piirustuksessa kuva 7 näkyy kehyksen alaosa, joka toimii kehyksen tukijalkana ja varmistaa sen vakauden. Tämä osa kehyksestä on tärkeä, sillä se tukee koko rakenteen painon ja tarjoaa tarvittavan vakauden aurinkopaneelin suuntausmekanismin toiminnalle. Kuvan 7 tärkeimmät ominaisuudet:

- Kokonaismitat:
 - Alaosan pituus on 1000 mm, leveys 500 mm ja korkeus 1300 mm. Tämä rakenne varmistaa kehyksen tukevuuden ja mahdollistaa sen vakauden eri olosuhteissa.
- Putkien mitat ja sijoittelu:
 - Piirustus esittää kolme neliöputkea, joiden mitat ovat seuraavat:
 - Putki 1.1: Kaksi neliöputkea, joiden pituus on 1000 mm ja koko 40,00 mm x 40,00 mm x 4,00 mm, on asennettu vaakasuoraan kehyksen alaosaan tukemaan koko rakennetta.
 - Putki 1.2: Lyhyempi putki, jonka pituus on 500 mm, asennetaan keskelle, ja se vahvistaa rakennetta.
 - Putki 1.3: Kolmas putki, jonka pituus on 500 mm, tukee kehyksen liitoksia ja varmistaa, että rakenne on tasapainossa ja kestää kuormituksia.

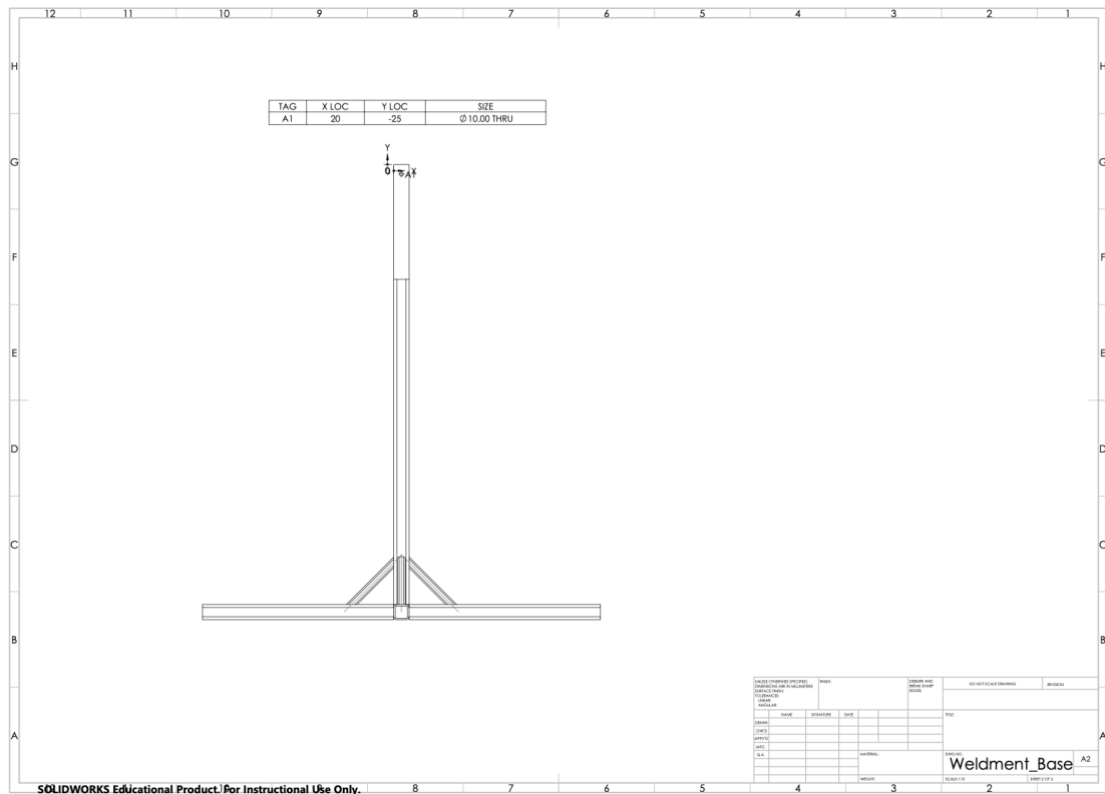
- Tukirakenne ja vahvistus:
 - Piirustuksessa näkyy myös teräspalkki (40 x 4 mm), joka toimii keuhikon tukirakenteena. Palkki on sijoitettu pohjalle ja auttaa jakamaan keuhikon painon tasaisesti, jolloin koko rakenne pysyy vakaa ja kestävä.



Kuva. 7 Pienemmän aurinkopaneelin keuhksen 2D-tekninen piirustus.

Toisessa Weldment_Base –piirustuksessa kuva 8 esitetään alaosan aukot ja niiden tarkat sijainnit. Aukot ovat olennaisia keuhikon kokoonpanon ja stabiiliteetin kannalta, ja ne mahdollistavat osien kiinnittämisen toisiinsa. Kuvan 8 tärkeimmät ominaisuudet:

- Aukot ja niiden sijainnit: Piirustus näyttää aukot, jotka on merkitty tunnisteella A1. Näihin aukkoihin tulevat kiinnityspultit, jotka yhdistävät alaosan keuhikon muihin osiin.
 - Aukko A1 on sijoitettu 20 mm:n päähän vasemmasta reunasta ja 25 mm:n etäisyydelle alareunasta. Aukon koko on 10 mm ja se on suunniteltu liitoksen ja kokoonpanon tukemiseen.



Kuva 8. Pienemmän aurinkopaneelin kehyksen 2D-tekninen piirustus.

4.3 Suurempi kehikko neljälle aurinkopaneelille

Tässä luvussa kuvataan suurempi kehikko, joka on suunniteltu tukemaan neljää aurinkopaneelia. Seuraavassa on yksityiskohtainen selostus kehyksen rakenteesta ja komponenteista, joiden avulla kehyksen mekaaninen toiminta ja kestävyys on varmistettu. Kehyksen rakenne alkaa tukevasta teräksisestä pohjalevystä, jonka mitat ovat 220x220 mm. Pohjalevyssä on neljä 20 mm halkaisijaltaan olevaa reikää, joiden avulla kehikko voidaan kiinnittää betonialustaan turvallisesti. Pohjalevystä ylöspäin nousee 3000 mm pitkä, 80x80 mm teräsputki, jonka seinämän paksuus on 3,2 mm. Tämä tukijalka toimii koko rakenteen keskeisenä tukipilarina.

