

Aurinkovoimaloiden suunnitteluohjelmien vertailu



Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Valkeakoski, sähkö- ja automaatiotekniikka, insinööri (AMK),

Kevät 2021

Waltteri Aalto

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tilaajana toimi Solnet Finland Oy. Tässä opinnäytetyössä käytiin läpi kuusi eri aurinkovoimaloiden suunnitteluohjelmaa ja keskityttiin niiden käytettävyyden, ominaisuuksien, simuloinnin tulosten ja hintojen vertailuun. Tähän työhön valikoituvat PVSyst, PVSol premium, Aerotool, SolarEdge Designer, PVCAD ja HelioScope.

Opinnäytetyö pohjautuu internetistä kerättyyn tietoon sekä omiin kokemuksiin ohjelmista. Tämän lisäksi tein tätä työtä varten jokaisella ohjelmalla kaksi esimerkki kohdetta, jotka simuloitiin jokaisella ohjelmalla.

Opinnäytetyön tarkoituksena on pyrkiä kertomaan ohjelmien eroavaisuuksista ja millaista niiden käyttäminen on. Tarkoituksena oli lisätä tietoa, millaisia erilaisia ominaisuuksia ohjelmissa on ja kuinka ne simuloivat erilaisia voimalasuunnitelmia. Tarkoituksena oli myös tuottaa sellainen kuvaus ohjelmista, joka auttaisi ohjelman valinnassa.

Vertailututkimuksen tuloksena ohjelmat olivat perusominaisuuksiltaan melko samanlaisia. Toiset ohjelmista olivat helpompi käyttöisempiä kuin toiset ja osassa oli enemmän ominaisuuksia, kuin toisissa. Simuloinnin tulokset erosivat vain ensimmäisessä esimerkki kohteessa. Hinnoissa ohjelmistot erosivat siten, että osan ohjelmista sai käyttöönsä, jos käytetään heidän omia tuotteitaan.

Avainsanat aurinkoenergia, suunnittelu, voimalat

Sivut 36 sivua ja liitteitä 1 sivu

ABSTRACT

This thesis project was commissioned by Solnet Finland Oy. The thesis introduces six different design programs for solar plants and focuses on comparing them by their usability, attributes, results from simulation and price. The selected programs were PVSyst, PVSol premium, Aerotool, SolarEdge Designer, PVCAD and HelioScope.

The thesis is based on information gathered from the internet as well as on the author's own experiences of the programs. In addition to these two sample cases were made for each program and these cases were simulated by every program.

The goal of the thesis project was to describe the differences of the programs and to examine what it was like to use them. Another goal was to increase the knowledge on the type of attributes there are in the programs and how they simulate various plans for the plants. The final goal was to produce a description of the programs that would help in the selection of the program.

As a result of the comparative study, it could be stated that, the programs were quite similar in their basic features. Some of the programs were easier to use than others and some had more features than others. The simulation results differed only in the first example case. In terms of prices, the software differed so that some of the programs were only made available when their own products were used.

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Aurinkoenergia	2
3	Aurinkovoimala ja siihen kuuluvat osat	7
3.1	Aurinkopaneeli	8
3.2	Invertteri	9
3.3	Telineet	10
3.4	Virran optimoija	13
4	Suunnitteluohjelmien vaatimukset	13
5	Ohjelmat	14
5.1	PVSyst.....	14
5.2	PVSol Premium.....	16
5.3	Aerotool	18
5.4	SolarEdge Designer	21
5.5	PVCAD	23
5.6	HelioScope	25
6	Vertailu	28
6.1	Käytettävyys	28
6.2	Ominaisuudet.....	29
6.3	Simuloinnin tulokset	30
6.4	Hintavertailu	32
7	Yhteenveto	33
	Lähteet.....	35

Kuvat, taulukot ja kaavat

Kuva 1 Potentiaaliset säteilymäärät Euroopassa. (Photovoltaic geographical information system, 2017)	3
Kuva 2 Kokonaissäteily Suomessa. (Photovoltaic geographical information system, 2019)	5
Kuva 3 Kokonaissäteily määrä Suomessa optimaalisella kulmalla. (Photovoltaic geographical information system, 2019)	6
Kuva 4 Esimerkki aurinkovoimalan kuuluvista kytkennöistä. (Avisor, n.d.)	7
Kuva 5 Aurinkokennon toiminta periaate (Motiva, 2020-b)	8
Kuva 6 Esimerkki itä-länsiasennuksesta. (Tervo, 2020).....	10
Kuva 7 Esimerkki vinokatto asennuksesta.....	11
Kuva 8 Esimerkki maahan asennetusta voimalasta.	12
Taulukko 1 PVSyst edut ja heikkoudet.	16
Taulukko 2 PVSol Premium Edut ja heikkoudet.	18
Taulukko 3 Aerotool edut ja heikkoudet	20
Taulukko 4 SolarEdge Designer edut ja heikkoudet.....	22
Taulukko 5 PVCAD Edut ja heikkoudet.	25
Taulukko 6 HelioScopen Edut ja heikkoudet.	27
Taulukko 7 Ohjelmien jako käytettävyyden mukaan.	28
Taulukko 8 Kohde 1 simuloinnin tulokset.	31
Taulukko 9 Kohde 2 simuloinnin tulokset.	31
Taulukko 10 Hintavertailu.	32

Liitteet

Liite 1	Simulointien tulokset
---------	-----------------------

1 Johdanto

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Solnet Finland Oy. Solnet Finland Oy on Suomen johtava älykkäiden aurinkovoimaloiden toimittaja. Yritys toimittaa erikokoisia aurinkovoimaloita ympäri Suomea. Yritys tarjoaa myös monenlaisia erilaisia aurinkovoimaloiden ratkaisuja. Pääpainona yrityksellä on tasakatoille asennettavat aurinkovoimalat, mutta toimittaa myös vinokatto- sekä maa-asenteisia aurinkovoimaloita. Tässä opinnäytetyössä on tarkoitus kartoittaa erilaisia aurinkovoimaloiden suunnitteluohjelmia ja vertailla niiden ominaisuuksia ja käytettävyyttä.

Aurinkovoimalat yleistyvät Suomessa kovaa vauhtia sillä yleinen kiinnostus uusiutuviin energianlähteisiin on kasvussa. Myöskin aurinkovoimaloiden hyötysuhteet ovat nousussa ja komponenttien hinnat alenemassa, joten aurinkovoimalan taloudellinen kannattavuus on kasvussa. Aurinkovoimalan taloudellinen kannattavuus perustuu sen tuottamaan energiaan, jota voidaan hyödyntää kiinteistössä, jolloin verkosta ostettavan energian määrä pienenee. Myös jos voimala tuottaa enemmän sähköä kuin mitä käyttökohde käyttää, voidaan ylijäämä myydä takaisin verkkoon.

Aurinkovoimalan suunnitteluohjelmia vertaillessa tässä työssä keskitytään ohjelman käytettävyyteen, niiden ominaisuuksiin, hintojen ja niiden simulointien tulosten vertailuun. Käytettävyydessä huomioidaan, kuinka helppoa ohjelmia on käyttää. Ominaisuuksissa keskitytään siihen mitä ohjelmilla voidaan tehdä. Mitä komponentteja ohjelmalla voidaan valita ja kuinka paljon erilaisia ominaisuuksia ohjelmassa on. Esimerkiksi voiko ohjelmalla tuottaa yksipistekaavion. Simuloinnin tulokset verrataan vain toisiin ohjelmiin nähden eikä minkään kohteen mittausdataan. Hinta vertailussa huomioidaan, kuinka hyvin hinta vertautuu ohjelman mahdollisuuksiin nähden.

Tämän työn tarkoitus on kartoittaa Solnet Finland Oy:lle kuvaus erilaisista ohjelmista, joka voisi auttaa tulevaisuudessa ohjelmien valinnassa. Tarkoitus on siis tuottaa selkeä selvitys näistä kuudesta valitusta ohjelmista. Tähän työhön valikoituneet ohjelmat ovat: PVSyst, PVSol premium, Aerotool, Solaredge Designer, PVCAD ja Helioscope.

2 Aurinkoenergia

Aurinkoenergian on auringonvalon tai auringonlämmön hyödyntämistä. Auringon lämpöä voidaan varastoida rakenteisiin tai lämminvesivaraajaan. Auringonvaloa voidaan kerätä aurinkokeräimillä. (Motiva, 2020-c)

Aurinkomme on vedystä ja heliumista koostuva kaasupallo, jota kutsutaan myös tähdeksi. Kaasu auringossa on ionisoitunutta, joka tarkoittaa, että elektronit ovat irronneet atomien ympäriltä ja ionisoitunutta kaasua kutsutaan plasmaksi. Kuumuudesta johtuen hiukkaset auringoissa liikkuvat niin nopeasti, että niiden sähköinen vetovoima ei riitä pysäyttämään hiukkasia, jotta ne yhdistyisivät atomeiksi. Auringon säteilemä energia syntyy sen ytimessä, jossa tapahtuu fuusioreaktio. Tässä reaktiossa joka sekunti, 600 miljoonaa tonnia vetyä fuusioituu 596 miljoonaksi tonniksi heliumia ja neljä miljoonaa tonnia massasta muuttuu energiaksi. Tämä energia vapautuu suurenergiaisina fotoneina. Tämä energia siirtyy auringon säteily vyöhykkeelle, jossa tapahtuu kiehumista muistuttava prosessi, josta johtuen aurinko säteilee osan lämpöenergiastaan avaruuteen. (Ilmatieteenlaitos, n.d.)

