

Opinnäytetyö (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

2020

Roope Lindholm

AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN MAA-ASENNUS

– Projektin läpivienti

Roope Lindholm

AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN MAA-ASENNUS

-Projektin läpivienti

Aurinkoenergialla on valtava potentiaali koko maailmassa. Tätä potentiaalia ollaan vasta todella ymmärtämässä minkä johdosta aurinkosähköjärjestelmien kysyntä alkaa kasvamaan. Toteutan tämän työn Solnet Finland Oy:lle, joka on merkittävä toimija aurinkosähköjärjestelmien toimittajana Suomessa. Yrityksellä on vahva kokemus kattoasenteisista aurinkosähköjärjestelmistä. Yrityksen tavoitteena on laajentaa toimintaa enemmän myös maa-asenteisiin järjestelmiin.

Työni lähtökohta oli saada lisää tietoa maa-asenteisistä aurinkosähköjärjestelmistä. Tarkoitus oli saada kokoon paketti, jossa maa-asenteisen aurinkosähköjärjestelmän projektin vaiheet käydään läpi. Työ keskittyy maa-asenteisten aurinkosähköjärjestelmien erilaisiin paalutusvaihtoehtoihin. Tarkoitus oli selvittää mikä on kustannustehokkain ja paras paalutus menetelmä kuhunkin maaperätyyppiin. Työssä selvitetään myös tarvittavia toimenpiteitä ennen asennuksen aloittamista sekä asennuksen aikana huomioitavia asioita. Mukana on myös yhden maa-asenteisen aurinkosähköjärjestelmän paalutuksen läpivienti ja selitys.

Työn lähteenä on käytetty maa-asenteisiin aurinkovoimaloihin liittyviä artikkeleita ja nettikirjoituksia. Toteutusosan aineistossa on käytetty kentällä opittua tietoa aiheesta ja perehtymällä aiheesta löytyviin nettiaineistoihin. Vahvistusta löydettiin artikkeleihin saatiin haastattelusta, jossa haastateltavana oli melkein kaksikymmentä vuotta maa-asenteisten aurinkovoimaloiden kanssa työskennellyt asiantuntija.

Työn tuloksena on kokonaisuus, joka käsittää maa-asenteisen aurinkosähköjärjestelmän projektin läpiviennin sekä muut projektissa huomioitavat asiat. Työstä selviää mikä paalutusmenetelmä on järkevin käyttää tietyille maaperätyypille. Tämän lisäksi ennen projektia tarvittavat toimenpiteet tulevat myös työstä selville. Työn pohjalta saa käsityksen maa-asenteisen aurinkosähköjärjestelmän asennuksen läpiviemisestä.

ASIASANAT:

Aurinkosähkö, Maa-asenteinen, Projekti, Paalutus

BACHELOR'S / MASTER'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Energy- and environmental Technology

2020 | 51 pages, 1 appendix page

Roope Lindholm

PHOTOVOLTAIC PLANT GROUND MOUNT INSTALLATION

-Project implementation

Solar energy has a great potential in the world. This potential has been now realized and as a result the demand for photovoltaic systems is starting to grow. I am doing the work for Solnet Finland oy company that is a big factor in intelligent photovoltaic industry in Finland. Company has a strong knowledge in rooftop solarsystems. Companys intention is to expand operation in the ground mount solarsystems as well.

Starting point for the work was to get more information about ground mounted photovoltaic systems. The intention of the work was to gather a package that goes through the different phases of ground mounted photovoltaic system. The main focus of the work is on different piling options for ground mounted photovoltaic systems. The goal was to find out what piling method is the most cost-effective and allround best piling option for every soil type. The work also explains the necessary measures before starting the installation and also the issues to be considered during the installation. One section of the work goes through one already installed ground mount photovoltaic system and explains different steps of the installation.

The work has been done using different articles related to photovoltaic industry especially concerning ground mounted systems. Materials that are used in the implementation part are gathered from the articles concerning the topic. Some of the information is learned in the field through the hands on work. Confirmation for the already gathered information was obtained of an interview with an expert who has worked with ground mounted solar systems for almost twenty years.

The result of the work is a whole that gives an idea of the implementation of the ground mounted photovoltaic system and also things that should take in to account during the project. The work reveals which piling method is most suitable for the particular soil type. In addition to these the work also consists necessary measures before starting the installation on site. Based on this work reader should have a good idea what are the different steps on the ground mounted solarsystem installation project. Reader should also have an opinion what measures should be done in which stage of the project.

KEYWORDS:

Photovoltaics, Ground-mounted, Project, Pile-driving,

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO	6
1 JOHDANTO	7
2 TEORIA	8
2.1 Projektin valmistelu	9
2.2 Telineet	9
2.3 Kaapelointi	11
2.4 Paalutusmenetelmät	15
2.5 Maalajit Suomessa	16
2.6 Maaperätutkimukset	18
2.7 Lainsäädäntö, luvat ja kaavoitukset	22
3 TOTEUTUS	23
3.1 Paalutusmenetelmät käytännössä	23
3.1.1 Lyöntipaalu	23
3.1.2 Ruuvipaalu	24
3.1.3 Betonipaalu	27
3.1.4 Ankkurikiinnitys	28
3.2 Oripään aurinkosähköjärjestelmä	30
3.3 Huolto ja kunnossapito	37
3.4 Tuotannon optimointi	38
3.5 Dokumentaatio ja luovutus	40
4 JOHTOPÄÄTÖKSET	42
4.1 Toteutus ja paalutusmenetelmän valinta	42
POHDINTA	47
LÄHTEET	49