Aurinkopaneelija tukeva varsinainen kehikko koostuu kahdesta eri kokoisesta teräsputkesta. Vaakasuoraan asennettuja teräsputkia on neljä, kunkin pituus on 1994 mm, poikkileikkaus 40x40 mm ja seinämän paksuus 3,2 mm. Näihin vaakaputkiin on kiinnitetty aurinkopaneelit. Vaakaputkien kanssa risteävät kolme pystysuuntaista teräsputkea, joiden mitat ovat 3310 mm, 40x40 mm ja seinämän paksuus 3,2 mm. Kaikki putket on sijoitettu tasaisiin väleihin paneelivalmistajan

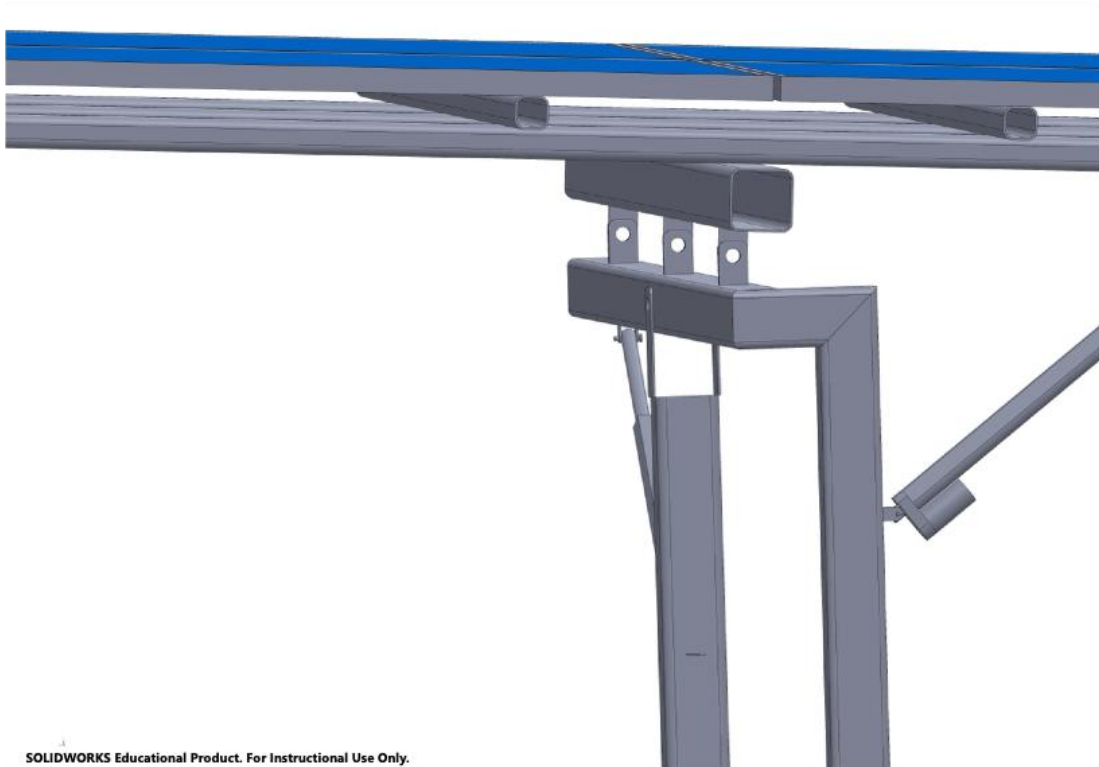
alkuperäisen kehyksen mittojen mukaisesti. Putket on hitsattu yhteen, mikä takaa rakenteen jäykkyyden ja kestävyuden. Materiaalina on käytetty terästä sen lujuuden ja säänkestävyyden vuoksi.

Lisäksi kehikkoon on hitsattu 1994 mm pitkä, 80x80 mm poikkileikkaukseltaan oleva teräsputki, jonka seinämän paksuus on 3,2 mm. Tämä putki on kiinnitetty kolmeen pystysuuntaiseen 3310 mm pitkään putkeen. Tämän osan tehtävänä on mahdollistaa aurinkopaneelien liike vasemmalle ja oikealle sekä ylös ja alas. Liike toteutetaan kolmen 20 mm halkaisijaltaan olevan tapin avulla, jotka mahdollistavat nivelliikkeen. Kehikon sähkökomponentit, mukaan lukien mikro-ohjain ja muut sähköiset osat, on suojattu säänkestävään sähkökoteloon, joka estää veden pääsyn komponentteihin ja suojaa niitä sateelta ja kosteudelta.



Kuva 9. Suuremman aurinkopaneelijärjestelmän 3D-malli.

Kuvassa 10 näkyy 1994 mm pitkä, 80x80 mm teräsputki, joka on hitsattu kolmeen 3310 mm pitkään putkeen. Liike ylös ja alas mahdollistetaan kolmen 20 mm tapin avulla.