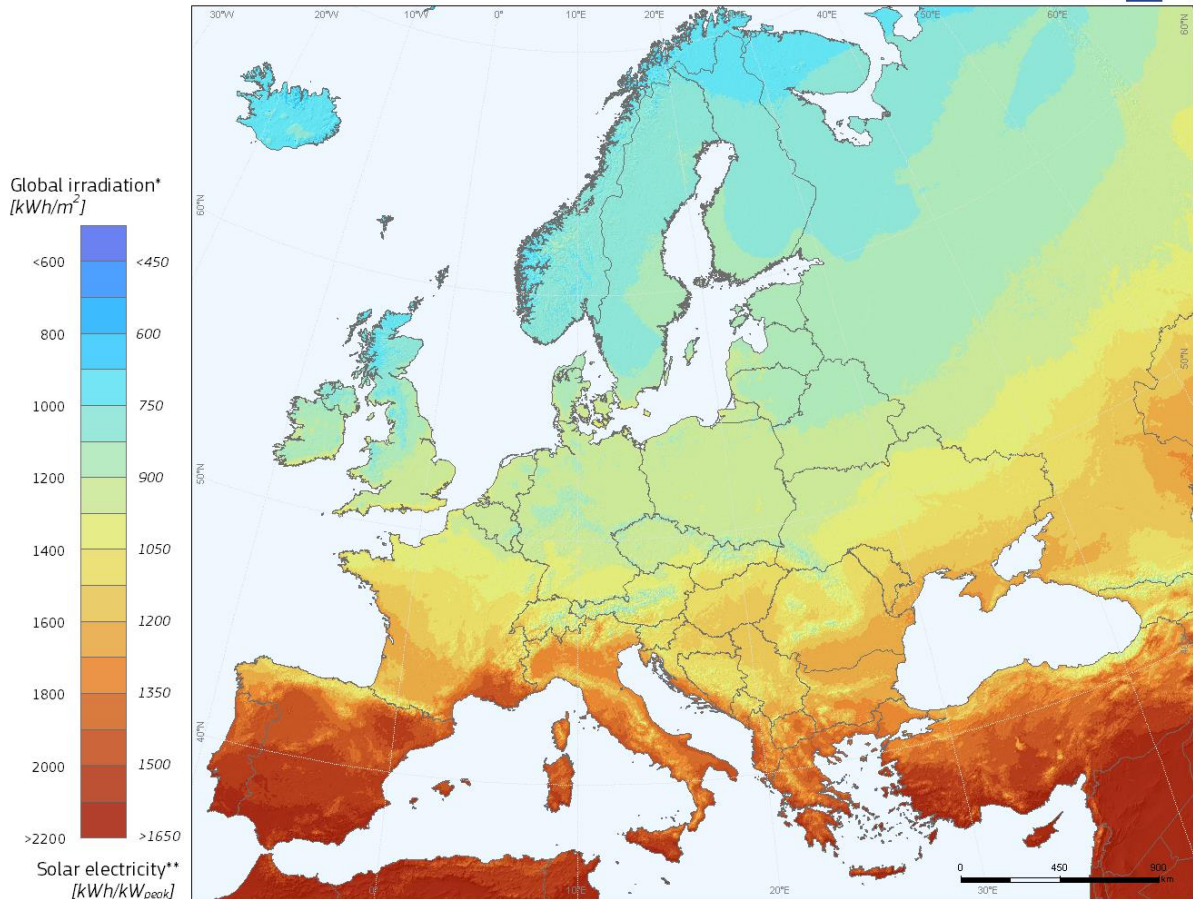
Kohtisuoraa maapallolle säteilevä auringon teho on noin 1000 W/m^2 . Kokonaisuudessaan maapallolle osuva säteily on teholtaan noin 130 000 terawattia. Tämä määrä on lähes 8000 kertaa suurempi kuin ihmiskunnan kulutus. Noin tunnissa saapuva teho vastaa tätä ihmisten kuluttamaa energiaa. (Lampila, 2016)

Kuitenkin maahan saapuvan säteilyn energian tulee olla tasapainossa maasta poistuvan energian kanssa tai muussa tapauksessa maapallo joko lämpenee tai kylmenee. Tämä tarkoittaa, että maahan saapuvan energian täytyy siirtyä takaisin avaruuteen. Päivittäistä tulosäteilyä kutsutaan aurinkovakioksi, jonka suuruus on noin 1366 W/m^2 . Noin 50 % tästä säteilystä pääsee ilmakehän läpi maanpinnalle ja jakautuu puoliksi päivän ja yön välillä. Säteily imeytyy kasveihin, sekä vesistöihin ja maahan lämmittäen niitä. Noin 30 % säteilystä heijastuu ilmakehän hiukkasista, pilvistä ja maanpinnalta takaisin avaruuteen ja loput 20 % säteilystä imeytyy ilmakehän kaasuihin. Maan pallon muotoisuus, kiertoliikkeet akselinsa ja auringon ympärillä, vaikuttavat säteilyyn. Päiväntasaajalla ja 35. leveyspiireillä säteily tulee lähes kohtisuoraa maan pinnalle. Päiväntasaajalla säteily kulkee lyhyimmän matkan ja

kohdistuu pienemmälle alueelle kuin pohjoisemmilla ja eteläisillä leveysasteilla. (Ala-Myllymäki, 2016, s.13) Kuvassa 1 on esitelty potentiaaliset säteilymäärät Euroopassa.

Kuva 1 Potentiaaliset säteilymäärät Euroopassa. (Photovoltaic geographical information system, 2017)

Photovoltaic Solar Electricity Potential in European Countries



* Yearly sum of global irradiation incident on optimally-inclined south-oriented photovoltaic modules

**Yearly sum of solar electricity generated by optimally-inclined 1kW_p system with a performance ratio of 0.75

© European Union, 2012
PVGIS <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

Authors: Thomas Huld, Irene Pinedo-Pascua
EC - Joint Research Centre
In collaboration with: CM SAF, www.cmsaf.eu

Legal notice: Neither the European Commission nor any person acting on behalf of the Commission is responsible for the use which might be made of this publication.

Suomen maantieteellinen sijainti määrittelee paljon Suomeen saapuvaa säteilyä. Vuosi tasolla vaikuttavat aurinkoisten tuntien määrä ja säteilyn intensiteetti. Pohjoisosissa kesäpäivien pitkä valoisa aika kompensoi talvisia vähä valoisia päiviä. Talvisin aurinko paistaa hyvin matalalla, joka heikentää sähkön tuotantoa Suomessa. (Ala-Myllymäki, 2016, s.16)

Etelä-Suomessa kokonaissäteily vuodessa on samaa luokkaa kuin Pohjois-Saksassa. Kuitenkin säteily Suomessa keskittyy kesäkuukausiin. Helsingissä säteily määrä vuodessa vaakasuoralle pinnalle on Ilmatieteenlaitoksen testien mukaan noin 980 kWh/m². Sodankylässä vastaava luku on noin 790 kWh/m². (Motiva, 2020-a)

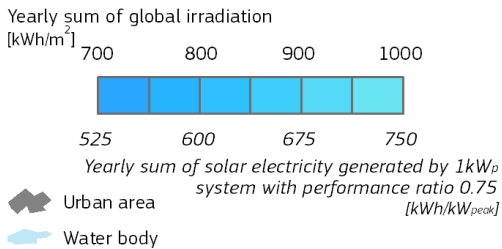
Vuosittainen säteilyn määrä koostuu monesta asiasta. Siihen vaikuttavat maantieteellinen sijainti, ilman puhtaus, aurinkoisten tuntien määrä ja ilmakehän ilmiöt. Suomen etelä- ja länsiosissa auringon säteily on hieman suurempaa kuin pohjois- ja sisäosissa. (Ala-Myllymäki, 2016, s.17) Kuvassa 2 on esitelty auringon kokonaissäteily Suomessa ja kuvassa 3 säteilyn määrä optimaalisella kulmalla. Kuvista huomaa kuinka tärkeää Suomen leveysasteilla asennuskulman merkitys on. Optimaalinen asennuskulma paneeleille Suomessa on 45° ja tällä kulmalla paneelien tuotot nousevat.

Kuva 2 Kokonaissäteily Suomessa. (Photovoltaic geographical information system, 2019)



Global irradiation and solar electricity potential
Horizontally mounted photovoltaic modules

FINLAND / SUOMI

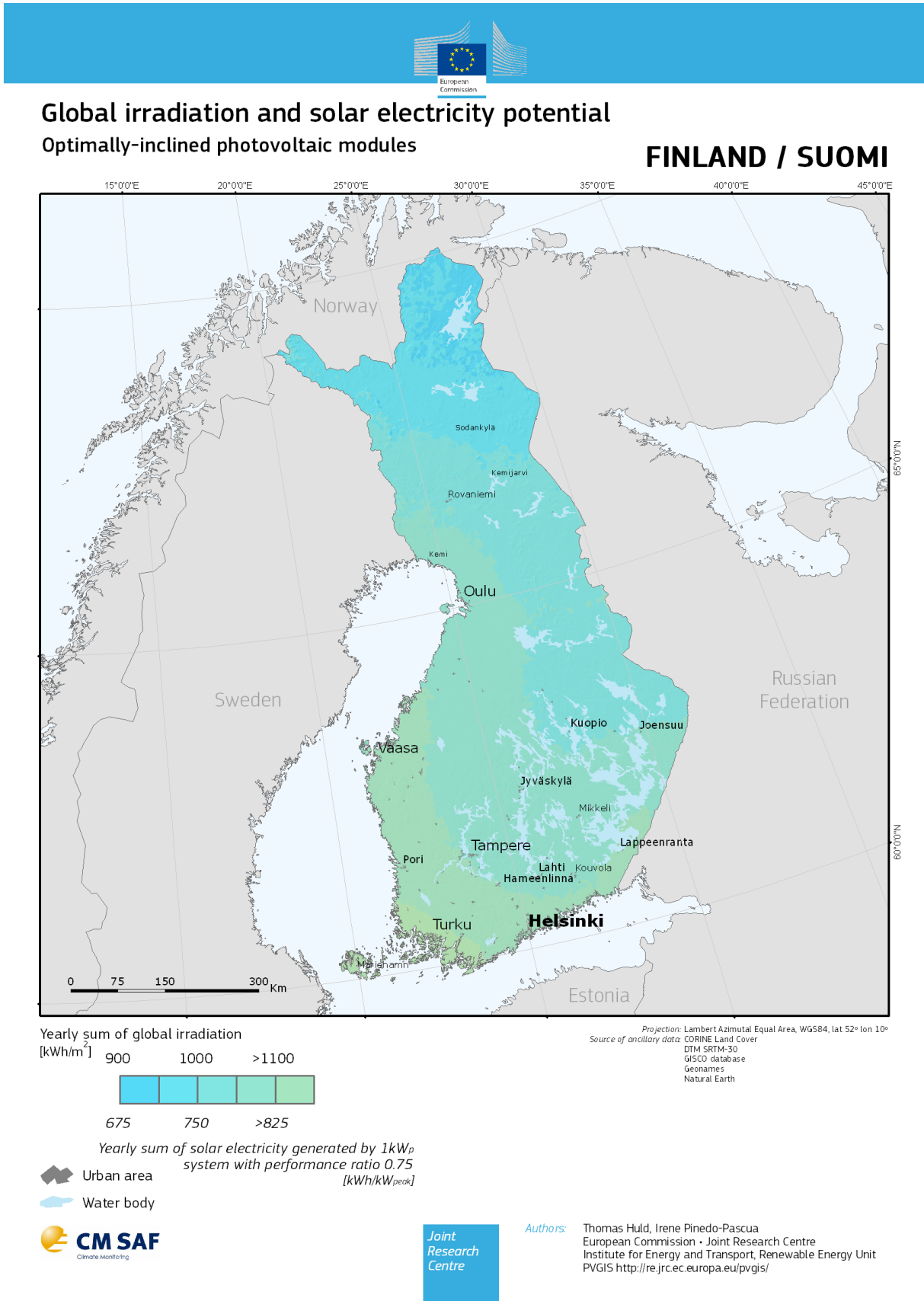


Projection: Lambert Azimuthal Equal Area, WGS84, lat 52° lon 10°
Source of ancillary data: CDRIE Land Cover
DTM SRTM-30
GISCO database
Geonames
Natural Earth



Authors: Thomas Huld, Irene Pinedo-Pascua
European Commission - Joint Research Centre
Institute for Energy and Transport, Renewable Energy Unit
PVGIS <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