LIITTEET

- Liite 1. Maaperätutkimus
Liite 2. Maaperätutkimus-läpileikkaus

KUVAT

Kuva 1 Aerocompact g20 maa-asennusteline	10
Kuva 2 Schletterin yksijalkainen ja kaksijalkainen teline	11
Kuva 3 Maanpäälliset AC-kaapeloinnin kannakkeet	14
Kuva 4 Paalutus menetelmiä	16
Kuva 5 Suomen maalajit	17
Kuva 6 Resistiivisyys mittaus	19
Kuva 7 Erilaisia maaruveja	25
Kuva 8 Ankkurikiinnitys	29
Kuva 9 Paalutuksen merkkikepit	31
Kuva 10 Paalujen välille pingotettu linja lanka	32
Kuva 11 Vaaituskone	32
Kuva 12 Kaivinkone ja paalutus lisäosa	33
Kuva 13 Paalutuskoneen ja paalun välissä oleva välikappale	34
Kuva 14 Asennettu paalurivi	35
Kuva 15 Lyöntipaaluun kiinnitetty telineen runkopalkki	36
Kuva 16 Orima BEETA DOUBLE maa-asennustelineen osat	37
Kuva 17 Solaredge virranoptimoija	38

TAULUKOT

Taulukko 1 Paalutusmenetelmien hyvät ja huonot puolet	45
---	----

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

DC	Tasavirta
AC	Vaihtovirta
mm	Millimetri
kWp	Kilowattpeak – Kilowatti yksiköllä merkitty järjestelmän antama maksimi huipputeho

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Solnet Finland Oy. Yritys on suomen johtava älykkäiden aurinkosähköjärjestelmien toimittaja. Yrityksen toiminta painottuu tällä hetkellä katolle asennettaviin järjestelmiin. Järjestelmissä pääpaino on suuremman kokoluokan tasakatoille asennettavissa voimaloissa, mutta myös pienemmän kokoluokan asennuksia tehdään. Vinokatoille tehtävät asennukset ovat yleistyneet yrityksen tarjonnassa viime vuoden aikana. Yrityksen tarkoitus on laajentaa tarjontaa myös maa-asenteisiin aurinkosähköjärjestelmiin. Tämän opinnäytetyön tarkoitus on antaa lisätietoa maa-asenteisista järjestelmistä ja luoda pohja tuleville asennuksille.

Maa-asenteisissa aurinkosähköjärjestelmissä käytetään samoja paneeleita kuin katto asenteisissa järjestelmissä. Tämän vuoksi työssä ei juurikaan keskitytä paneelien asennukseen liittyviin asioihin. Maa-asenteisissa järjestelmissä tulee huomioida monia näkökulmia, mitä katolle asennettavissa järjestelmissä ei tarvitse huomioida. Varsinkin Suomessa maa-asenteiset järjestelmät ovat harvinaisempia kuin katoille asennettavat järjestelmät. Tämän vuoksi maa-asenteisista järjestelmistä on ylipäättään rajallisesti tietoa saatavilla varsinkin suomen kielellä.

Tällä hetkellä Suomessa suurin osa aurinkosähköjärjestelmistä tehdään keskikokoisille ja suurehkoille yrityksille. Yritykset usein sijaitsevat kaupunkien ydinkeskustoissa, joissa ei ole ylimääräisiä vapaana olevia maa-alueita. Useimmat suuret yritykset keskittyvät pääkaupunkiseudulle, jossa maa-alueet ovat vielä harvinaisempia. Mikäli maa-alueita olisikin vapaana, on niiden käytölle todennäköisesti suunniteltu jotain muuta ja vaikka alueiden käyttöä ei vielä olisi suunniteltu, on niille varmasti muuta käyttöä kuin aurinkovoimalan asennus. Varsinkin kaupunkien keskusta-alueet usein varataan uusien asuinrakennuksien rakentamiseen. Tämä on todennäköisin vaihtoehto varsinkin suuremmissa kaupungeissa, joihin muuttoliikenne kasvaa. Näistä pääkaupunkiseutu on alueena selvästi isoin ja vetovoimaisin. Hieman syrjemmässä sijaitsevat yritysten toimitilat sisältävät

usein hyvin rajallisesti tontti tilaa. Mikäli vapaata tontti pinta-alaa löytyy vain vähän, se ei usein riitä järkevän kokoisen voimalan rakentamiseen. Siinä tilanteessa voidaan hyödyntää sekä katto että maa-alue, jotta voidaan maksimoida järjestelmän koko. Riittävällä tontti pinta-alalla maa-asenteinen voimala on yksinäänkin varsin järkevä ratkaisu. Monelle yritykselle tulee suuri hyöty aurinkovoimalan asennuksen myötä muuttuneen imagon takia eikä pelkästään pienentyneen sähkölaskun. Maa-asenteinen voimala näkyy hyvin ohi kulkeville ihmisille ja herättää mielenkiinnon. Katolle asennettu voimala on katolla piilossa eikä sitä niinkään näe ulospäin. Tällöin yritykset usein muuten ilmoittavat näkyvästi käyttävänsä aurinkoenergiaa, koska voimala itsessään ei näy.

Työssä on tarkoitus käydä läpi pääpiirteittäin koko maa-asenteisen aurinkosähköjärjestelmän projektin läpivientiä. Toimenpiteet joita tulee tehdä ennen projektin aloittamista sekä toimenpiteet joita tehdään projektin aikana ja sen jälkeen. Työssä projektin läpiviennin lisäksi on pääpainona aurinkosähköjärjestelmien telineiden eri paalutus menetelmät. Työssä selvitetään mikä paalutus menetelmä sopii eri maatyypille ja selvittää myös eri paalutusvaihtoehtojen suuntaa antavat kustannustehokkuudet.