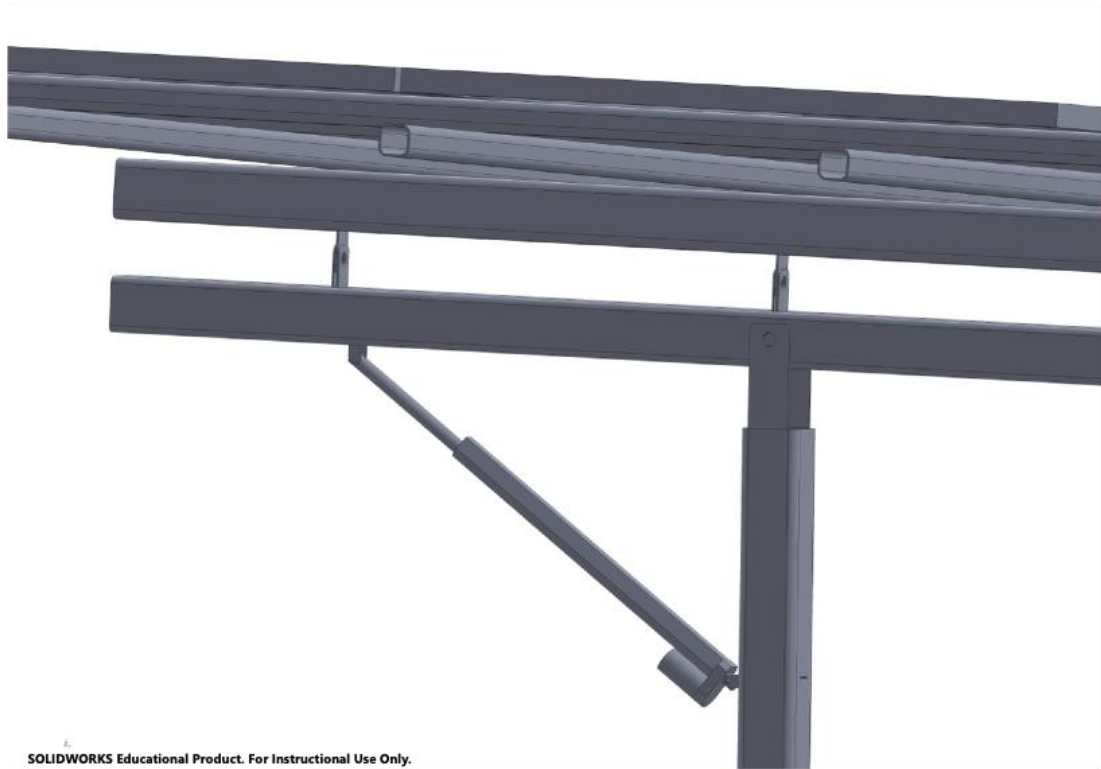
Kuva 10. Suuremman aurinkopaneelijärjestelmän 3D-malli.

Kuvassa 11 näkyy lineaaritoimilaite kiinnitettynä kehikon osaan, joka mahdollistaa liikkeen vasemmalle ja oikealle. Toimilaite on kiinnitetty toisesta päästä aurinkopaneelien kehikkoon. Kun toimilaite liikkuu ylös, toinen puoli paneeleista nousee ja toinen laskee, ja vastaava liike tapahtuu vastakkaiseen suuntaan toimilaitteen liikkua alas.



Kuva 11. Suuremman aurinkopaneelijärjestelmän 3D-malli.

Kuvassa 12 näkyy lineaaritoimilaite, joka ohjaa kehikon liikettä vasemmalta oikealle. Kuvassa on esitetty myös liitoskohta, jossa 20 mm halkaisijaltaan oleva reikä ja tappi mahdollistavat liikkeen. Tappi ei ole kiinnitetty kuvassa havainnollistamistarkoituksessa.



SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

Kuva 12. Suuremman aurinkopaneelijärjestelmän 3D-malli.

5 OHJELMOINTI JA AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄ (PYTHON)

Ohjelmointi ja automaatiojärjestelmä muodostavat aurinkopaneelin suuntausmekanismin keskeisen osan ja mahdollistavat sen tarkkuuden ja tehokkuuden. Järjestelmä yhdistää Python-ohjelmoinnin joustavuuden ja luotettavan laitteiston, johon kuuluvat Raspberry Pi, moottoriohjain sekä kaksi lineaarista moottoria. Näiden osien yhteistyönä syntyy kokonaisuus, joka automatisoi aurinkopaneelin suunnan säätämisen ja maksimoi energiantuoton. Raspberry Pi toimii järjestelmän keskusyksikkönä ja suorittaa Python-koodia, joka vastaa kuvankäsittelystä ja moottorien ohjauksesta. Moottoriohjain toimii välittäjän muuntaen Raspberry Pi:n ohjaussignaalit tarkoiksi lineaaristen moottorien liikkeiksi. Nämä moottorit säätävät aurinkopaneelin asento varmistaen sen suuntauksen kameran tunnistamaa taivaan kirkkainta pistettä kohti.

Tässä luvussa käsitellään automaatiojärjestelmän kehitystä ja toteutusta. Kappaleessa 5.1 esitellään ohjelman rakenne ja sen keskeiset toiminnot, se tarjoaa selkeän yleiskuvan koodin organisoinnista. Kappaleessa 5.2 on tarkempi kuvaus koodin toteutuksesta, keskeisistä algoritmeista, kohdatuista haasteista ja menetelmistä, joilla järjestelmän toiminnallisuus testattiin. Lopuksi Kappaleessa 5.3 syvennytään ohjelmiston ja mekaanisen järjestelmän integraation ja tuodaan esiin laitteiston ja automaatioteknikkaan välisen vuorovaikutuksen.

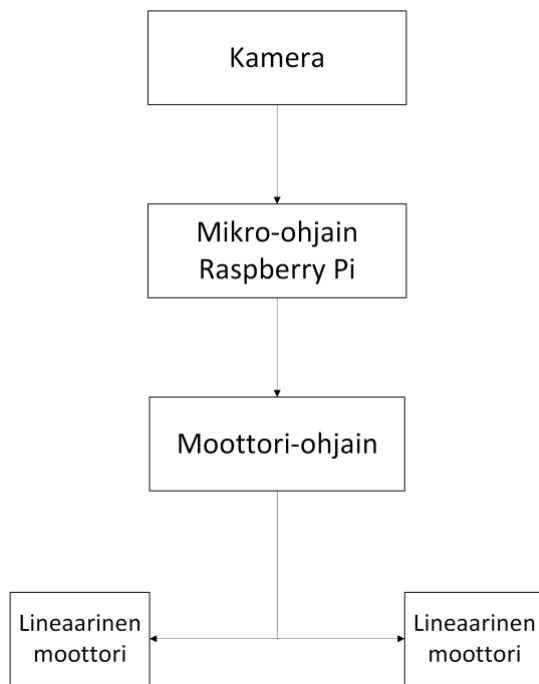
5.1 Ohjelman rakenne ja toiminnot

Aurinkopaneelin suuntausmekanismin ohjelmisto on rakennettu Python-ohjelmointikielellä, ja sen toiminta perustuu Raspberry Pi-mikrotietokoneeseen, kameraan, moottoriohjaimeen sekä kahteen lineaariseen moottoriin. Ohjelmiston pääasiallinen tarkoitus on pitää paneeli jatkuvasti linjassa auringon kanssa, mikä maksimoi energiantuotannon. Järjestelmän toiminta alkaa kameran tallentamalla näkymällä, jonka Python ohjelma analysoi. Kuva muunnetaan harmaasävykuvaksi, ja siihen sovelletaan Gaussian-sumennusta kohinan vähentämiseksi. Kirkkaimman kohdan korostamiseen käytetään kynnyksarvon määrittämistä ja lopuksi kuvan kirkkainta aluetta laajennetaan dilataatiolla. Tämän prosessin avulla aurinko voidaan tunnistaa kuvan kirkkaimpana kohtana.