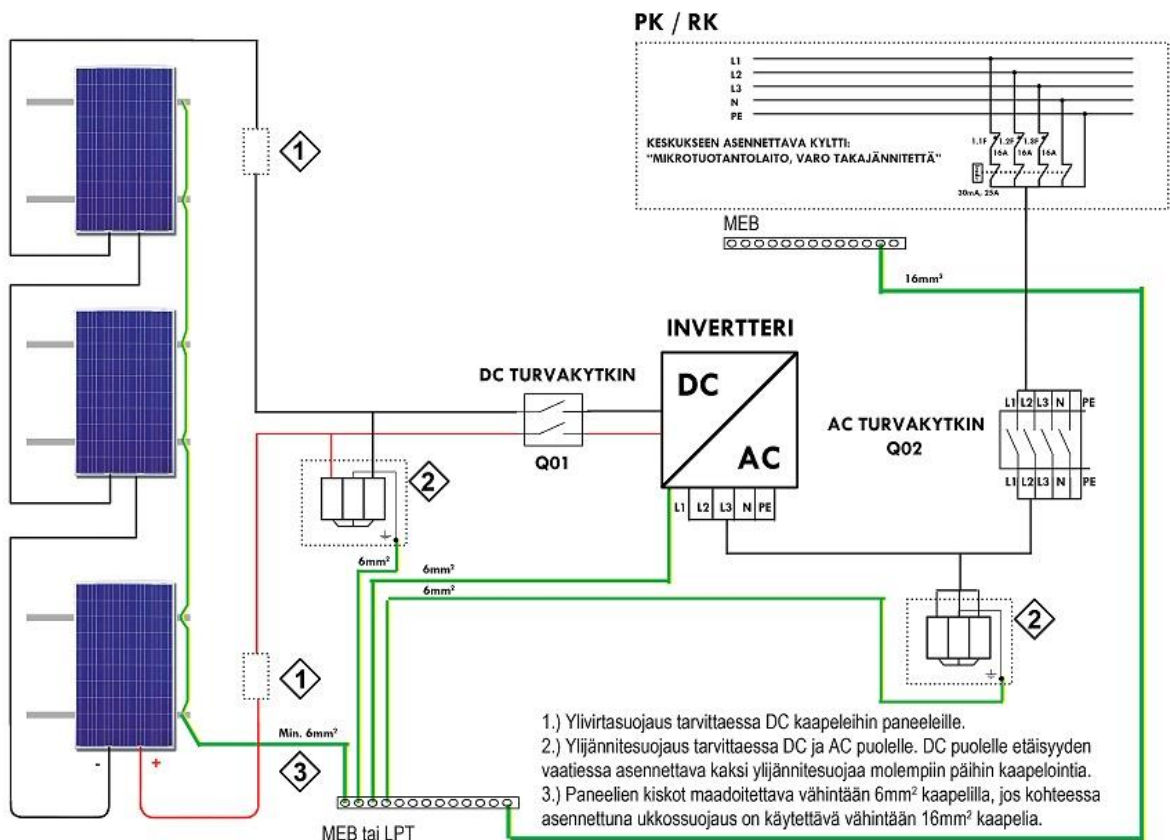
Kuva 3 Kokonaissäteily määrä Suomessa optimaalisella kulmalla. (Photovoltaic geographical information system, 2019)



3 Aurinkovoimala ja siihen kuuluvat osat

Aurinkoenergiaa kerätään aurinkopaneeleilla, jotka tuottavat tasavirtaista sähköä. Tasavirtainen sähkö siirretään invertterille, joka muuttaa tämän sähköverkkoon sopivaksi vaihtovirraksi. Vaihtovirtaistāsähköä voidaan hyödyntää esimerkiksi kiinteistössä, jolloin voidaan säästää sähkökustannuksissa ja tuotettua sähköä voidaan myös myydä sähköverkkoon. Aurinkovoimalan hyvänä puolena on sen päästöttömyys ja uusiutuvan energian käyttö. Komponenttien hintojen alenemisen ja parempien hyötysuhteiden takia, aurinkovoimala on taloudellisesti myös kannattava. Kuitenkin aurinkovoimalan heikkoutena on, että se vaatii optimaalisen asennuskohteen. Mikäli kohteessa on paljon varjostavia elementtejä tai paneeleita ei voida asentaa optimaaliseen suuntaan, voimala ei saavuta täyttä potentiaaliaan. Kuvassa 4 on kytkentäkaavio aurinkovoimalasta ja siihen kuuluvista komponenteista.

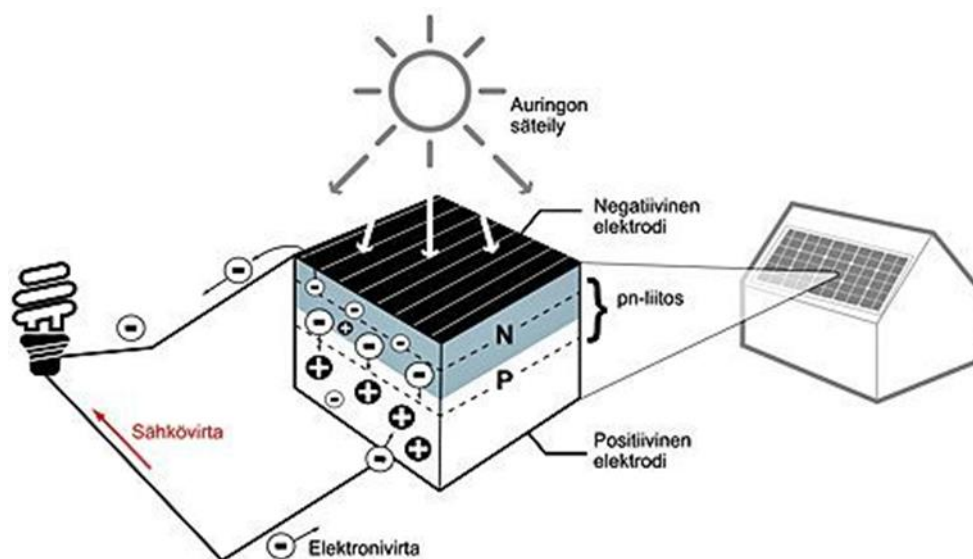
Kuva 4 Esimerkki aurinkovoimalan kuuluvista kytkennöistä. (Avitor, n.d.)



3.1 Aurinkopaneeli

Aurinkokennojen yleisin materiaali on pii (Si). Piitä käytetään kennoissa joko yksi-, monikiteisenä tai amorfisena. Kennot ovat elektronisia puolijohteita ja kun ne ovat auringon säteilyssä, niiden ylä- ja alapinnan välille syntyy jännite. Auringonsäteilyllä on kyky erottaa elektroneja. Tätä ilmiötä kutsutaan valosähköiseksi ilmiöksi. Tällä hetkellä kennot muodostuvat kahdesta erityyppisestä puolijohdemateriaalista P- ja N-tyyppi. N-tyypin puolijohde on alkuaine, jolla on enemmän elektroneita kuin P-tyypin puolijohdeella. Kun nämä asetetaan vierekkäin, N-tyypin puolijohde luovuttaa elektroneitaan, jotka kulkeutuvat P-tyypin puolijohdeelle. N-tyyppiin syntyy positiivinen varaus ja P-tyyppiin negatiivinen. Näin ollen kennon sisälle syntyy sähkövirta, jota auringon säteilyssä tulevat fotonit kiihdyttävät. Kuvassa 5 esitelty kennon toimintaperiaate. (Motiva, 2020-b)

Kuva 5 Aurinkokennon toiminta periaate (Motiva, 2020-b)



Yksittäisen kennon jännite on alhainen, joten kytkemällä tietty määrä kennoja sarjaan saadaan tietty jännitteen taso. Sarjaan kytketyt kennot asennetaan kehikkoon ja se suojataan valoa läpäisevällä materiaalilla. Tämä kokonaisuus on aurinkopaneeli. (Motiva, 2020-b, ks. Energiäteollisuus, n.d)

Paneelien nimellisteho ilmoitetaan piikkiwatteina, joka on paneelin nimellisteho laboratorioolosuhteissa. Nämä olosuhteet ovat 25 °C ja paneelille tuleva säteily määrä 1000 W/m².

Mikäli siis nämä olosuhteet täyttyvät luonnossa paneeli toimii nimellistehollaan. Tämä voi kuitenkin hetkittäin ylittyä, mikäli säteilyn määrä kasvaa. (Motiva, 2020-d)

Paneelien tuottoon vaikuttaa siis lämpötila. Korkeammassa lämpötiloissa paneelien virta kasvaa ja jännite laskee. Tämä aiheuttaa, että paneelien tehon tuotto heikkenee. Lämpötilan laskiessa alle 25 °C paneelien tehon tuotto paranee. Suomessa lämpötilat harvemmin nousevat yli tämän, joten Suomen ilmasto on hyvin optimaalinen paneelien toiminnalle. (Ala-Myllymäki, 2016, s. 36–37)

Hyötysuhde määritellään paneeleille jakamalla nimellisteho sen pinta-alalla ja standardilla säteilymäärällä, joka on 1000 W/m². Esimerkkinä 200 Wp paneeli, jonka pinta-ala on 1,5 m² hyötysuhde on noin 13 %. Paneelien tuottoon myös vaikuttavat paneelien suuntaus ja puhtaanapito. Paneelien elinikä voi olla jopa 30 vuotta. Yleisesti paneelien tehotuottotakuu on 25 vuotta. Tavallisesti takuulla varmistetaan, että paneelit toimivat ensimmäiset 10 vuotta vähintään 90 prosenttisesti valmistajan ilmoittamasta nimellistehosta ja 25 vuotta vähintään 80 prosenttisesti. (Motiva, 2020-d)

3.2 Invertteri

Aurinkopaneelit tuottavat tasavirtaista sähköä, mutta jos tätä sähköä halutaan hyödyntää kiinteistössä, tarvitsee muuttaa tämä vaihtovirraksi. Invertteri eli vaihtosuuntaaja on laite, jolla muunnetaan tasavirtainen sähkö vaihtovirtaiseksi. Verkkoinvertteri mahdollistaa aurinkopaneelien tuottaman sähköä kiinteistön käyttöön ja ylijäämän sähköä myymisen verkkoon. Ominaisuuksiltaan invertterin on oltava turvallinen ja parannettava olemassa olevan sähköverkon toimintaa sähköä muuntaessa. Tavoitteena on, että invertteri tuottaa hyvälaatuista siniaaltoista verkkovirtaa mahdollisimman pienin häviön. (Aurinkovirta, 2021)

Aurinkovoimaloissa käytettävissä inverttereissä on MPPT (Maximum Power Point Tracker) eli maksimitehopisteen jäljitys. MPPT mahdollistaa aurinkosähköjärjestelmän suurimman tuottopotentialin. MPPT säättää aurinkosähköjärjestelmän ulostulojännitteen maksimitehopisteeseen, jolloin järjestelmän tuottaa sähköä mahdollisimman suurella hyötysuhteella. (Motiva, 2020-e)

3.3 Telineet

Riippuen siitä mihin aurinkovoimala asennetaan, pitää valita sopivat telineet asennukselle. Katolle asentaessa pitää huomioida katon materiaalit ja mikä on katon kallistuskulma. Tasakatolle asentaessa yleisimmät asennustavat ovat eteläasennus ja itä-länsiasennus. Eteläasennuksessa paneelit osoittavat yhteen suunaan ja itä-länsiasennuksessa paneelit asettuvat vierekkäin niin, että vierekkäiset paneelit osoittavat vastakkaisiin suuntiin. Kuvassa 6 on esimerkki itä-länsiasenteisesta aurinkovoimalasta.