2 TEORIA

2.1 Projektin valmistelu

Kun selvitetään asennuskohteessa olevan maaston sopivuutta on muutama tärkeä vaihe. Sopivan asennusmaaston selvitykseen kuuluu maastokatselmus, kuormatestatukset ja maaperäntutkimus. Maastokatselmuksen ensimmäinen osuus ennen paikanpäällä käyntiä on tutustua mahdollisiin vanhoihin materiaaleihin joita alueesta saattaa olla. Alueella saattaa olla aiemmin jo tehty rakennutöitä ja niistä saattaa olla dokumentteja. Dokumenteista saattaa löytyä tietoja maaperästä ja sen raakenteesta jo aiemmin tehtyjen maaperätutkimuksien muodossa. Aluetta koskevat kaavoitukset ja määräykset on myös syytä selvittää ennen suurempia toimenpiteitä. Tontin rajat ja järjestelmän asettuminen tontille on hyvä katsoa jo ennen paikanpäälle menemistä. Jos kohteen ilmakuvat ovat ajantasalla niistäkin saadaan apua ja tietoa mahdollisista varjoja aiheuttavista tekijöistä ja muista mahdollisista haitta tekijöistä. Hyvä apuväline työmaakartoitukseen on myös Suomen geologia tutkimuskeskuksen sivuilta löytyvät kartat. Karttoissa on tietoa alueella olevasta maaperästä ja mahdollisista jo tehdyistä kaivauksista ja kairauksista.[1;2]

2.2 Telineet

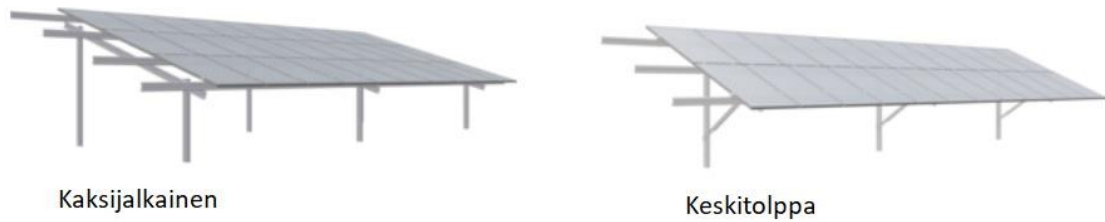
Aurinkosähköjärjestelmien maa-asennustelineet voidaan jakaa paalutettaviin ja ei paalutettaviin telineisiin. Suurin osa telineistä lukeutuu paalutettaviin ratkaisuihin. Ei paalutettavat telineet ovat harvinaisempi, mutta varsinkin pienemmän

kokoluokan voimaloissa varteenotettava ratkaisu. Ei paalutettavista telineistä hyvä esimerkki on telinevalmistaja Aerocompactilla. Aerocompact on tuttu valmistaja toimeksiantajalle. Aerocompact toimittaa toimeksiantajan tasakatoille tulevat telineet. Aerocompactin g20 maa-asennettava teline muistuttaa erittäin paljon heidän katolle asennettavaa telinettä. Suurin ero tulee korkeammilla jaloilla, joiden avulla paneelit saadaan hieman enemmän irti maasta. Telineet voidaan toteuttaa niinkutsutulla kelluvalla menetelmällä, käyttämällä painoja jalkojen päällä. Painoina voidaan käyttää painokiviä, ratapölkkyjä tai melkein mitä vaan. Yleisimmin käytettynä on painokivet, jotka voivat olla vaikka ulkolaattoja. Telineet voidaan myös ruuvata pienillä maaruuveilla maahan, mikäli maaperä siihen soveltuu. Kuvassa yksi näkyy Aerocompactin g20 maa-asennusteline.



Kuva 1 Aerocompact g20 maa-asennusteline

Paalutettavat maa-asennustelineet voidaan karkeasti jakaa yksijalkaisiin ja kaksijalkaisiin telineisiin. Yksijalkaisessa telineessä tolpat ovat yhdessä rivissä. Tämä tolpparivi on suurinpiirtein aurinkopaaneelikehikon keskivaiheella. Kaksijalkaisessa telineratkaisussa jalat ovat kahdessa rivissä. Toinen jalkarivi on aurinkopaaneeli kehikon pohjoispäädystä ja toinen rivi eteläpäädystä. Paikat vaihtelevat telinevalmistajien mukaan. Kuvassa kaksi on telinevalmistaja Schletterin telinevaihtoehdot keskitolpalla tai kahdella jalalla.



Kuva 2 Schletterin yksijalkainen ja kaksijalkainen teline

Lähtökohtaisesti yksijalkaisien telineiden perustuksiin kohdistuu suurempi pystysuuntainen ja vaakasuuntainen kuormitus. Tämä johtuu siitä, että keskitolppaisessa telineessä yhtä tolppaa kohden on keskimäärin suurempi alue paneeleita. Kaksijalkaisessa telineessä sama määrä paneeleita jakautuu kahdelle jalalle, mikä jakaa perustuksiin kohdistuvaa kuormaa. Perustuksesta riippuen erilaiset kuormat ovat haitallisia eri paalutustyypeille. Esimerkiksi ruuvipaaluilla tehdyissä telineiden perustuksissa sivuttais kuormitus on merkittävä ongelma. Ongelmaa voidaan korjata jalkojen väliin asennettavilla sivutuilla, jotka vähentävät vaakasuoraan tulevaa kuormaa maaruuveille ja auttaen niitä paremmin pysymään paikoillaan. [2;3]

2.3 Kaapelointi

Maa-asenteisissa aurinkosähköjärjestelmissä on erilaisia kaapelointi mahdollisuuksia. Kaapelointi muodostuu paneeleissa kiinni olevista paneelikaapeleista, joissa toisessa on urospää(+) ja toisessa kaapelissa naaraspää(-). Paneelit kytketään ketjuun liittämällä yhteen toisen paneelin naarasliitin ja toisen paneelin urosliitin. Tätä kutsutaan myös sarjaan kytkennäksi. Ketjujen koko riippuu voimalan koosta ja siihen tulevasta invertteristä tai inverttereistä. Useiden telinevalmistajien telineissä on hyllyt, joihin kaapelit saa piiloon ja ovat niissä myös hyvin suojassa. Hylly vaihtoehtoja on erilaisia riippuen telineen mallista ja

valmistajasta. Kaikki valmistajat eivät tarjoa lainkaan hylly ratkaisuja. Tällöin täytyy soveltaa ja rakentaa itse reitit kaapeleille.