Aurinkopaneelin suuntaus perustuu siihen, että kameran näkymä jaetaan yhdeksään yhtä suureen osaan 3x3-ruudukolla. Ohjelman määrittää aurinkoa vastaavan kirkkaimman kohdan sijainnin

ruudukossa ja vertaa sitä keskimmäiseen ruutuun, joka toimii paneelin kohdistuspisteenä. Jos kirkkaimman kohdan sijainti poikkeaa keskimmäisestä ruudusta, ohjelma laskee tarvittavan liikesuunnan. Raspberry Pi lähettää ohjaussignaali moottoriohjaimelle, joka aktivoi lineaariset moottorit liikuttamaan paneelia oikeaan suuntaan. Paneelin liikettä hallitaan siten, että kirkkaimman kohdan sijainti saadaan keskitettyä keskimmäiseen ruutuun. Ohjelma toistaa tämän prosessin jatkuvasti varmistaakseen, että paneeli on aina optimaalisesti suunnattu kohti aurinkoa. Ohjelmiston ydin koostuu useista Pythonilla kirjoitetuista moduuleista, jotka yhdessä vastaavat kuvankäsittelystä, liikesuunnan laskemisesta sekä lineaaristen moottorien ohjauksesta. Kuvankäsittelyvaiheessa ohjelma etsii suurimman ääriviivan kirkkaimmasta kohdasta ja piirtää sen ympärille punaisen ympyrän, joka helpottaa visuaalista tarkkailua testausvaiheessa. Kun kirkkaimman kohdan sijainti on tunnistettu, ohjelma analysoi sen sijainnin ruudukossa ja määrittää tarvittavan suunnan paneelin liikuttamiseksi. Tämän jälkeen Raspberry Pi lähettää signaalit moottoriohjaimelle, joka aktivoi lineaariset moottorit siirtämään paneelia haluttuun suuntaan. Moottorien liike pysäytetään automaattisesti lyhyen ajanjakson jälkeen, minkä jälkeen prosessi alkaa alusta seuraavalla kameran tallentamalla kuvalla.

Järjestelmän toiminnallisuuden havainnollistamiseksi kuvassa 13 esitetään aurinkopaneelin ohjausjärjestelmän lohkoakaavio. Kuva tuo esille, miten järjestelmän eri komponentit, kuten kamera, Raspberry Pi, Moottoriohjain ja lineaariset moottorit toimivat yhdessä aurinkopaneelin suuntaamiseksi. Tämä rakenne mahdollistaa järjestelmän toiminnan saumattoman integraation mekaaniseen järjestelmään, mikä esitellään tarkemmin tämän luvun myöhemmissä osioissa.



Kuva 13. Aurinkopaneelin ohjausjärjestelmän lohkoakaavio.

5.2 Koodin toteutus ja testaus

Aurinkopaneelin suuntausmekanismin ohjelmiston toteutus pohjautuu python-ohjelmointikieleen ja sen päätoiminnot kattavat kuvankäsittelyn, liikkeenhallinnan ja turvallisuustoiminnot. Ohjelmisto on suunniteltu siten, että sen rakenne mahdollistaa moduulikohtaisen testauksen ja ongelmien tehokkaan vianmäärityksen. Tässä kappaleessa tarkastellaan ohjelman keskeisiä toimintoja ja niiden testausprosessia. Ohjelmiston toteutuksessa käytettiin OpenCV-kirjastoa kuvankäsittelyyn, jolla tunnistetaan kameran näkymästä kirkkain kohta. Kameran kuva jaetaan 3x3 ruudukkoon ja ohjelma pyrkii pitämään kirkkaimman kohdan keskimmaisessä ruudussa. Kuvankäsittelyn jälkeen järjestelmä laskee, mihin suuntaan aurinkopaneelia on siirrettävä ja ohjaa lineaarisia moottorilla Raspberry Pi:n GPIO-pinnien kautta. Ohjelmisto sisältää myös turvallisuustoiminnon, joka voi siirtää paneelin turvalliseen asentoon voimakkaiden tuulisuhteiden tai huoltotilainten aikana.

Kuvankäsittely on järjestelmän ensimmäinen vaihe, jossa kameran välittämä kuva käsitellään siten, että siitä voidaan luotettavasti tunnistaa kirkkaimman kohdan sijainti. Ensimmäisessä vaiheessa kuva muunnetaan harmaasävykuvaksi, mikä yksinkertaistaa käsittelyä ja vähentää kohinaa. Tämän jälkeen kuvaan sovelletaan Gaussian-sumennusta, joka poistaa taustahälyä ja parantaa tunnistuksen tarkkuutta. Kirkkaimman kohdan erottamiseksi muusta kuvasta käytetään kynnysarvoa, jonka avulla kirkkaat alueet korostuvat selkeästi. Lopuksi kirkkaimman alueen

ympärille piirretään visuaalinen merkintä, punainen ympyrä, joka helpottaa järjestelmän toiminnan seuranta testauksen aikana. Näiden toimintojen toteutus tapahtuu process_frame-funktiossa.

```
def process_frame(frame):
    """
    Processes the input frame to detect the brightest spot and enhance detection accuracy.
    """
    # Convert to grayscale
    gray = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2GRAY)

    # Apply Gaussian Blur to reduce noise
    blurred = cv2.GaussianBlur(gray, (15, 15), 0)

    # Find the brightest spot using thresholding
    _, thresh = cv2.threshold(blurred, 200, 255, cv2.THRESH_BINARY)

    # Use dilation to enhance the brightest area
    kernel = np.ones((5, 5), np.uint8)
    dilated = cv2.dilate(thresh, kernel, iterations=2)

    return dilated
```

Kuva 14. Python-koodiesimerkki kirkkaimman pisteen tunnistamiseen kuvasta.