Kuva 6 Esimerkki itä-länsiasennuksesta. (Tervo, 2020)



Mikäli katon kallistus kasvaa yli viiden asteen tarvitaan vinokattotelineet. Yleisimmät vinokattotelineet perustuvat siihen, että itse telinettä ei kiinnitetä kattoon vaan jalustat, jonka päälle asennetaan kisko, johon paneelit kiinnittyvät. Kuvassa 7 on esimerkki vinokatolle asennetusta aurinkovoimalasta.

Kuva 7 Esimerkki vinokatto asennuksesta.



Voimala voidaan myös asentaa maahan. Asennustavat eivät eroa kattoasennuksista, mutta telineet voivat erota paljonkin. Ero telineissä tulee siitä, että telineet voidaan upottaa maahan. Myöskään katon kantokyky ei ole esteenä, joten paneeleita voidaan myös asentaa, kahteen tai useampaan riviin päällekkäin. Kuvassa 8 on esimerkki maahan asennetusta eteläasennuksesta.

Kuva 8 Esimerkki maahan asennetusta voimalasta.



3.4 Virran optimoija

Yleisesti aurinkopaneelit kytketään ketjuun eli stringiin. Haittana tässä on, jos yksi ketjun paneeleista jää enemmän varjoon tai esimerkiksi vioittuu, se heikentää koko ketjun tuottoa. Tähän ongelmaan on ratkaisuna virran optimoija. Virran optimoija kytketään joko yksittäiseen paneeliin tai paneeli pariin ja virran optimoijat ketjutetaan. Tämä tekee paneelista tai paneeli parista oman tuotantoyksikön. Virran optimoija säätelee paneelien tuotot optimaaliselle tasolle, jolloin jokainen paneeli toimii omalla maksimialueella. Tämä mahdollistaa voimalan parhaan tehontuoton. Virran optimoijat myös tekevät aurinkovoimalasta älykkään. Virran optimoijat mahdollistavat jokaisen yksittäisen paneelin tuotannon monitoroinnin, kun taas ilman optimoijia on mahdollista vain seurata kokonaisen ketjun tuottoa. Vikatilanteissa virran optimoijat ajavat alas vioittuneet komponentit ja ohittavat ne, jolloin ne eivät vaikuta muun voimalan tuotantoon. Nämä ominaisuudet myös helpottavat voimalan kunnossapitoa, sillä on helpompi selvittää missä vika on syntynyt ja näin vian korjaaminen on myös helpompaa sekä tehokkaampaa. (Lehmuskoski, 2020)

4 Suunnitteluohjelmien vaatimukset

Tässä työssä vertaillaan suunnitteluohjelmia seuraavilla saroilla: ohjelmien ominaisuuksia, käytettävyyttä, simulointien tuloksia ja ohjelmistojen hintoja.

Ominaisuuksia käsiteltäessä huomioidaan, mitä ohjelmalla on mahdollista tehdä.

Vähimmäisvaatimuksena ohjelmilla on, että sillä pystytään tuottamaan visuaalinen kuva suunniteltavasta voimalasta, voidaan käyttää kuvaa kohteesta mihin voimala suunnitellaan ja voidaan valita komponentteja, joita halutaan käyttää. Komponentti valintoihin kuuluvat aurinkopaneelit, invertterit ja virran optimoijat. Muuten ominaisuuksista voidaan sanoa, mitä enemmän sen parempi. Jos ohjelmalla voidaan tehdä kokonaisvaltainen suunnitelma, johon kuuluvat mm. yksipistekaavio, ”stringisuunnitelma” ja telineiden asennussuunnitelma olisi eduksi.

Monessa aurinkovoimaloita tuottavassa yrityksessä suunnitteluohjelmia eivät käytä pelkästään insinöörit. Käyttäjiä voi olla laidasta laitaan ja monesti myös myyntitiimi käyttää näitä ohjelmia. Tällöin suunnitteluohjelman tulee olla käytettävyydeltään sellainen, että kokemattomampikin käyttäjä pystyy työskentelemään ohjelmalla. Myös käytettävyyden helppous auttaa myös varsinaisia suunnittelijoita, mutta on kuitenkin huomioitava, että ohjelmassa on silti tarvittavat ominaisuudet.

Simuloinnin tulokset esitellään työssä myöhemmin. Todellisuudessa niitä tulisi verrata todellisiin tuloksiin, mutta tässä työssä vertaillaan ohjelmien tuloksia keskenään. Hinta vertailussa verrataan ohjelman tarjoamia hyötyjä suhteessa niiden hintaan.

5 Ohjelmat

Tässä luvussa esitellään tämä työn vertailussa olleet ohjelmat. Ohjelmat esitellään ja kerrotaan kuvaamalla niiden perusominaisuuksia. Lisäksi jokaisesta ohjelmasta on nostettu esille niiden etuja ja heikkouksia. Tähän työhön valikoituivat PVSyst, PVSol Premium, Aerotool, SolarEdge Designer, PVCAD ja HelioScope.

5.1 PVSyst

PVSystin perustajina ovat André Mermound ja Michel Villos. Mermoundilla on koulutus hiukkasfysiikasta ja myöhemmin hän on jatkanut koulutustaan aurinkoenergian parissa. Villos on valmistunut sähköinsinööriksi ja työskennellyt aurinkoenergian kehityksen parissa. PVSystin kehityksen aloitti Mermound vuonna 1992, johon hän suunnitteli sekä työkalun varjostuksiin että työkalun aurinkovoimaloiden simulointiin. Tänä päivänä PVSyst on hyvin tekninen tuote ja se tuottaa yhden tarkimmista simuloinneista. (Siliken n.d.)

Ohjelman ulkoasu on hyvin pelkistetty ja ruudulla ei ole mitään ylimääräistä. Voimalan suunnittelu alkaa hakemalla kartastosta paikka, mihin voimala suunnitellaan. Ohjelma käyttää Meteormin sää tiedostoja, josta saadaan auringon korkeudet kuukausittain.

Itse suunnitteluun tulee ensiksi valita voimalan suuntaus ja minkälaista asennustapaa käytetään. Voidaan valita kuinka moneen suuntaan paneelit tullaan asentamaan ja

käytetäänkö mahdollisesti auringon seurausjärjestelmää. Tämän valinnan jälkeen asetetaan kulma mihin paneelit suunnataan. Puutteena on, että ohjelmalla ei pysty valitsemaan olemassa olevien telineitä vaan valitaan vain minkä asennustavan telineitä käytetään.

Komponenttien valikoima on suuri ohjelman sisäisessä tuotetiedostoista. Paneeleita voidaan valita eri tuottajilta ja heidän tuotevalikoimistaan, sama koskee inverttereitä. Ohjelmassa pystyy lisäämään virran optimoijat suunnitelmaan. Ohjelma tuottaa automaattiset stringit, joita voi muokata halutessaan. Suunnitelmaan voi lisätä myös akuston.

Puutteena ohjelmassa on, että sen oma 3D mallinnus on kömpelö ja vaikea käyttöinen. Tätä puutetta korvaava ominaisuus on se, että ohjelmassa pystyy käyttämään muiden ohjelmien 3D mallinnettuja kuvia. Tämä on hyvä ominaisuus, jos kuva on piirretty ohjelmalla, jossa ei ole varjostus simulointia. PVSyst pystyy simuloimaan varjostukset. PVSystin varjostus simulaatio on erittäin hyvä ja antaa hyvin todenmukaisen simulaation auringon liikkeistä ja voimalaan vaikuttavista varjoista.

Ohjelmalla simulaatio tuottaa eri tilastoja ja taulukoita. Näihin kuuluvat tuottoennuste, voimalan toimintakerroin, voimalassa tapahtuvat häviöt ja paljon muuta tarvittavaa tietoa. Näitä tietoja voidaan lisätä ohjelman tuottamaan raporttiin. Raporttiin voidaan valita ne mitä tietoja halutaan näyttää. Kokonaisuutena ohjelmasta saa käyttöön kaiken mitä aurinkovoimalasta halutaan tietää.

Alla olevasta taulukosta nähdään ohjelman etuja ja heikkouksia. Etuna ohjelmassa ovat sen yhteensopivuus muiden ohjelmien kanssa, mahdollisuus suunnitella voimaloita erilaisilla telineratkaisuilla, raporttiin saadaan sisällytettyä paljon dataa, ohjelmiston aktiivinen päivitys ja varjostussimulointi.

Heikkoutena ohjelmassa on sen hankala käytettävyys ja sen visuaalisen suunnittelun hankaluus. Ohjelma ei siis ole kovin käyttäjäystävällinen kokemattomalle käyttäjälle.

Taulukko 1 PVSyst edut ja heikkoudet.

Edut	Heikkoudet
Yhteensopivuus muiden ohjelmien kanssa	Käytettävyydeltään hankala kokemattomille käyttäjille
Mahdollisuus suunnitella voimala erilaisilla teline ratkaisuilla.	Visuaalinen suunnittelu hankala
Paljon dataa, jota voidaan hyödyntää raportissa	
Ohjelmiston aktiivinen päivitys	
Varjostussimulointi	

5.2 PVSol Premium

PVSol premiumin tuottaa Valentin software. Valentin software on perustettu 1988 Saksassa ja vuonna 1998 julkaisut ensimmäisen version PVSol ohjelmasta. Yritys toimii Euroopassa, Aasiassa ja Etelä -Amerikassa. (Valentin software, n.d)

PVSol on suunnitteluohjelma, jolla pystyy suorittamaan hyvin kokonaisvaltaisen aurinkovoimalan suunnittelun. Ohjelmasta on tarjolla kaksi versiota, PVSol ja PVSol premium. Ohjelmat eroavat siten, että premium versiossa on 3D mallinnus.

Ohjelmalla saa mallinnettua esimerkiksi rakennuksen, jolle voimala suunnitellaan. Mallintamaan pystyy myös ympäristössä olevia mahdollisesti varjostavia tekijöitä.

Esimerkiksi, mikäli asennettavalla katolla on korkeuseroja, katolla olevia varjostavia esteitä, lähellä olevia muita korkeita rakennuksia tai mahdollisesti myös korkeita luonnonesteitä, ne voidaan piirtää kuvaan.

PVSol:ssa on suuri valikoima eri aurinkopaneelien tuottajien tuotteita. Valikoimaa täydennetään usein päivitysten yhteydessä. Paneeleita pystyy piirtämään useampaan eri suuntaan ja myös useampia rivejä päällekkäin.