Kaapelointi on aurinkosähköjärjestelmän herkin osa. Jos kaapelointia ei ole tehty kunnolla voi tulla isojakin ongelmia. Hyvin asennetut ja kiinnitetyt kaapelit ovat huoltovapaampia kuin huonosti kiinnitetyt ja roikkumaan jätetyt kaapelit. Irtonaisesti olevat kaapelit pääsevät liikkumaan joka voi ajan kuluessa aiheuttaa huoltotoimenpiteitä huomattavasti ajateltua nopeammin. Huonosti asennetut kaapelit voivat myös olla turvallisuus riski. Irtonaiset kaapelit ovat huomattavasti alttiimpia tuulelle, lumelle ja vedelle. Myös eläimet löytävät tiensä usein paneelikenttien taakse suojaan. Eläimet kiinnittävät myös herkemmin huomiota irrallaan oleviin roikkuviin kaapeleihin, ja saattavat aiheuttaa niihin tuhoja. Tuulessa ja tuiskeessa kaapelit voivat päästä hinkkaamaan toisiinsa tai johonkin muuhun rakenteeseen, joka aiheuttaa suojakuoren hajoamisen. Tästä voi pahimmassa tapauksessa seurata sähköiskun vaara. Kaapelit tulee kiinnittää paneelin kehikkoon siihen tarkoitetuilla klipsu-kiinnikkeillä tai siihen tarkoitukseen olevilla erityisellä nippusiteillä. Kaapelit eivät saa olla kiinni terävissä reunoissa, eivätkä ne saa muodostaa liian tiukkoja mutkia. Kaapelit eivät myöskään saa olla kiristettynä toisiinsa liian tiukasti. Kaapelien asennuksessa ja kiinnityksessä tulee käyttää maalaisjärkeä. Kaapeloinnin tulee kestää useita vuosia. Tämän vuoksi asennukset tulee tehdä annettujen ohjeiden mukaisesti. Kaapeloinnista ei varsinaisesti ole virallista standardia. Aurinkosähköjärjestelmien kytkentää kuitenkin koskee NEC 110.12, joka koskee työn teknistä toteutusta. NEC 110.12 on kaukana tarkasta määritelmästä. Pykälässä todetaan, että sähkötarvikkeet tulee asentaa siististi ja kuten muut alan toimijat sen tekevät. Ohje on hyvin häilyvä kuitenkin korostaen, että varsinkin sähköön liittyvät työt kuten johtotyöt täytyy tehdä kunnolla.[4]

Paneeliketjut kytketään invertteriin plus ja miinus kaapeleiden avulla. Ketjun toiseen päähän tulee miinuskaapeli ja toiseen päähän pluskaapeli. Ketjujen määrä invertterissä riippuu invertterin koosta. Paneeliketjujen päihin tulevista kaapeleista muodostuu järjestelmän kaapeloinnin toinen isompi kokonaisuus, eli ketjukaapelointi. Ketjukaapelointi on järjestelmäkohtainen. Kaapelointi määräytyy invertterien paikan mukaan. Invertterien ollessa kiinni telineissä jää kaapelointi

todella lyhyeksi, eikä pitkiä kaapelointeja tarvita. Näin kaikki kaapeloinnit asettuvat hyvin telineessä oleviin kaapelihyllyihin. Inverttereiden sijoituksessa on kuitenkin muitakin mahdollisuuksia. Invertterit voidaan asentaa myös lähellä olevaan rakennukseen. Tällöin ketjukaapeloinnista tulee huomattavasti pidempi. Telineiltä voidaan kaivaa kaapelioja rakennuksen seinälle johon kaapelit tiputetaan ja laitetaan maa takaisin päälle. Kaapeleiden alle ja päälle on hyvä asentaa kerrokset hienompaa hiekkaa ja asentaa suojakouru päälle. Tällätavoin välttään maassa olevien kivien ja muiden epätasaisuuksien aiheuttamalta vahingolta. Tällätavoin asennuksesta tulee siisti kaapelien jäädessä piiloon maan alle. Maan alle asentaminen ei kuitenkaan aina ole niin yksinkertaista. Mikäli Pohjatyöt tehdään huonosti ja kaapeliojan pohjalle jää kiviä ja ne voivat aiheuttaa tulevaisuudessa isoja ongelmia. Ajan kuluessa kivet kuluttavat kaapelit rikki ja kaapelit voivat tehdä oikosulun. Kaapeliojat myös usein täytyvät ajanmyötä vedellä. Vesi aiheuttaa myös uuden haittatekijän maassa oleville kaapeleille. Maahan kaivettuihin kaapeleihin ilmaantuessa ongelmia on niiden esiin kaivaminen pahimmillaan todella työlästä. Ongelmia tulee myös jos järjestelmään tulee lisäyksiä ja asennetaan lisää paneeleita. Tämä tarkoittaa, että lisää kaapeleita täytyy vetää telineiden ja invertterin välille. Kaapeliojan joutuu kaivamaan auki, mikä on taas riskitekijä vanhoille jo maassa oleville kaapeleille. Toinen kaivamalla toteutettu ratkaisu on asentaa maahan putket. Riittävän isoon putkeen on helppo asentaa kaapelit käyttäen vetonaruja apuna. Putki suojaa myös kaapeleita jokapuolelta jolloin kaapelit ovat paremmassa suojassa maaperässä olevilta kiviltä ja epätasaisuuksilta. Järjestelmää kasvatettaessa ja lisättäessä paneeleita on myös uusien kaapelien asentaminen helpompaa jo olemassa oleviin putkituksiin eikä kaivamista enää vaadita ainakaan samassa mittakaavassa kuin ilman putkia tehtävässä asennuksessa. Kustannukseltaan näissä vaihtoehtoissa ei ole juurikaan eroja. Kaivinkonetta tarvitaan kuitenkin molemmissa. Putket maksavat jonkin verran enemmän kuin kourutus, mutta ovat suojaavampi ratkaisu.[4]

Välttyäkseen maahankaivamisen vaivalta ja siellä piileviltä ongelmilta on vaihtoehto asentaa kaapelit myös ilmaan. Ilmaan asennettaessa välttään ylimääräisiltä kaivinkone kustannuksilta. Asennusvaiheessa saattaa ilmentyä kuitenkin muita ongelmia. Ilmassa oleva kaapeli on alttiina useammille ulkopuolisille tekijöille.