Tämän jälkeen järjestelmä analysoi käsitellyn kuvan ja tunnistaa kirkkaimman pisteen tarkan sijainnin. Detection_brightest_spot-funktio käyttää ääriiviivaan perustuvaa analyysiä löytääkseen suurimman kirkkaimman alueen ja määrittää alueen keskikohdan. Lisäksi toiminto piirtää kirkkaimman kohdan ympärille punaisen ympyrän, jonka sädettä voidaan säätää havaitun kirkkauden mukaan. Tämä parantaa järjestelmän kykyä käsitellä erilaisia valaistusolosuhteita.

```
def detect_brightest_spot(frame, processed_frame):
    """
    Finds the coordinates of the brightest spot in the processed frame.
    """
    contours, _ = cv2.findContours(processed_frame, cv2.RETR_EXTERNAL, cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)

    if contours:
        # Find the largest contour
        largest_contour = max(contours, key=cv2.contourArea)
        (x, y), radius = cv2.minEnclosingCircle(largest_contour)

        # Draw a red circle around the brightest spot
        center = (int(x), int(y))
        radius = max(10, min(30, int(radius))) # Adjustable radius size
        cv2.circle(frame, center, radius, (0, 0, 255), 2)

    return center
return None
```

Kuva 15. Python-koodiesimerkki kirkkaimman pisteen paikantamisesta ja merkitsemisestä.

Liikkeenhallinta on toinen keskeinen osa-alue, jossa järjestelmä käyttää kirkkaimman kohdan sijaintia suhteessa ruudukkoon määrittääkseen tarvittavan liikesuunnan. Raspberry Pi lähettää signaaleja moottoriohjaimelle GPIO-pinnien kautta ja moottoriohjain aktivoi lineaariset moottorit siirtämään aurinkopaneelia oikeaan suuntaan. Tämä toteutetaan `move_actuator`-funktiossa, joka käsittelee neljä liikesuuntaa: ylös, alas, vasemmalle ja oikealle. Moottorien liike pysäytetään lyhyen liikkeen jälkeen, mikä estää liiallisen korjaamisen ja varmistaa paneelin tarkan suuntautumiseen.

```
def move_actuator(direction):
    """
    Moves the actuators based on the direction to keep the brightest spot centered.
    """
    if direction == "up":
        GPIO.output(MOTOR1_IN1, GPIO.HIGH)
        GPIO.output(MOTOR1_IN2, GPIO.LOW)
    elif direction == "down":
        GPIO.output(MOTOR1_IN1, GPIO.LOW)
        GPIO.output(MOTOR1_IN2, GPIO.HIGH)
    elif direction == "left":
        GPIO.output(MOTOR2_IN3, GPIO.HIGH)
        GPIO.output(MOTOR2_IN4, GPIO.LOW)
    elif direction == "right":
        GPIO.output(MOTOR2_IN3, GPIO.LOW)
        GPIO.output(MOTOR2_IN4, GPIO.HIGH)
    else: # Stop
        GPIO.output(MOTOR1_IN1, GPIO.LOW)
        GPIO.output(MOTOR1_IN2, GPIO.LOW)
        GPIO.output(MOTOR2_IN3, GPIO.LOW)
        GPIO.output(MOTOR2_IN4, GPIO.LOW)

    # Move for a short duration
    time.sleep(0.5)
    stop_actuators()

def stop_actuators():
    """
    Stops all actuators.
    """
    GPIO.output(MOTOR1_IN1, GPIO.LOW)
    GPIO.output(MOTOR1_IN2, GPIO.LOW)
    GPIO.output(MOTOR2_IN3, GPIO.LOW)
    GPIO.output(MOTOR2_IN4, GPIO.LOW)
```

Kuva 16. Python-koodiesimerkki lineaaristen moottorien ohjaamiseen.

Koodin testaus suoritettiin sekä simulaatioympäristössä että fyysisessä ympäristössä. Simulaatioissa keskityttiin kuvankäsittelyn tarkkuuden ja algoritmien toimivuuden testaamiseen

ilman fyysistä laitteistoa. Fyysisessä testauksessa taas testattiin järjestelmän eri komponentteja, kuten kameraa, moottoriohjainta ja moottoreita. Komponentit kytkettiin yhteen, ja niiden vuorovaikutusta analysoitiin tarkasti. Testauksen aikana havaittiin, että Gaussian-sumennuksen ja kynnyksarvon parametrien säätämällä oli merkittävä vaikutus kirkkaimman kohdan tunnistamisen tarkkuuteen. Lisäksi moottorien liikkeen keston säätäminen paransi tarkkuutta ja vähensi järjestelmän tarpeettomia liikkeitä. Koodin toteutuksen aikana kohdattiin useita haasteita. Yksi merkittävimmistä ongelmista oli kirkkaimman kohdan paikannuksen epävarmuus tilanteissa, joissa ympäristön valaistus vaihteli voimakkaasti. Tämä ratkaistiin käyttämällä dilaatiota kirkkaimman alueen korostamiseksi sekä säätämällä kynnyksarvon parametreja. Toinen merkittävä haaste liittyi lineaaristen moottoreiden tarkkuuteen, mikä vaati useita testauskierroksia optimaalisten ohjaussignaalien löytämiseksi.

5.3 Integrointi mekaaniseen järjestelmään

Aurinkopaneelin suuntausmekanisin ohjelmisto ja mekaaniset osat toimivat saumattomassa yhteistyössä, joka mahdollistaa järjestelmän tehokkuuden ja tarkkuuden. Tämä luku keskittyy ohjelmiston ja mekaanisen järjestelmän väliseen integraatioon sekä kuvaa, miten Raspberry Pi toimii keskeisenä ohjausyksikkönä kommunikoiden kameran, moottoriohjaimen ja lineaaristen moottoreiden kanssa.