Aurinkopaneelien piirtäminen kuvaan on helppoa ja paneeleita piirtäessä ohjelma näyttää montako riviä olet piirtämässä ja kuinka monta paneelia yhdellä piirtokerralla piirretään. Jo piirrettyjen rivien muokkaaminen on yksinkertaista. Valitaan rivit, joihin halutaan joko poistaa tai lisätä paneeleita.

Invertterin valinta onnistuu yhtä helposti, kuin paneelien valinta. Valinnanvaraa on paljon ohjelman tiedostoissa. Virran optimoijat voi lisätä suunnitelmaan ja niiden lisääminen onnistuu helposti. Heikkous ohjelmassa on inverttereiden konfiguraatiossa, sillä tiettyjen inverttereiden kanssa ohjelma ei tee sitä automaattisesti. Stringisuunnitelman ohjelma tekee automaattisesti ja sitä on mahdollisuus muokata. Käsien muokkaaminen taas on kömpelöä, koska jokaista komponenttia joutuu siirtämään yksi kerrallaan.

Katon suunnitellun jälkeen PVSol:la saa tuotettua hyvän yksipistekaavion. Kaavion tekeminen on tehty hyvin yksinkertaiseksi ja siihen on helppo lisätä tarvittavia komponentteja. Lisäksi voidaan suunnitelmaan lisätä kohteen sähkönkulutus raportti.

PVSol:illa saadaan tuotettua kokonaisvaltainen raportti. Raporttiin saadaan näkymään kuva voimalasta, josta näkee miltä voimala tulee näyttämään. Voidaan valita myös muita tietoja, mitä halutaan lisätä raporttiin. Näihin kuuluvat mm: yksipistekaaviot, tuottoennuste, voimalan kulut ja mitä komponentteja käytetään.

Alla olevassa taulukossa nähdään ohjelman etuja ja heikkouksia. Etuna ohjelmassa on sen hyvä visuaalinen suunnittelu, yksipistekaavion helppo tekeminen ja raportin monipuolisuus.

Heikkoutena ohjelmassa on stringien piirron kömpelyys ja että tiettyjen komponenttien kanssa työskentely on hankalaa. Muuten ohjelma on hyvä ja sillä saadaan tuotettua hyvä voimalansuunnitelma.

Taulukko 2 PVSol Premium Edut ja heikkoudet.

Edut	Heikkoudet
Hyvä visuaalinen suunnittelu	Stringien piirtäminen kömpelöä
Helppo yksipistekaavion tekeminen	Tiettyjen komponenttien käyttö hankalaa
Monipuolinen raportti	

5.3 Aerotool

Aerocompact on aurinkovoimaloiden telineiden tuottaja. Yritys on perustettu 2014 ja perustajana on Mathias Muther. Aerocompact tuottaa myös nettiselaimessa toimivaa suunnittelu ohjelmaa Aerotoolia, joka soveltuu Aerocompactin telineiden kanssa työskentelyyn. (Aerocompact, n.d)

Aerotool on suunnitteluohjelma, jolla voidaan tehdä aurinkovoimalan suunnitelma, jos käytetään Aerocompactin telineitä. Aerocompact tuottaa telineitä sekä kattoasennuksiin että maa-asennuksia varten. Aerotool soveltuu siis monien erilaisten voimaloiden suunnitteluun. Myös tiettyjä Aerocompactin telineitä asennetaan niin, että telineitä ei kiinnitetä kattoon vaan niiden päälle asetetaan painoa, jonka avulla voimala pysyy paikoillaan.

Suunnittelu aloitetaan syöttämällä asennettavan kohteen osoite. Ohjelma käyttää Googlen kartastoja, joten käytännössä kaikki kohteet löytyvät. Voidaan käyttää myös Googlen

satelliittikuvia, jota voidaan hyödyntää suunnittelun pohjana. Mikäli kuvaa kohteesta ei löydy Googlesta, on myös mahdollista käyttää muuta kuvaa, esimerkiksi katon pohjapiirustusta. Pohjakuvasta voidaan tuottaa 3D kuva kohteesta. Kuvaan voidaan myös piirtää kappaleita tai esteitä. Tämä helpottaa myöhemmin paneeleita piirtäessä. Piirron yhteydessä asetetaan myös, lumi- ja tuulikuormat ja valitaan mitä telineitä tullaan käyttämään.

Aurinkopaneelien piirto kuvaan on yksinkertaista. Ensiksi valitaan, mitä paneeleita halutaan käyttää. Ohjelmassa on suuri valikoima eri paneeleita, joidenka koot löytyvät tuotetatasta. Piirtäminen kuvaan onnistuu joko yksittäisten paneelien asettamisella tai voi valita isomman alueen johon ohjelma piirtää sen verran paneeleita mitä valitulle alueelle mahtuu. Kuvan muokkaaminen on myös helppoa. Voidaan siirtää joko yksittäisiä paneeleita tai isompia paneeli määriä. Myös piirtotyökaluista löytyy ohjausviivat, joidenka avulla saadaan paneelirivit samalle tasolle.

Paneelien asettelun jälkeen Aerotool tuottaa CAD kuvan. Tästä kuvasta saa selkeän näkymän voimalasta ja paneelien sijainneista. Tämän lisäksi ohjelma laskee tarvittavan painon, jota voimalaan tarvitaan. Tähän laskuun ohjelma käyttää laskennallista tuulikuormaa, joka määritellään aiemmin suunnittelun vaiheessa.

Aerotoolilla pystytään myös tuottamaan stringisuunnitelma. Valitaan mitä invertteritä halutaan käyttää. Valinnan jälkeen voi valita teettäväkö ohjelma automaattisesti johdotukset vai haluaako ne tehdä käsin. Lisäksi ohjelmassa voidaan valita, käytetäänkö virran optimoijia vai ei.

Ohjelmasta saatava raportti on hyvin kokonaisvaltainen. Raporttiin saadaan näkyviin hyvät tiedot kohteesta mihin voimala ollaan asentamassa. Raporttiin saadaan myös selitykset ja tekniset tiedot niistä telineistä, joita ollaan käyttämässä, sekä tekniset tiedot paneeleista, joita tullaan käyttämään. Saadaan myös näkyviin kuvat voimalasta, josta näkee miltä voimala tulisi näyttämään ja lisäksi CAD kuvan, johon on lisätty tarvittavat painot, jota voimala tarvitsee ja missä niiden sijainnit ovat. Lisäksi ohjelma tuottaa komponenttilistan, johon ohjelma laskee kaikki tarvittavat komponentit, mitä tämä voimalan suunnitelma vaatii.

Alla olevasta taulukosta nähdään ohjelman edut ja heikkoudet. Etuna ohjelmassa on sen yhteen sopivuus Aerocompactin tuotteiden kanssa. Ohjelman monipuolisuuteen nähden ohjelma on kuitenkin helppokäyttöinen, ohjelmasta saadaan hyvä komponenttilista ja ohjelma laskee tarvittavan lisäpainon, jotta voimala pysyy paikallaan.

Heikkoutena ohjelmassa on vain sen yhteensopivuus Aerocompactin tuotteiden kanssa ja stringisuunnitelman tuottaminen on hieman kömpelöä. Kaikki ohjelman edut tulevat esille vain silloin, kun työskennellään Aerocompactin tuotteiden kanssa.

Taulukko 3 Aerotool edut ja heikkoudet

Edut	Heikkoudet
Aerocompactin tuotteiden kanssa hyvä	Soveltuu vain Aerocompactin tuotteiden kanssa
Monipuolisuuteen nähden helppokäyttöinen	Stringisuunnitelman teko hieman kömpelö
Komponenttilistat	
Ohjelma laskee tarvittavan painon, jotta voimala pysyy paikallaan.	

5.4 SolarEdge Designer

SolarEdge on älykkäiden aurinkovoimaloiden tuotteiden tuottaja. Yritys on perustettu vuonna 2006 ja SolarEdge tuottaa inverttereitä, virran optimoijia ja aurinkovoimalan monitorointiin käyviä sovelluksia. Lisäksi SolarEdgeltä löytyy aurinkovoimaloiden suunnitteluun soveltuva SolarEdge Designer. Designer toimii internetselaimessa. (List.solar - a, 2021)

SolarEdgen designerilla saadaan tuotettua kokonaisvaltainen ja hyvin visuaalinen suunnitelma aurinkovoimalasta. Kuva paikasta, johon voimala suunnitellaan, saadaan Google Mapsin satelliittikuvista. Mikäli kohde ei ole vielä löydettävissä Googlen kartastosta, voidaan käyttää myös muuta kuvaa, joka kuvaa kohdetta.

Pohjakuvan valinnan jälkeen, voidaan kuvaan piirtää esimerkiksi rakennus 3D:nä. Piirtäminen on tehty helpoksi, tarvitsee piirtää vain rakennuksen ääriviivat. Rakennuksen korkeuden pystyy määrittelemään ja katon kallistuksia on mahdollista muuttaa. Lisäksi kuvaan voidaan piirtää katolla olevia mahdollisia varjostavia esteitä tai ympärillä olevia varjostusta tekeviä elementtejä esimerkiksi ympärillä olevia rakennuksia.

Aurinkopaneelien valinta on tehty helpoksi. Valitaan minkä tuottajan paneeleita halutaan käyttää. Asennustyylien valikoimasta löytyy vinokatto asennus, yhteen suuntaan suunnattu tai kahteen suuntaan suunnattu. Lisäksi voidaan määrittää paneelien asennuskulma ja asettaa halutut rivivälit.

Paneelien piirto kuvaan on tehty helpoksi. Valitaan alue, johon paneeleita ollaan asettamassa ja ohjelma näyttää kuinka monta paneelia ollaan piirtämässä. Piirrettyjen paneelien muokkaaminen onnistuu yksinkertaisesti. Paneeleita pystyy poistamaan yksittäin tai riveittäin.

Designerissa on ominaisuus, joka automaattisesti piirtää stringisuunnitelman. Suunnitelman muokkaaminen on helppoa ja sillä on mahdollista muokata stringien pituuksia. Stringit on mahdollista piirtää myös käsin. Käsin piirtäminen on yksinkertaista, mutta koska ohjelma toimii verkkoselaimessa, tästä johtuen piirtämisessä voi esiintyä hankaluuksia.

Ohjelmasta saatava raportti on selkeä ja helposti luettava. Raporttiin saadaan näkymä suunnitelmasta, josta saa visuaalisen kuvan voimalasta. Näkyviin saa myös simuloinnin tulokset, tuottoennusteen, komponenttilistan, stringisuunnitelman ja taulukon voimalan häviöistä.

Alla olevassa taulukossa on listattu ohjelman edut ja heikkoudet. Etuna ohjelmassa on, kun työskennellään SolarEdgen tuotteiden kanssa, ohjelma on helppokäyttöinen ja ohjelmasta saatava raportti on hyvin selkeä.

Heikkoutena ohjelmassa on, että siinä on mahdollista vain käyttää SolarEdgen omia inverttereitä ja virran optimoijia. Ohjelmalla ei voi tehdä yksipistekaaviota ja ohjelmassa ei voi valita mitä telineitä käytetään. Muuten ohjelma on helppokäyttöinen ja sillä saa tuotettua hyvän suunnitelman voimalasta.