Kovat myrskyt voivat olla ongelma ilmakaapelin kanssa. Myrsky voi repiä kapelit irti kiinnikkeistä tai kaataa puun kaapelin päälle. Ilmassa oleva kaapeli on muutenkin alttiina vaihtuville luonnonolosuhteille ja muille ulkoisille jo aiemmin mainituille tekijöille. Maanpäälliseen kaapelointiin on kuitenkin keksitty hyviä ratkaisuja. Paksut vaijerit menevät kenttien läpi. Vaijereihin on tiheästi kiinnitetty metallisia koukkuja joihin kaapelit lasketaan kuten kuvassa kolme näkyy. Kaapelit ovat ilmassa, mutta samalla melko hyvin metallikoukkujen välissä suojassa ja tiiviisti paikallaan eikä liikkumista pääse juurikaan tapahtumaan. Tämä sopii varsinkin asennustyyliin jossa invertterit sijoitetaan heti järjestelmän telineisiin kiinni. Tässä tapauksessa AC-puolen kaapeloinnit ovat huomattavasti pidemmät. AC-kaapelointi on myös huomattavasti paksumpaa kuin paneeleilta tulevat DC-kaapeloinnit joten johtokannakkeiden täytyy olla jäykkää tekoa.[4]



Kuva 3 Maanpäälliset AC-kaapeloinnin kannakkeet

Kaapelit voivat olla myös huonosti asennettuna vaarallisia. Isojen aurinkosähköjärjestelmien kaapeleissa saattaa olla useita satoja voltteja jännitettä ja satoja ampeereita virtaa. Turvallisuuden huomiointi lisää huomattavasti motivaatiota tehdä kaapelien asennukset ja kiinnittämiset oikealla tavalla.

Kohteesta riippuen maaperä saattaa asettaa rajoitteita kaapeloinnin suhteen. Jos järjestelmä on asennettu kallioiselle maaperälle, on kaapeli ojan kaivaminen

hyvin hankalaa, jopa mahdotonta. Tällaisessa tapauksessa ilmakaapelointi voi olla ainoa vaihtoehto, mikäli invertteri ei ole telineissä kiinni.

Aurinkosähköjärjestelmissä käytetään tietynlaisia kaapeleita. Paneelien tehosta riippuen, niiden poikkileikkaus voi olla 4mm² tai 6mm². Plus(+) ja miinus(-) kaapelit ovat omat erilliset kaapelinsa, eikä ne mene saman vaipan sisällä. Näin voidaan välttyä mahdollisilta maadoituksilta niiden välillä. [5] Kaapeleiden väreinä käytetään usein selkeästi toisistaan erottuvia värejä, jotta vältytään vääriltä kytkennöiltä. Miinus -johto on yleensä musta tai sininen ja plus -johto on yleensä punainen. Kaapelien johtimen materiaali voi olla alumiinia tai kuparia. Kuparilla on parempi virranjohto kyky ja se onkin useimmin käytetty materiaali. Alumiini on huonompi johtavuudeltaan, mutta on materiaalina halvempi. Aurinkosähköjärjestelmien paneeliketjuihin tulevat ketjukaapelit plus ja miinus ovat aina ulkona, mikä altistaa ne lämmölle, kosteudella ja ultraviolettisäteilylle. Kaapeleissa on hyvät eristykset, jotta nämä ulkoiset tekijät eivät pääse vaurioittamaan kaapelia. Aurinkosähköjärjestelmien DC-kaapeloinnissa käytetään erilaisia merkintöjä eristeissä:

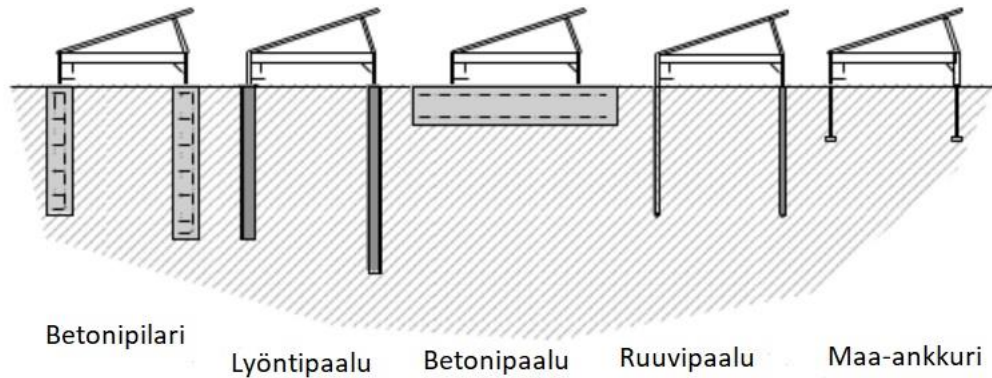
- THHN - Käytetään usein kuivissa tiloissa ja sisällä.
- THW, THWN ja TW – Voidaan käyttää sisällä, tai ulkona kosteassa putken sisällä.
- UF ja USE – Hyvä kosteisiin olosuhteisiin ja asennettavaksi maan alle.

PV-Wire, USE-2 ja RHW-2 – voidaan käyttää ulkona ja kosteissa olosuhteissa, kun ulko eriste on lämmön, kosteuden ja UV-valon kestävä. [5;6;7]

2.4 Paalutusmenetelmät

Maa-asenteisten aurinkosähköjärjestelmien asennuksessa käytetään yleisimmin neljää eri asennustapaa; lyöntipaalu, ruuvipaalu, betonipaalu ja ankkurikiinnitys. Alla olevassa kuvassa kolme on näiden lisäksi myös betonipilari, mutta se on

harvemmin käytetty paalutustapa. Kuvasta neljä on nähtävissä suuntaa antavia eroja eri paalutustavoista sekä niiden painumis ja kaivuu syvyyksistä.