Järjestelmän sydämenä toimii Raspberry Pi, joka vastaanottaa jatkuvaa kuvadataa kamerasta ja käsittelee sen Python-ohjelmiston avulla. Kuvankäsittelyn jälkeen ohjelmisto määrittää aurinkopaneelin liikesuunnan ja lähettää ohjaussignaalit moottoriohjaimelle GPIO-piirien kautta. Moottoriohjain muuntaa nämä signaalit moottorien liikkeiksi, jolloin aurinkopaneeli siirtyy oikeaan suuntaan. Tämä Raspberry Pi:n, moottoriohjaimen ja moottoreiden välinen tiedonsiirto on kriittinen järjestelmän toiminnan kannalta. Integraatioprosessin ensimmäinen vaihe oli kameran asentaminen aurinkopaneelin kanssa samalle tasolle. Tämä varmistaa, että kameran näkemä näkökenttä vastaa tarkasti paneelin suuntaa. Kameran liitännä Raspberry Pi:hin toteutettiin USB-portin kautta, ja OpenCV-kirjasto vastaa kameran hallinnasta ohjelmistotasolla. Kameran resoluutio ja valotus vaikuttavat suuresti otetun kuvan laatuun, joten käytännön testeissä tarvitaan hienosäätöä optimaalisen kuvanlaadun saavuttamiseksi. Toinen tärkeä integraatiovaihe oli Raspberry Pi:n kytkeminen moottoriohjaimen ja lineaarisiin moottoreihin. Tämä toteutettiin käyttämällä Raspberry Pi:n GPIO-piirisejää, jotka lähettävät digitaalista ohjaussignaalia moottoriohjaimelle. Moottoriohjain puolestaan välittää signaalit moottoreille, jotka toteuttavat

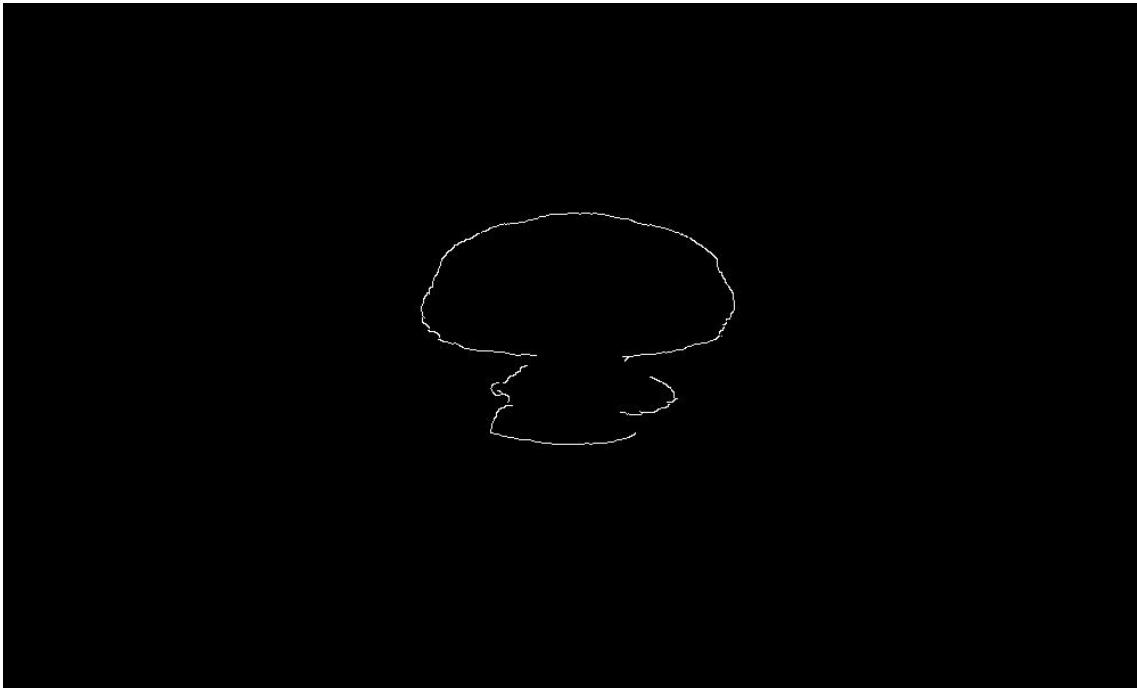
paneelin liikkeen. Järjestelmässä käytettiin pull-up-vastuksia signaalien luotettavuuden parantamiseksi ja sähköisten häiriöiden minimoimiseksi. Liitäntöjen oikeellisuus varmistettiin oskilloskoopilla ennen fyysistä testausta.

Integraation yhteydessä suoritettiin useita testejä, joilla varmistettiin järjestelmän luotettavuus ja suorituskyky. Yksi esimerkki testiskenaariosta oli kameran avulla auringon seuraaminen, jossa havaittiin, että auringon kirkkaus oli aluksi liian voimakas kameran käsiteltäväksi. Tämän ongelman ratkaisemiseksi kameraan lisättiin UV-suodatin, joka himmensi kuvaa ja helpotti kuvankäsittelyä. Samalla UV-suodatin suojaasi kameran sensoria ultravioletin aiheuttamilta vaurioilta, mikä paransi järjestelmän kestävyttä pitkäaikaisessa käytössä. Testit osoittivat myös, että järjestelmän tarkka testaus voi olla hidasta, koska aurinko liikkuu taivaalla vähitellen. Tämä hidasti testausjaksoja, sillä järjestelmän toimivuuden tarkistaminen vaati useita tunteja. Lisäksi testien aikana havaittiin, että korkeat lämpötilat voivat vahingoittaa järjestelmän komponentteja, erityisesti moottoriohjainta. Moottoriohjain ei ole suunniteltu kestäväksi korkeita lämpötiloja, ja sen ylikuumentuminen saattaa aiheuttaa pysyviä vaurioita. Tämä havainto korosti komponenttien lämpötilanhallinnan merkitystä erityisesti ulkokäytössä, missä lämpötilaolosuhteet voivat vaihdella huomattavasti.

Näistä haasteista huolimatta integraation lopputuloksena syntyi järjestelmä, joka pystyy tarkasti seuraamaan auringon liikettä ja optimoimaan aurinkopaneelin suuntausta. Järjestelmä toimii reaaliaikaisesti, ja sen ohjelmiston ja mekaanisen järjestelmän välinen kommunikaatio on suunniteltu mahdollisimman luotettavaksi ja tehokkaaksi. Testien aikana tehdyt muutokset, kuten UV-suodattimen lisääminen ja lämpötilariskien tunnistaminen, paransivat järjestelmän käytettävyyttä ja kestävyttä käytännön olosuhteissa.