Taulukko 4 SolarEdge Designer edut ja heikkoudet.

Edut	Heikkoudet
SolarEdgen omien tuotteiden kanssa toimiminen	Invertterit ja virran optimoijat voidaan valita vain SolarEdgeltä
Helppokäyttöinen	Ei yksipistekaaviota
Selkeä raportti	Telineiden suunnittelun puute

5.5 PVCAD

PVCAD on PVCompleten tuottama suunnittelu ohjelma. PVComplite on perustettu vuonna 2015 ja PVCADin ensimmäinen versio on julkaistu vuonna 2017. PVComplite on yhdysvaltalainen yritys, jolla on myös toimintaa Euroopassa. PVComplete tuottaa aurinkovoimaloiden suunnitteluun tarvittavia ohjelmistoja. PVCADin lisäksi he tuottavat ohjelman PVCAD Mega, joka on suunnattu suurempien voimaloiden suunnitteluun. (List.solar, 2021-b)

PVCAD on AutoCAD ohjelmistoon perustuva, aurinkovoimaloiden suunnittelu ohjelma. Ohjelmalla pystytään toteuttamaan kokonaisvaltainen aurinkovoimalan suunnittelu. Koska ohjelma pohjautuu AutoCADiin pystytään käyttämään sen ominaisuuksia. Erona tavalliseen AutoCAD ohjelmaan, PVCADissä on aurinkovoimalan suunnitteluun tarvittavia työkaluja.

Kohde johon voimala suunnitellaan, voidaan hakea ohjelmalla. PVCAD käyttää Googlen kartastoja. Kartastosta voidaan käyttää kuvaa kohteesta ja voidaan myös käyttää ulkoista kuvaa esimerkiksi katon pohjapiirustusta. Suunnittelun alussa voidaan myös määrittää kohteen odotetut tuulikuormat sekä lumikuormat.

Asennettavan alueen piirtäminen toteutetaan AutoCADin piirtotyökaluilla. Jos kohde on katto, sille voidaan määrittellä korkeus ja kaltevuus. Lisäksi voidaan määrittellä poikkipuiden etäisyydet ja katon reunojen korkeudet. Maa-asennuksissa voidaan myös määrittää maanmuodot, jos kohde on esimerkiksi mäessä.

Ohjelmalla on myös mahdollista määrittellä mitä johtoja halutaan käyttää. Voidaan määrittää, minkälaisia johtoja käytetään järjestelmässä ja mitä johtoja käytetään, kun järjestelmä kytketään verkkoon.

PVCADillä on mahdollista valita käytettävät telineet. Teline tyyppin voi joko itse luoda, mutta ohjelmasta löytyy myös eri tuottajien telineitä, joiden ominaisuudet löytyvät ohjelmasta. Aurinkopaneelien valinta onnistuu ohjelman laajasta valikoimasta. Valikoimaa riittää eri aurinkopaneelien tuottajilta.

Paneelien piirtämiseen ohjelma käyttää, sekä valitun paneelin tietoja, että valitun telineen tietoja. Piirtäessä voidaan valita paneelien suunta ja voidaan sijoittaa ne haluttuun paikkaan kuvassa. Sijoittaessa paneeleita ohjelma näyttää piirrettävien paneelien määrän, joten siitä on mahdollista nähdä montako paneelia, ollaan piirtämässä. Paneelien määrää pystyy muokkaamaan helposti. Yksittäisiä paneeleita pystyy poistamaan tai siirtämään tarvittaessa.

Invertteri voidaan valita ohjelman tiedostoista, jossa on laaja valikoima eri vaihtoehtoja. Invertterit voidaan lisätä kuvaan. Kuvaan voidaan myös lisätä, mitkä stringit kuuluvat millekin invertterille. Stringit on mahdollista piirtää joko automaattisesti tai käsin. Lisäksi kuvaan voidaan lisätä muita komponentteja esimerkiksi liitäntärasia. Ohjelman puutteena on se, ettei suunnitelmaan voi lisätä virran optimoijia. Tämä puute on ainakin kokeiluversiossa.

Ohjelma laskee piirretyt paneelit, arvion tuotosta sekä kuinka ison alueen voimala vaatii. Raportit ohjelmasta saadaan Excel tiedostoina. Näihin ohjelma laskee kuukausittaisen tuottoarvion sekä arvion päivittäisistä tuotoista. Myöskin ohjelma tuottaa yksipistekaaviosta Excel tiedoston. Tähän tiedostoon sisältyy kaikki suunnitelmaan liittyvät tiedot.

Alla olevasta taulukosta nähdään ohjelman etuja ja heikkouksia. Etuna ohjelmassa on, sen pohjautuminen AutoCADIin, koska tällöin saadaan käyttöön AutoCADin ominaisuuksia. Lisäksi etuna ohjelmassa on, että sillä saadaan tuotettua hyvin kokonaisvaltainen kuvaus järjestelmästä.

Ohjelman heikkoutena on sen vaikea käyttöisyys kokemattomalle käyttäjälle, stringien piirron kömpelyys ja ainakin kokeiluversiossa ei voi käyttää virran optimoijia. Muuten ohjelma on hyvä ja monipuolinen aurinkovoimalan suunnitteluun.

Taulukko 5 PVCAD Edut ja heikkoudet.

Edut	Heikkoudet
AutoCAD työkalujen käyttö	Vaikea käyttöinen kokemattomille
Kokonaisvalainen järjestelmän kuvaus raporttiin	Sringien piirto hankala
	Virran optimoijien käytön puute (ainakin kokeiluversiossa)

5.6 HelioScope

HelioScope on verkkoselaimessa toimiva aurinkovoimaloiden suunnitteluohjelma, jonka tuottaa Folsom Lab. Helioscope on julkaistu vuonna 2019 ja tavoitteena oli tuottaa suunnitteluohjelma, joka olisi helppo käyttöinen. (List solar, 2021-c)

HelioScope toimii verkkoselaimessa. Ohjelman ulkoasu on selkeä ja sillä on helppo aloittaa työskentely. Kohde voidaan valita ohjelmalla, joka käyttää Google kartastoja. Puutteena ohjelmassa on, ettei voi käyttää ulkoista kuvaa esimerkiksi katon pohjapiirrustusta. Positiivista on mahdollisuus tehdä useita versioita samasta kohteesta, joten ei tarvitse vain muokata vain yhtä kuvaa.

Varsinainen suunnittelun aloittaminen alkaa piirtämällä ääriviivat kuvaan, johon paneeleita tullaan asentamaan ja valitsemalla mihin suunaan paneelit asennetaan. HelioScope eroaa sen verran muista suunnitteluohjelmista, joissa paneeleita asetetaan sinne mihin halutaan,

siten että kuvaan piirretään alue mihin paneeleita ei haluta. Kuvaan voidaan piirtää isompia alueita joihin paneeleita ei haluta. Voidaan myös piirtää varjostavia esteitä, joihin voidaan asettaa esteen korkeus ja alue, kuinka kauas esteestä paneelit asetetaan. Tämä on ohjelman vahvuuksia, sillä esteitä lisätessä ohjelma näyttää millaisen varjostuksen este tuottaa.

Ohjelmassa on suuri komponentti valikoima. Paneeleita löytyy suurelta määrältä eri tuottajilta, kuten myös inverttereitä ja virran optimoijia. Telineitä ei voi valita, mutta asennustyylin voi valita ja käsin voidaan asettaa rivivälit ja paneelien asennuskulma.

Stringisuunnitelman ohjelma tekee automaattisesti. Pitää vain valita mitä invertteriä käytetään ja lisätään virran optimoijat, jos niitä halutaan käyttää. Tässä on kuitenkin puutteena, se ettei stringisuunnitelmaa itse pysty muokkaamaan. Lisäksi ohjelmalla pystyy päättämään mitä johtoja järjestelmässä tullaan käyttämään ja näillä tiedoilla ohjelma laskee mahdollisia häviöitä.

Kuten edellä mainittu, ohjelman vahvuutena on sen varjostussimulointi. Ohjelma huomioi kuvaan piirretyt esteet ja lisäksi ohjelma huomioi, jos paneelit varjostavat toisiaan. Varjostussimulaation jälkeen voidaan helposti poistaa paneeleita, jotka jäävät enemmän varjoon.

Kun varsinainen suunnitelma on valmis, ohjelmalla voidaan tuottaa 3D kuva, jota voidaan katsella esimerkiksi AutoCADilla. Saadaan yksipistekaavio, josta näkee suunnitelman kytkentöjä.

Ohjelman tuottama raportti on visuaalisesti miellyttävä ja erittäin selkeä. Raporttiin saadaan näkymään järjestelmän yleistiedot, voimalan sijainti, mikä on järjestelmän piikkiteho ja arviot tuotoista. Yleistietojen lisäksi raporttiin sisältyy tuotto- ja häviöennustetaulukko.

Alla olevasta taulukosta nähdään ohjelma etuja ja heikkouksia. Etuna ohjelmassa on sen helppokäyttöisyys, hyvä varjostussimulaatio, mahdollisuus käyttää 3D kuvaa ohjelman ulkopuolella ja ohjelmasta saatava raportti on selkeä.

Heikkoutena ohjelmassa on, ettei stringisuunnitelmaa voi muokata käsin, ulkopuolista kuvaa ei voi käyttää ohjelmassa ja yksittäisten paneelien siirtely on hankalaa. Muuten ohjelma on hyvä ja helppokäyttöinen, joka sopii myös kokemattomammalle suunnittelijalle.

Taulukko 6 HelioScopen Edut ja heikkoudet.

Edut	Heikkoudet
Helppokäyttöinen	Stringejä ei voi muokata
Hyvä varjostussimulaatio	Ulkopuolisen kuvan käytön puute
3D kuvan käyttö ohjelman ulkopuolella	Paneelien määrän säätely hankalaa
Selkeä rapotti	

6 Vertailu

Tässä luvussa vertaillaan suunnitteluohjelmia toisiinsa. Vertailu on jaettu käytettävyyteen, ohjelmien ominaisuuksiin, simuloinnin tulosten ja hintojen vertailuun.

6.1 Käytettävyys

Käytettävyydeltään ohjelmat voidaan jakaa kolmeen eri luokkaan. Näitä voidaan kuvata sanoilla, helposti opittava, tekninen ja erittäin tekninen. Ohjelmien jako on nähtävissä taulukossa 7.

Taulukko 7 Ohjelmien jako käytettävyyden mukaan.

Helposti opittava	Tekninen	Erittäin tekninen
SolarEdge Designer	PVSol	PVSyst
HelioScope	Aerotool	PVCAD

SolarEdge designer ja HelioScope ovat kuvauksen mukaisesti helposti opittavia. Voimalan suunnitelman pystyy tuottamaan helposti eikä tarvitse tietää muuta, kuin mihin voimala suunnitellaan ja mitä komponentteja käytetään. Tästä eteenpäin ohjelman käyttö on vaivatonta ja ohjelmat tekevät paljo asioita automaattisesti.