Kuva 4 Paalutus menetelmiä

2.5 Maalajit Suomessa

Maalajien lajittelussa käytetään Suomessa vielä nykyisin geoteknistä lajiluokitte-
lua. Suomessakin ollaan kuitenkin vähitellen siirtymässä Euroopan Unionin jäsen
maiden yhteisen Eurokoodin(SFS 1997-2) mukaiseen EN ISO14688-2 luokituk-
seen. Tällä hetkellä käytetyssä geoteknillisessä luokituksessa on kuitenkin käy-
tössä samat raekoot ja nimet kuin muuallakin maailmalla.[8]

Suomessa esiintyy montaa erilaista maaperää, joista kuitenkin yleisin on mo-
reeni. Moreeni kattaa suurimman osan Suomen maaperästä. Moreeni jaetaan
vielä kolmeen alalajiin, jotka ovat siltti moreeni, hiekka moreeni ja sora moreeni.
Moreenin lisäksi muita maalajeja ovat turve, lieju, sora, hiekka, savi ja siltti. Nämä
maalajit jaetaan erilaisiin maalaji ryhmiin, joita ovat eloperäiset maalajit, hiekka-
peräiset maalajit, karkeaperäiset maalajit, ja moreeni maalajit. Kuvassa viisi nä-
kyy maalajien tarkempia ominaisuuksia.[10]

Maalajiryhmä	Maalaji	Lyhennys	Lajitepitoisuus, paino-%			Raekoko d_{50} , mm
			Savi	Hienoaines	Sora	
Eloperäiset maalajit	Turve	Tv				
	Lieju	Lj				
Hienorakeiset maalajit	Savi	Sa	≥ 30			
	Siltti	Si	< 30	≥ 50	< 5	$\leq 0,06$
Karkearakeiset maalajit	Hiekka	Hk		< 50	≤ 50	$> 0,06...2$
	Sora	Sr		< 5	> 50	$> 2...60$
Moreenimaalajit	Silttimoreeni	SiMr		≥ 50	≥ 5	$\leq 0,06$
	Hiekkamoreeni	HkMr		$5...50$	$5...50$	$> 0,06...2$
	Soramoreeni	SrMr		≥ 5	> 50	> 2

Kuva 5 Suomen maalajit

Eri maalajeilla on eri ominaisuudet ajatellen paalutusta. Maan tiheys ja rakenne ovat tärkeitä huomioida paalutuksessa ja mikä paalutustyyppi sopii millekin maalajityypille. Toinen tärkeä seikka, joka tulee ottaa huomioon on routiminen. Routiminen suomessa kuten muuallakin maailmassa riippuu täysin keleistä. Pohjoisessa routakerros on yleensä paksumpi, koska siellä on kovemmat pakkaset pidemmän aikaa. Lumikerros maaperän päällä kuitenkin vähentää routakerroksen syntymistä. Tämä on merkittävä tekijä, joka tasoittaa routimiseroja pohjoisen ja etelän välillä, koska yleensä pohjoisessa on enemmän lunta kuin etelässä. Routakerrokset voivat hyvin vastata toisiaan, mikäli esimerkiksi pohjoisessa on kova pakkanen ja paljon lunta ja etelämmässä on pienemmät pakkaset ja vähemmän lunta.

Pahimmin routa vaikuttaa maalajeihin, jotka ovat hienorakenteisia kuten savi, lieju ja siltti. Maalajeja jotka eivät roudi ovat kallio, karkea hiekka ja sora. [9;10;11]

2.6 Maaperätutkimukset

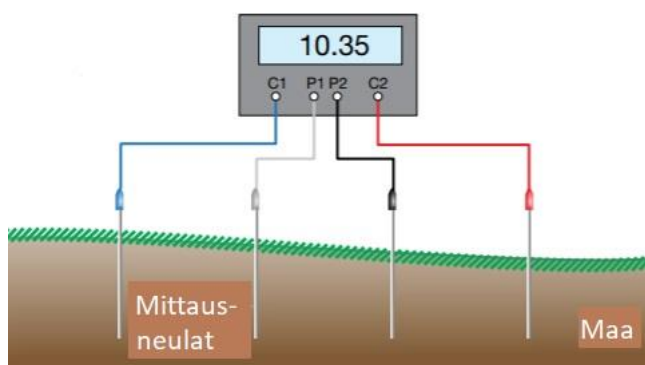
Maaperätutkimukset ovat tärkeä, jopa välttämätön osa aurinkosähköjärjestelmän maa-asennukseen valmistautumisessa. Varsinkin kun telineet ovat paalutettavaa mallia. Maaperätutkimuksesta saatujen tietojen avulla voidaan asennukselle valita kyseiseen kohteeseen paras ja kustannustehokkain paalutusratkaisu. Maaperätutkimuksessa ilmenee asioita, joiden perusteella toiset paalutusvaihtoehdot voidaan suoraan rajata pois vaihtoehdoista, mikä helpottaa valintaa. Maaperätutkimus tukee hyvää suunnittelua ja valmistelua työmaahan ja sen avulla voidaan välttyä mahdollisilta yllätyksiltä ja lisäkustannuksilta paalutusvaiheessa.