6 TESTAUS JA ANALYYSI

Testausvaihe aloitettiin yksittäisten järjestelmän komponenttien testaamisella. Ensimmäiseksi testattiin lineaariset moottorit, moottoriohjain ja Raspberry Pi. Testauksen tarkoituksena oli varmistaa, että laitteet toimivat ja pystyvät kommunikoimaan keskenään. Erityisesti kiinnitettiin huomiota muuntajan toimivuuteen, sillä Raspberry Pi toimii 5V jännitteellä ja lineaariset moottorit vaativat 12V. Testausvaiheessa käytettiin ulkoista virtalähdettä, kuten verkkovirta. Tässä vaiheessa ei nähty tarpeelliseksi käyttää 24V akkua. Myös aurinkopaneelin ja MPPT-säätimen toiminta testattiin. Aurinkopaneelista saatiin 24V lähtöjännite. Laitteiston testauksen jälkeen siirryttiin järjestelmää ohjaavan koodin testaamiseen. Koodia testattiin ensin kannattavan tietokoneen kameralla. Tämä testi osoitti, että kamera pystyi havaitsemaan taivaan kirkkaimman pisteen ja korostamaan sen kuvassa. Kuvassa 17 näkyy, miten kamera tunnisti auringon kirkkaimpana pisteenä taivaalla. Tässä vaiheessa järjestelmä ei ollut vielä liitetty lineaarisia moottoreita, joten niiden liikkumiseen liittyviä toimintoja ei voitu testata.



Kuva 17. Kamera tunnistaa kirkkaamman pisteen taivaalla

Seuraavaksi kaikki komponentit yhdistettiin. Kamera liitettiin Raspberry Pi:hin, moottoriohjain kytkettiin Raspberry Pi:hin ja lineaariset moottorit yhdistettiin järjestelmään. Kun koodi siirrettiin

Raspberry Pi:lle, järjestelmä onnistui ensimmäisellä testikerralla tunnistamaan taivaan kirkkaimman pisteen ja liikuttamaan kehikkoa sen mukaisesti. Testauksen aikana havaittiin kuitenkin useita haasteita. Järjestelmä oli aluksi herkkä pilvisydelle, mikä aiheutti ongelmia, kun aurinko peittyi pilven taakse. Täysin pilvisellä säällä järjestelmä ei aluksi toiminut odotetusti. Näihin ongelmiin löydettiin kaksi ratkaisua. Ensimmäiseksi kameralle asetettiin suodatin, joka tummentaa kuvaa ja poistaa esimerkiksi ikkunoiden aiheuttamia heijastuksia. Tämä helpotti aurinkokennon tunnistamista taivaan kirkkaimpana pisteinä. Toiseksi kirkkauden herkkyyttä säädettiin siten, että järjestelmä pystyi erottamaan auringon ja sitä ympäröivät pilvet paremmin. Tämä oli erityisen tärkeää tilanteissa, joissa pienet pilvet kirkastuivat auringonvalosta. Täysin pilvisellä säällä suodatin tummentaa kuvaa, mikä auttaa aurinkoa erottumaan selkeämmin kamerassa. Järjestelmä silti ei toimi yhtä tehokkaasti, kun taivaalla ei ole pilviä. Kuvassa 18 on esimerkki suodattimen toiminnasta.



Kuva 18. Suodattimen vaikutus kuvaan

Toinen merkittävä huomio liittyi siihen, auringon hidas liike taivaalla teki järjestelmän testaamisesta aikaa vievää. Tästä huolimatta prototyyppi saatiin lopulta toimimaan odotetulla tavalla. Järjestelmä asetti aurinkopaneelin aina oikeaan kulmaan suhteessa aurinkoon, mikä maksimoi auringon säteilyn hyödyntämisen. Vaikka tämä järjestelmä on monimutkaisempi ja kalliimpi kuin tavallinen kiinteästi asennettu aurinkopaneeli, sen etuna on parempi hyötysuhde. Järjestelmä optimoi aurinkopaneelin asennon suhteessa aurinkoon, mikä lisää merkittävästi sähkön tuotantoa. Sillä aurinkopaneelit on suunniteltu tuottamaan eniten sähköä silloin, kun ne ovat suorassa linjassa auringonvalon kanssa ja tämä järjestelmä varmistaa juuri sen.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA KEHITYSEHDOTUKSET

Projektin päätavoitteena oli suunnitella aurinkopaneelin seurantarunko, joka pystyy tukemaan neljään aurinkopaneelia. Runko käyttää kameraa auringon sijainnin havaitsemiseen sekä kahta lineaarista moottoreita rungon liikuttamiseen pystysuunnassa ja vaakasuunnassa (ylös, alas, vasemmalle, oikealle). Raspberry Pi toimii mikrokontrollerina, ja algoritmi on kirjoitettu Pythonilla. Rungon tarkoituksena on maksimoida aurinkoenergian talteenotto suuntaamalla aurinkopaneeli suoraan aurinkoa kohti, mikä varmistaa suurimman mahdollisen tehokuuden. Järjestelmä soveltuu erityisesti kotitalouskäyttöön.

Kameran käyttäminen auringon havaitsemiseen osoittautui tehokkaaksi ratkaisuksi, vaikka vaihtoehtoisena menetelmänä harkittiin myös valovastuksen (LDR) käyttämistä. Päätös käyttää kahta lineaarista moottoreita perustui kustannustehokkuuteen, sillä ne tarjoivat edullisimman tavan saavuttaa haluttu liike. Raspberry Pi valittiin mikrokontrolleriksi sen yhteensopivuuden vuoksi Pythonin kanssa sekä Wi-Fi-yhteyden tarjoamien etähuolto-, päivitys- ja valvontamahdollisuuksien takia. Runko rakennettiin teräksestä sen kestävyden ja sääolosuhteita kuten sadetta, lunta ja tuulta kestäväksi rakenteeksi. Projektissa kohdattiin kuitenkin merkittäviä rajoituksia, erityisesti ajan ja kustannusten osalta. Tiukka aikataulu rajoitti suunnittelu-, rakennus- ja testausvaiheita, ja budjettirajoitukset pakottivat käyttämään edullisia materiaaleja. Näistä haasteista huolimatta projekti onnistui saavuttamaan päätavoitteensa.