Tekniset ohjelmat eli PVSol ja Aerotool ovat helppokäyttöisiä, mutta vaativat käyttäjältä enemmän tietoa ja kokemusta. Ohjelmat ohjaavat hyvin käyttäjää, mutta ne eivät ole niin yksinkertaisia, kuin aiemmin mainitut SolarEdge ja Helioscope.

Erittäin tekniset ohjelmat PVSyst ja PVCAD ovat taas ohjelmia, joiden käyttöön tarvitaan kokenut suunnittelija. Ohjelmat eivät ole kuitenkaan erityisen vaikeakäyttöisiä, mutta jos näistä halutaan kaikki hyödyt, tulee käyttäjällä olla tietoa ja taitoa aurinkovoimaloiden suunnittelusta.

6.2 Ominaisuudet

Ohjelmien ominaisuuksia on esitelty jo jokaisen ohjelman yhteydessä, joten tässä luvussa huomioidaan vain niiden eroja. Jokaisella ohjelmalla pystyy tuottamaan visuaalisen kuvan suunniteltavasta voimalasta. Heikoin näistä on PVSyst, jonka oma visuaalinen suunnittelu on heikko. Kuitenkin se hyvänä puolena on mahdollisuus käyttää muiden ohjelmien tuottamia kuvia ja sen varjostussimulointi on parempi kuin muilla ohjelmilla.

Komponenttien valinta on laaja jokaisella ohjelmalla. Aurinkopaneeleja ja inverttereitä voidaan valita laajasta valikoimasta. Virran optimoijien valinta taas vaihtelee ohjelmien välillä. PVCADilla (ainakaan kokeiluversiossa) ei ole mahdollista käyttää virranoptimoijia. SolarEdgen Designerilla on vain mahdollista käyttää vain SolarEdgen omia inverttereitä ja virran optimoijia.

Telineiden suunnittelussa esiintyy enemmän eroja ohjelmien välillä. Jokaisella ohjelmalla voi muokata rivivälejä, paneelien asennuskulmia ja asennustapoja. PVCADilla voi valita eri toimittajien valmiita tietoja heidän telineistään. Aerotool hyödyt korostuva telineiden suunnittelussa niin kauan kuin käytetään Aerocompactin omia tuotteita. Tämä on myös Aerotoolin heikkous, koska sillä voidaan suunnitella voimaloita vain, jos käytetään heidän omia tuotteitaan.

Jokaisella ohjelmalla voi tehdä stringisuunnitelman. Kaikista ohjelmista löytyy automaattinen stringien piirto, mutta HelioScopella tätä automaattista piirtoa ei voi muokata. Muissa ohjelmissa muokkaaminen onnistuu ja suunnitelma on mahdollista tehdä käsin.

Huomioitavaa on, että muokkaaminen ja käsin piirtäminen on hankalaa PVSolilla, PVCADilla ja PVSystillä.

Yksipistekaaviota ei löydy PVSystistä, SolarEdgen Designeristä eikä Aerotoolista. Muuten ohjelmilla ei ole juurikaan eroja toisiinsa nähden kuin käytettävyyden kannalta. Jokaisen ohjelman tuottamaa raporttia voidaan muokata ja laittaa niihin näkyville ne tiedot, joita halutaan näyttää. PVCAD eroaa muista vain sen verran, että sen raportit ja muut käytettävät tiedot esitellään Excel tiedostoina.

Kuitenkin huomioitavaa SolarEdgessä, Aerotoolissa ja HelioScopessa on niiden toiminen verkkoselaimessa. Tässä on hyvää ja huonoa. Hyvää on se, että tämä mahdollistaa työskentelyn kohteessa, jossa ei ole esimerkiksi omaa tietokonetta mukana vaan voidaan käyttää toistakin tietokonetta, jolla on yhteys internettiin. Lisäksi ohjelmissa on mahdollisuus jakaa suunnitelmia organisaation sisällä, niin että muutkin työntekijät pystyvät muokkaamaan suunnitelmaa tarvittaessa. Huonoa tässä on näiden kokoaikainen internetin tarve. Mikäli internetyhteys on heikko, työskentely on erittäin hankalaa.

6.3 Simuloinnin tulokset

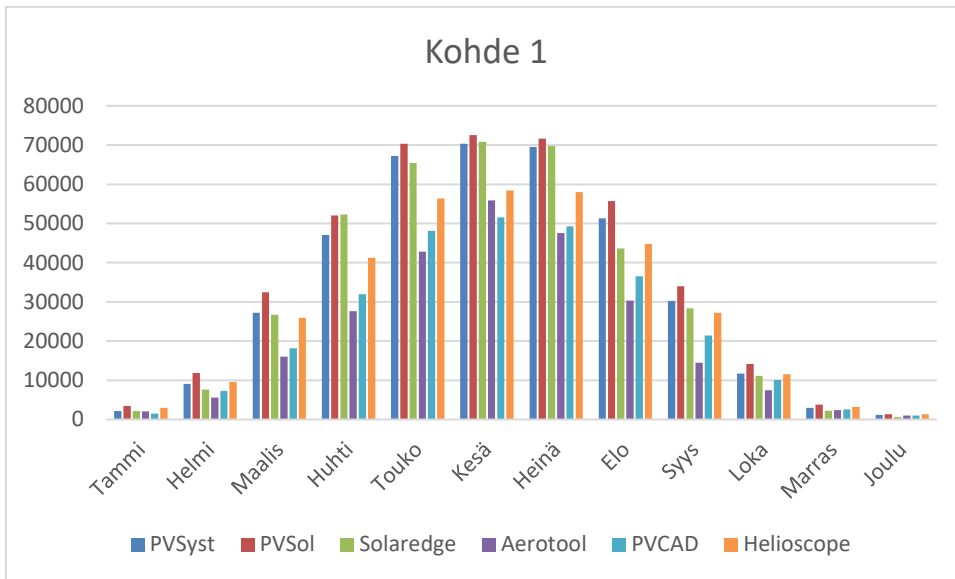
Tässä työssä ohjelmilla tehtiin kaksi esimerkki kohdetta, joiden tulokset näkyvät alla olevissa taulukoissa. Kohde 1 on 500.2 kWp itä-länsiasennus, johon sisältyy 1220 kpl 410 W paneelia. Kohde kaksi on taas maahan sijoitettu 192.7 kWp eteläasennus, johon sisältyy 470 kpl 410 W paneelia.

Tuloksia vertaillen keskitytään kesäkuukausiin eli touko-elokuuhun. Tämä siitä syystä, että talvisin lumen takia voimaloiden tuotto voi olla jopa mitätön, jos paneelit jäävät lumen peittoon. Myöskin syksyisin ja keväisin aurinkoisten päivien määrä voi vaihdella paljonkin. Ohjelmat myös käyttävät eri säätietoja, joten eroavuudet voivat syntyä tästä syystä.

Taulukoissa 8 ja 9 on esitelty simuloinnin tulokset. Tulokset ovat ohjelmien antamat arviot kuinka paljon kilowattitunteja suunnitellut ohjelmat tuottavat. Tulokset näkyvät myös liitteessä 1.

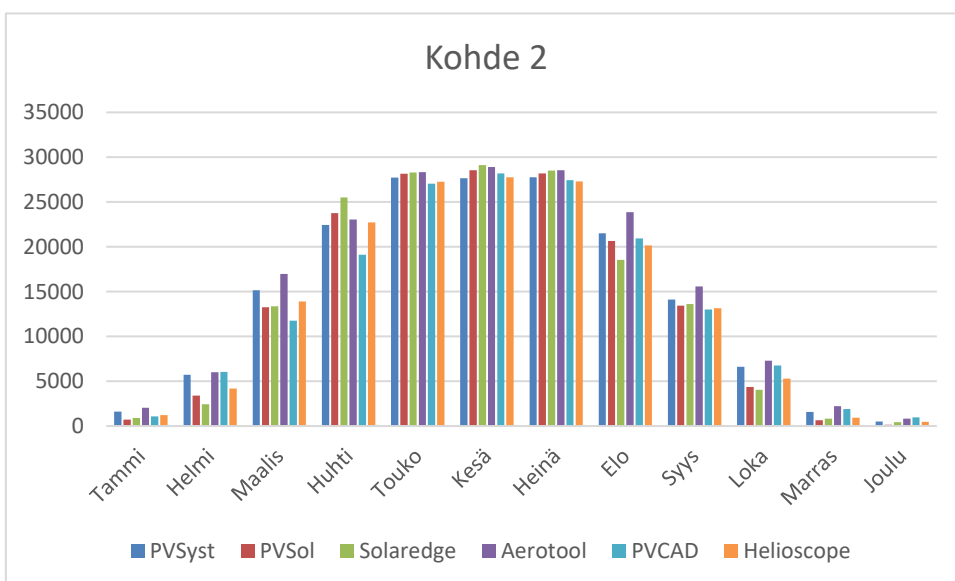
Kohteen 1 tuloksia verrattaessa huomataan eroa eri ohjelmien tuloksissa. PVSyst PVSol ja Solaredge designer ja tulokset ovat lähes identtiset. Muiden ohjelmien tulokset vaihtelevat huomattavasti. Tästä voidaan päätellä, että Aerotool PVCAD ja HelioScope eivät simuloi itä-länsiasennusta kovinkaan hyvin verraten PVSystiin, PVSoliin ja SolarEdgen designeriin. Tulokset voidaan nähdä taulukosta 8. Tulokset eroavat toisistaan jopa 20 000 kWh.

Taulukko 8 Kohde 1 simuloinnin tulokset.



Kohteen 2 simuloinneissa huomataan, että tuloksissa on huomattavasti vähemmän eroavaisuuksia kuin kohteen 1 simuloinneissa. Kesäkuukausina tulokset ovat lähes identtiset ja eroavaisuuksia on vain kuukausina, jolloin säteilyn määrä voi heitellä paljonkin. Tästä voidaan päätellä, kun eteläasennusta suunnitellaan, ei ole väliä mitä ohjelmaa käytetään. Kohteen tulokset voidaan nähdä taulukosta 9.

Taulukko 9 Kohde 2 simuloinnin tulokset.



6.4 Hintavertailu

Alla olevasta taulukosta 10 nähdään ohjelmien lisenssien hinta vuodessa. Näistä erottuvat SolarEdgen designer ja Aerotool, jotka saadaan käyttöön, jos heidän omia tuotteitaan halutaan käyttää. Tässä on myös ohjelmien heikkous, koska ohjelmilla ei voi käyttää muiden tuottajien tuotteita.

PVSyst on edullinen muihin ohjelmiin nähden. Kuitenkin, jos ohjelmaa käyttää, tarvitaan toinen ohjelma sen rinnalle käyttöön varsinkin telineitä suunniteltaessa. Toinen huomio PVSystistä on sen oman visuaalisen kuvauksen heikkous. Ohjelmasta löytyy piirto mahdollisuus, mutta se on erittäin keho verrattuna muihin ohjelmiin nähden. Kuitenkin huomioitavaa on PVSystin, epäilemättä paras varjostussimulointi mahdollisuus. Tämä voi olla ratkaiseva tekijä suunnitteluohjelmaa valittaessa.