Maaperätutkimuksen tärkein tavoite on saada selville, kuinka hyvin maaperä soveltuu paalutukseen ja minkälaiseen paalutukseen se sopii. Maaperän soveltuvuus taas riippuu sen koostumuksesta ja tiheydestä. Maaperän koostumus on tekijä, joka määräytyy maaperän aineiden ja sen rakenteen mukaan. Tiheys taas määräytyy iän, materiaalien, materiaalien syvyyden sekä alkuperäisen kerrostumisen mukaan. Maaperän päällisen tarkkailun lisäksi maaperätutkimuksessa mitataan maaperän korroosion kestävyyttä ja vastustusta. Myös laboratorio testit ovat osa maaperätutkimusta. [2;12]

Maaperätutkimusta yleisimmin tehdään poraamalla reikiä tai kaivamalla testikuoppia. Molempia menetelmiä käyttämällä saadaan näytteet, joista saadaan tarvittavat tiedot. Porausmenetelmää käytettäessä saattaa kuitenkin mennä ohi kallioiset ja kiviset kohdat. Poratut reiät eivät ole halkaisijaltaan isoja, joten ne voivat huonolla tuurilla mennä juuri kivisten alueisen väliin. Tämän takia alueesta voi jäädä oleellista tietoa huomaamatta. Testi kuoppia tehtäessä näytealue on suurempi, mikä pienentää huonon tuurin aiheuttamaa riskiä ja antaa alueesta tarkemman kuvan. Testi kuopatkaan ei kuitenkaan ole helppo kaivaa, koska näytesyvyys tulisi olla ainakin 3 metriä.

Maaperästä kirjataan ylös mitä aineita tulee vastaan milläkin syvyydellä ja mistä testikuopasta ne ovat. Pohjaveden sattuessa testikuopan kohdalle kirjataan ylös

myös veden pinnan syvyys. Maaperän korroosioipitoisuudesta saa myös tietoa kaivauksista. Korroosiota maaperässä aiheuttaa happi, kosteus ja kemikaalit. Maaperän korroosio on käänteisesti verrannollinen maan resistiivisyyden kanssa. Resisttiivisyys on helppo mitata esimerkiksi Wennerin neljän neulan testillä. Testissä neljä metallista neulaa työnnetään maahan. Neulat ovat tasaisin välimatkoin toisistaan ja neulojen yläpäästä menee johdot laitteelle, joka puolestaan mittaa resistiivisyyden. Kuvassa kuusi on Wennerin resistiivisyystestin havainnollistava kokoonpano. [2;12]



Kuva 6 Resisttiivisyys mittaus

Haastattelu maa-asenteisten aurinkosähköjärjestelmien kanssa työskentelevän asiantuntijan kanssa varmisti jo olemassa olevaa tietoa. Myös uusia tietoja ja hyviä näkökulmia tuli aiheeseen. Haastateltavana oli Espanjalainen Daniel Sanchez, joka on lähes 20 vuotta ollut maa-asenteisten aurinkosähköjärjestelmien kanssa tekemisissä erilaisissa työtehtävissä. Tällähetkellä hän työskentelee Wärtsilässä konsulttina. Vaikka haastateltava on työskennellyt ulkomailla, on silti tietoja mahdollista hyödyntää ja soveltaa myös täällä Suomessa. Riippuen kohteesta maaperään kohdistuvat lainalaisuudet liittyen paalutuksen valintaan eivät juurikaan vaihtele maiden välillä. Daniel myös edelleen vahvisti ajatusta maaperätutkimuksien tärkeydestä. Maaperätutkimuksista selviää monia tärkeitä asioita, joiden avulla telineiden toimittaja tietää paremmin, mikä teline alueelle sopii parhaiten. Maaperän ominaisuus on myös kemikaalien osalta tärkeä. Maaperän ollessa todella suolaista, se aiheuttaa enemmän korroosiota telineisiin, jolloin telineet täytyy tilata paksummalla galvanisella pinnoitteella. Jos tämä asia jää

huomaamatta ja telineissä ei ole tarvittavaa galvanisoitua suojausta, jonka maaperä alueelle vaatisi, eivät telineet ole tehty kestäväksi tarvittavaa 25 vuotta kyseisellä alueella. Daniel korosti myös maaperätutkimukseen sisältyvän vesitutkimuksen merkitystä. Varsinkin Espanjassa, jossa voimalat asennetaan usein vuorten ja mäkien alle, saattaa hiljalleen valuva vesi aiheuttaa maaperään eroosiota vuosien kuluessa. Suomessa pääsääntöisesti maasto on huomattavasti tasoisempaa, eikä vastaavaa ongelmaa juurikaan ole. Suomessa vastaavanlainen luonnon aiheuttama ongelma on routa. Maan routimisesta saadaan maaperätutkimuksissa oleellista tietoa. Tutkimuksen avulla tiedetään maaperän käyttäytymisestä enemmän. Maaperän käyttäytymisen mukaan osataan paalutus ja telineiden asentaminen tehdä kyseiselle alueelle oikealla tavalla. Maan happamuus voi myös pitkällä juoksulla olla ongelma. Happamuus voi ajan kuluessa syövyttää liian ohuella kerroksella olevan paalun ja aiheuttaa ongelmia.[13]

Tammisaari Solpark aurinkovoimala hankkeen maaperätutkimus

Solnet Finland Oy on teettänyt yhden maanpohjatutkimuksen Tammisaaren Solpark aurinkovoimala -hankkeeseen. Hankkeen tilaajana toimii Tammisaaren energia oy. Mittausten tekijänä on ollut Sitowise.

Asioita, jotka tulevat esille tutkimuksen perustamistapa lausunnosta:

- Alueelle kuuluvat kaavat
- Mihin luokkaan alueen pohjavesi kuuluu
- Maanpinnan korkeuseron vaihtelu
- Tarkka selitys maaperän sisällöstä ja tehdyn havainnon syvyydestä.
- Jos pohjavesi on tullut vastaan, niin missä syvyydellä ja missä kohtaa se on ilmennyt.
- Tutkimuksen toteuttajan suositus käytettävästä paalutus vaihtoehdosta.
- Paalujen upotussyvyys, puristus- ja vetokestävyydet

- Arvio paalutuksen sivukuormituksen kestävydestä, mikä pitää varmistaa asennettaessa.
- Maaperän routiminen; onko sitä?
- Selvitys mahdollisista haasteista tietyissä kohdissa aluetta vaihtoehtoisine ratkaisuineen.