Tämän järjestelmän kehittämisessä on paljon potentiaalia lisäysten ja parannusten osalta. Esimerkiksi akkuvarastoinnin lisääminen voisi parantaa järjestelmän tehokkuutta mahdollistamalla energian tallennuksen myöhempää käyttöä varten. Järjestelmän skaalautuvuuden laajentaminen suurempiin aurinkovoimaloihin voisi tehdä siitä sopivan kaupallisiin sovelluksiin. Lisätutkimus voisi keskittyä kehittämään entistä tehokkaampia algoritmeja, jotka parantaisivat järjestelmän seuranta-tarkkuutta ja reagoitokykyä. Tulevissa suunnitelmissa voitaisiin myös tutkia kevyempiä ja kustannustehokkaampia materiaaleja sekä vaihtoehtoisia rakenteita, jotka alentaisivat tuotantokustannuksia kestävyden säilyessä. Lisäominaisuuksia, kuten myrskysuojamekanismeja (esim. paneelien vetäytyminen ääriolosuhteissa) ja edistyneitä valvontajärjestelmiä, voitaisiin lisätä järjestelmän luotettavuuden ja käyttökelpoisuuden parantamiseksi.

Lopuksi projekti onnistui kehittämään aurinkopaneelin seurantarungon, joka täytti alkuperäiset suunnittelukriteerit. Järjestelmä pystyi havaitsemaan auringon sijainnin ja säätämään aurinkopaneelin suuntausta sen mukaisesti, mikä osoitti sen toimivuuden. Vaikka tietyt rajoitukset, kuten aika ja kustannukset, vaikuttivat lopulliseen suunnitteluun, projekti loi vankan perustan tuleville parannuksille ja tutkimukselle. Valmistunut runko vastasi projektin tavoitteita ja edusti merkittävää askelta kohti aurinkoenergian käytön optimointia kotitalouksien tarpeisiin.

LÄHDELUETTELO

Adeyinka, A., Esan, O., Ijaola, A. & Farayibi, P. 2024. Advancements in hybrid energy storage systems for enhancing renewable energy-to-grid integration. Luettavissa:

<https://sustainenergyres.springeropen.com/articles/10.1186/s40807-024-00120-4>. Luettu

19.11.2024.

Anandkumar, K., Vinoth, H., Nanthini, K. & Anandkumar, M. 2022. Maintaining the efficiency of solar panels using IoT. Luettavissa:

https://www.researchgate.net/publication/361657208_Maintaining_the_efficiency_of_solar_panels_using_IoT. Luettu: 19.12.2024.

Bano, S., Tariq, U. & Shah, S. 2021. Design and Implementation of Dual-Axis Solar Tracking System for Maximizing the Efficiency of Solar Cells. Luettavissa:

https://www.researchgate.net/publication/364135920_Design_and_Implementation_of_Dual-Axis_Solar_Tracking_System_for_Maximizing_the_Efficiency_of_Solar_Cells. Luettu:

20.12.2024.

Biswas, S., Bhuyan, M. & Hassan, M. 2023. IoT-Based Automated Solar Panel Cleaning And Monitoring Technique. Luettavissa: https://www.researchgate.net/publication/373628287_IoT-Based_Automated_Solar_Panel_Cleaning_and_Monitoring_Technique. Luettu: 19.12.2024.

Jalli, A. 2024. Miten aurinkopaneeli toimii? Luettavissa: <https://www.nodesk.fi/miten-aurinkopaneeli-toimii/>. Luettu: 19.11.2024.

Kamanzi, J. & Khan, M. 2017. Development of a Model for Highly Efficient Solar Power Panels. Luettavissa:

<https://digitalknowledge.cput.ac.za/bitstream/11189/6475/1/Development%20of%20a%20model%20for%20highly%20efficient%20solar%20power%20panels.pdf>. Luettu: 19.11.2024.

Krisciunas, K. 12.08.2023. How solar panels work, in theory and in practice. Luettavissa:

https://www.researchgate.net/publication/373286164_How_solar_panels_work_in_theory_and_in_practice. Luettu: 19.12.2024.

Loon, C. & Daud, M. 2020. Sensorless dual axis solar tracker using improved sun position algorithm. Luettavissa:

https://www.researchgate.net/publication/344027267_Sensorless_dual_axis_solar_tracker_using_improved_sun_position_algorithm. Luettu: 20.12.2024.

Mohamoud, D., Shalwala, R. & Khozium, O. 2024. DETECTING DUST ACCUMULATION ON SOLAR PANELS USING IMAGE PROCESSING AND DEEP LEARNING. Luettavissa: https://www.researchgate.net/publication/380514068_DETECTING_DUST_ACCUMULATION_ON_SOLAR_PANELS_USING_IMAGE_PROCESSING_AND_DEEP_LEARNING. Luettu: 19.12.2024.

Nationalgrid 16.05.2023. Energy explained. Luettavissa: <https://www.nationalgrid.com/stories/energy-explained/how-does-solar-power-work#:~:text=Solar%20panels%20are%20usually%20made,and%20produces%20an%20electric%20charge>. Luettu: 19.11.2024.

Sandanayake, M., Li, L., Zhao, J. & Joseph, P. 10.11.2022. Applications of solar panel Waste in Pavment construction. Luettavissa: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/22/14823>. Luettu: 19.11.2024.

SEAI 01.09.2021. Solar PV for business. Luettavissa: <https://www.seai.ie/sites/default/files/publications/SEAI-Solar-PV-Guide-For-Business.pdf>. Luettu: 19.11.2024.

Shairi, N., Ghoni, R. & Ali, K. 2020. SOLAR PANEL DUST MONITORING SYSTEM. Luetta-vissa: https://www.researchgate.net/publication/346821257_SOLAR_PANEL_DUST_MONITORING_SYSTEM. Luettu: 20.12.2024.

Voznyak, O., Kasynets, M., Shapoval, S., Savchenko, O., Sukholova, I., Spodyniuk, N. & Dovbush, O. 05.08.2024. Increasing the Efficiency of Ecological Solar Panels combined with Building's Roof. Luettavissa: <https://www.mdpi.com/2076-3417/14/18/8543>. Luettu: 19.11.2024.

Walker, A. 01.09.2021. Understanding Solar Photovoltaic System Performance. Luettavissa: <https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-02/understanding-solar-photo-voltaic-system-performance.pdf>. Luettu: 19.11.2024.