Muuten ohjelmat ovat hintaluokaltaan hyvin samanlaisia. HelioScope on edullisin, mutta sen käyttöominaisuudet ovat heikommat kuin PVCADin ja PVSolin. PVCADin ja PVSolin hintaa tarkasteltaessa, PVSolissa korostuu käyttäjävälisyys, kun taas PVCADissa saadaan käyttöön AutoCAD ominaisuuksia, ja tässä johtopäätöksenä PVCADin korkeampi hinta tarjoaa enemmän mahdollisuuksia. Molemmat PVSol ja PVCAD tarvitsevat rinnalle toisen ohjelman, jolla suunnitellaan telineiden kiinnitys ja siihen liittyvät laskelmat. Tämä huomioiden hinnat ovat molemmissa ohjelmissa suhteellisen korkeat.

Taulukko 10 Hintavertailu.

Ohjelma	PVSyst	PVSol	SolarEdge	Aerotool	PVCAD	HelioScope
€ vuodessa	547	1295	Tuotteita käyttäessä saa lisenssin käyttöön	Tuotteita käyttäessä lisenssit saa käyttöön. Lisälisenssit noin 200 € vuodessa	1500	950

7 Yhteenveto

Opinnäytetyötä tehdessä korostui, ettei eri ohjelmilla ole suuria eroja verrattuna toisiinsa. Eroavaisuuksiakin löytyi, mutta kuitenkin jokaisella ohjelmalla pystyy tuottamaan kattavan suunnitelman aurinkovoimalasta.

Käytettävyydeltään ohjelmat erottuvat vain siinä, että toiset ovat helpompia oppia ja toisten oppimiseen oli käytettävä enemmän aikaa. Kaikki ohjelmat ovat opittavissa ilman pidempää koulutusta ja ohjelmien käyttö helpottuu paljon, kun niiden käytössä harjaantuu. Jokaisesta ohjelmasta löytyy opetusmateriaaleja internetistä, joko ohjelmien tuottajilta tai ulkopuolisilta tuottajilta.

Ominaisuuksia vertaillessa eroja syntyykin, mutta ne eivät ole suuria. Eniten ohjelmien ominaisuuksia erottelee yksipistekaavion tuottaminen tai sen puute. Kuitenkin tätä opinnäytetyötä tehdessä huomasin, että mikään ohjelma ei ole ominaisuuksiltaan niin hyvä, että se pärjäisi yksinään. Jokainen ohjelma tarvitsee vähintään toisen ohjelman rinnalleen, vähintään telineiden suunnittelua varten. Ainoa poikkeus on Aerotool, jossa on sekä telineiden suunnittelu että niiden kiinnityksen suunnittelu. Kuitenkin Aerotoolilla on mahdollista käyttää vain Aerocompactin tuotteita ja tällöin jos käytössä on muidenkin tuottajien telineitä, tarvitaan toinenkin ohjelma tämän rinnalle.

Ohjelmista saatavat raportit ovat pääsääntöisesti selkeät, joita voidaan esittää joko asiakkaalle tai työntekijöille. Ainoat poikkeukset ovat vain PVSyst ja PVCAD joidenka raportit ovat paljon teknisemmät ja niiden tulkinta vaativat enemmän tietämystä.

Simulointi vertailussa eroja syntyi vain itä-länsiasennuksessa. Toiset ohjelmat antoivat suuremmat simuloinnin tulokset ja eroja syntyi jopa 20 000 kWh. Eteläasennuksessa eroja syntyi niin vähän, että tulokset olivat kesäkuukausina lähes identtiset.

Hinnoissa erottuivat Aerotool ja SolarEdgen Designer. Niiden lisenssit saadaan käyttöön ilmaiseksi, jos käytetään heidän tuotteitaan. Muuten PVSyst on edullisin ja muiden ohjelmien hinnan välillä on muutama sata euroa vuodessa.

Loppupäätelmänä voidaan sanoa, että niin kauan, kun käytössä on SolarEdgen tai Aerocompactin omat tuotteet, näiden tuottamat ohjelmat Designer ja Aerotool ovat selkeä valinta. Näiden ohjelmien yhteensopivuus, työskenneltäessä niiden omien tuotteiden kanssa, ohjelmien edut korostuvat. PVSyst on oiva valinta toisen suunnittelu ohjelman rinnalle sen hyvän varjostussimulaation ja teknisen suunnittelun takia. HelioScope on helppo ja selkeä käyttöinen suunnitteluohjelma, jolla saadaan tuotettua hyvä suunnitelma ja sopii hyvin myös käytettäväksi myyntitiimille. PVSol ja PVCAD ovat hyviä ohjelmia, joilla saadaan tuotettua erittäin kokonaisvaltainen suunnitelma aurinkovoimalasta.

Tätä aihetta olisi voinut laajentaa siten, että ohjelmilla suunnitellut esimerkkikohteet oikeasti rakennettaisiin ja seurattaisiin, kuinka hyvin kohteet todellisuudessa tuottaisivat energiaa. Tästä saataisiin tulos, mikä ohjelmista vastaa todenmukaisuutta parhaiten. Kuitenkin tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tuottaa tietoa eri aurinkovoimaloiden suunnitteluohjelmista, ja mielestäni sain tuotettua hyvän kokonaisuuden eri ohjelmista.

Lähteet

Aerocompact. (n.d.). *Company*. Haettu 1.2.2021 osoitteesta

<https://www.aerocompact.com/eu/company/>

Ala-myllymäki, E. (2016). *Aurinkodemo*. https://www.merinova.fi/wp-content/uploads/2016/09/aurinkodemo_loppuraportti.pdf

Aurinkovirta. (n.d.). *Invertteri*. Haettu 20.3.2021 osoitteesta

<https://www.aurinkovirta.fi/aurinkosahko/aurinkovoimala/invertteri/>

Avitor. (n.d.). *AurinkovoimalankytKentäkaavio* [kuva]. Haettu 15.3.2021 osoitteesta

<https://www.avitor.fi/aurinkosahko.html>

Energiateollisuus. (n.d.). *Aurinkosähkö*. Haettu 27.2.2021 osoitteesta

<https://energia.fi/energiasta/energiantuotanto/sahkontuotanto/aurinkovoima>

European Commission. (2019). *Photovoltaic geographical information system* [kartta].

Haettu 3.3.2021 osoitteesta https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_download/map_index.html#!

Ilmatieteenlaitos. (n.d.) *Auringon rakenne ja elinkaari*. Haettu 28.2.2021 osoitteesta

<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/rakenne-ja-elinkaari>

Lampila, J. (2016). *Auringon potentiaali*. Haettu 1.2.2021 osoitteesta

<https://www.energiatalous.fi/?p=305>

Lehmuskoski, A. (2020). *Mikä on aurinkovoimalan virran optimoija*.

<https://www.solnet.group/fi/blogi/mik%C3%A4-on-virran-optimoija>

List.solar. (15.3.2021-a). *Solaredge Designer review*. Haettu 20.3.2021 osoitteesta

<https://list.solar/news/solaredge-review/>

List.solar. (24.3.2021-b). *PVCAD review*. Haettu 27.3.2021 osoitteesta

<https://list.solar/news/pvcad/>

List.solar. (24.2.2021-c). *Helioscope review*. Haettu 1.3.2021 osoitteesta

<https://list.solar/news/helioscope-review/>

Motiva. (2020-a). *Auringonsäteilyn määrä Suomessa*. Haettu 18.3.2021 osoitteesta

https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa

Motiva. (2020-b). *Aurinkosähköteknologiat*. Haettu 19.3.2021 osoitteesta

https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat

Motiva. (2020-c). *Aurinkolämmön passiivinen hyödyntäminen*. Haettu 19.3.2021 osoitteesta

https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolammon_passiivinen_hyodyntaminen

Motiva (2020-d). *Aurinkojärjestelmän teho*. Haettu 18.3.2021 osoitteesta

https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/aurinkosahkojarjestelman_teho

Motiva. (2020-e). *Verkkoon kytkemätön aurinkojärjestelmä*. Haettu 20.3.2021 osoitteesta

https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/tarvittava_laitteisto/verkkoon_kytkeaton_aurinkosahkojarjestelma

Siliken. (n.d.). *PVSyst review*. Haettu 1.2.2021 osoitteesta <https://siliken.com/pvsyst-review/>

Tervo, J. (11.5.2020). *Monialayrittäjä luottaa aurinkovoimaan*. [kuva]

<https://www.fingridlehti.fi/monialayrittaja-luottaa-aurinkovoimaan/>

Valentin Software. (n.d.). *About us*. Haettu 2.2.2021 osoitteesta [https://valentin-](https://valentin-software.com/en/company/about-us/)

[software.com/en/company/about-us/](https://valentin-software.com/en/company/about-us/)

Liite 1: Simulointien tulokset

Kohde 1						
Ohjelma	PVSyst	PVSol	Solaredge	Aerotool	PVCAD	Helioscope
Tammi	2190	3428	2155	2052,96	1508,843	2976,6
Helmi	9060	11870	7629	5613,32	7302,601	9617,7
Maalis	27260	32449	26727	16022,87	18168,34	25908,5
Huhti	47092	52066	52288	27631,87	31934,12	41230,9
Touko	67190	70350	65444	42827,72	48101,46	56362,6
Kesä	70310	72537	70795	55861,46	51586,87	58443,2
Heinä	69480	71648	69764	47525,75	49306,34	58012,9
Elo	51290	55714	43601	30318,99	36564,75	44777,9
Syys	30220	33994	28404	14491,93	21404,67	27251,1
Loka	11710	14162	11169	7432,3	10074,14	11550,6
Marras	2980	3759,2	2253	2407,12	2601,443	3218,3
Joulu	1140	1364,6	592	1016,87	1055,865	1377
kWh yhteensä	389922	423341,8	380821	253203,2	279609,4	340727,3

Kohde 2						
Ohjelma	PVSyst	PVSol	Solaredge	Aerotool	PVCAD	Helioscope
Tammi	1620	715,72	905,82	2045,6	1090,873	1205,1
Helmi	5720	3408,5	2440	6010,33	6051,102	4170,5
Maalis	15160	13241	13370	16953,98	11744,31	13912,1
Huhti	22420	23762	25520	23035,73	19107,53	22724,5
Touko	27720	28134	28310	28330,74	27032,36	27240,9
Kesä	27640	28530	29120	28914,12	28195,59	27740,9
Heinä	27740	28169	28500	28555,12	27417,79	27281,4
Elo	21500	20654	18530	23849,97	20930,18	20133,2
Syys	14110	13444	13610	15577,93	12989,72	13159,7
Loka	6620	4375,3	4050	7297,1	6748,274	5290,5
Marras	1580	631,99	809,69	2211,55	1882,321	928
Joulu	490	131,66	429,48	809,25	957,8831	454,8
kWh yhteensä	172320	165197,2	165595	183591,4	164147,9	164241,6