Perustamistapalausunnon liitteenä on Pohjatutkimus kartta, tutkimusleikkaukset, pohjaveden mittaus- ja havaintokortti ja maanäytteiden laboratorio tulokset. Pohjatutkimuskartassa on kuva kohdealueesta, johon on merkitty alue, jolta mittaukset tehdään. Myös mittauspisteet on merkitty karttaan. Tutkimusleikkauksista näkee maanpinnan korkeuden vaihtelun kunkin mittapisteen kohdalla. Kuvissa on myös läpileikkaus kaikista reijistä, joissa näkyy poraus syvyys ja sivuttain vaikuttava tuki. Läpileikkauskuva on työn liitteenä. Laboratorio mittauksista ilmenee tarkempia tietoja mittauspisteiden maaperästä. Tuloksissa ilmenee näytteiden otto syvyys, käytetty menetelmä, vesipitoisuus, maalaji ja häiriintyneisyys. Maaperän häiriintyneisyydellä tarkoitetaan sitä, paljonko maata on muokattu. Mitä enemmän maata on muokattu ja maahan on sekoittunut happea ja muita aineita, sitä häiriintyneempää se on.[liite1;liite2]

2.7 Lainsäädäntö, luvat ja kaavoitukset

Aurinkosähköjärjestelmä vaatii toimenpideluvan, mikäli se vaikuttaa merkittävästi kaupunkikuvaan tai ympäristöön. Maankäyttö- ja rakennuslain pykälässä 126 kohdassa 13 sanotaan seuraavasti

Tarkka lainaus maankäyttö- ja rakennus laista:

”126 §:n mukainen toimenpidelupa tarvitaan sellaisen rakennelman tai laitoksen, jota ei ole pidettävä rakennuksena, pystyttämiseen tai sijoittamiseen taikka rakennuksen ulkoasun tai tilajärjestelyn muuttamiseen seuraavasti”:

13) ”kaupunkikuvaan tai ympäristöön merkittävästi vaikuttavan aurinkopaneelin tai -keräimen asentaminen tai rakentaminen.” [14;15]

Suomen mittakaavassa ei ole yhtenäistä linjausta aurinkosähköjärjestelmien lupahakemuksille. Tosissa kunnissa vaaditaan lupa ja toisissa kunnissa taas ei [16].

Jos projektiin kuitenkin vaaditaan toimenpide- tai rakennuslupa, sen myöntää kunnan rakennusvalvontaviranomainen. Kuntien sivuilta löytyy Tarkemmat tiedot lupien sisällöstä. Sivuilta löytyy myös ohjeet mistä lupia voi hakea.

(Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999 §130)

Kaavoitus asiat menevät samalla tavalla kuin lupa-asiatkin. Yhtenäistä kaavoitus ohjetta maa-asenteisille aurinkosähköjärjestelmille ei ole. Kaikilla alueilla ei ole mitään kaavaa, jolloin voimalan rakentamiseen on hyvin vähän rajoitteita sen osalta. Alueilla joilla on kaava, tulee sitä seurata ja noudattaa järjestelmän asennuksessa.[14]

3 TOTEUTUS

3.1 Paalutusmenetelmät käytännössä

Paalutusmenetelmät tarkemmin tarkasteltuna käytännön näkökulmasta. Tarkemmat selvitykset paalutusmenetelmistä ja mikä paalutus menetelmä sopii mihinkin maaperään.

3.1.1 Lyöntipaalu

Lyöntipaalu on useimmin käytetty paalutusvaihtoehto, mikäli maaperä sen sallii. Sitä käytetään useimmin, koska se on kustannustehokas tapa asentaa. Se on nopea, asennettavissa hyvin tarkasti, eikä vaadi suuria kulueriä. Tämä pätee vain kuitenkin suuremman mittakaavan asennuksissa. Pienen mittakaavan asennuksiin tulee isompi kustannus yhtä asennettua paalua kohden, joten täytyy harkita ja laskea onko se oikea vaihtoehto. Kustannus johtuu isoista koneista joilla paalut lyödään maahan. Paalutuskone täytyy joka tapauksessa olla työmaalla, oli asennuskohde iso tai pieni. Mitä enemmän paalutuksia on sitä pienempi kustannus tulee yhtä paalua kohden. Joissain paalutuskoneissa on jopa gps laitteita, joiden avulla paalujen tarkkaan asentaminen on helpompaa. Jos gps järjestelmää ei ole, käytetään perinteisempiä menetelmiä, kuten kuvassa kahdeksan näkyy. Lyöntipaaluja asentaessa tulee myös huomioida etteivät ne sovellu yli 15 asteen kulmassa olevaan maahan.[2;17]

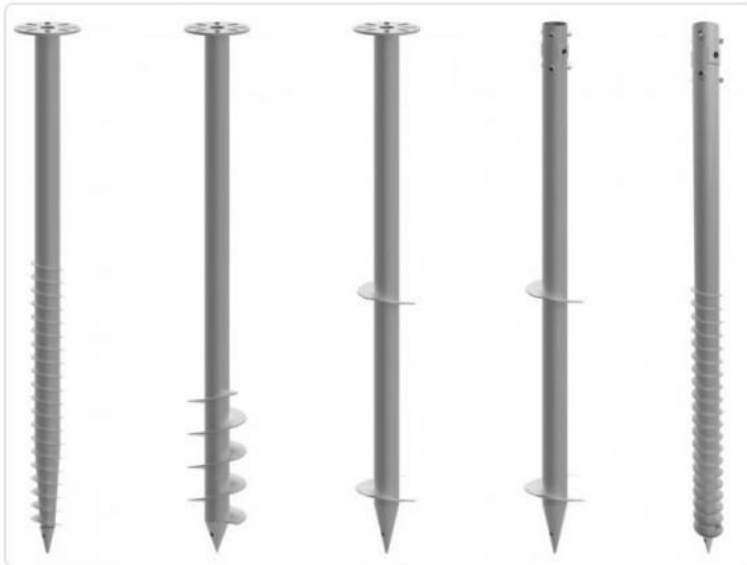
Maaperä tutkimus on ehdottoman tärkeää tietysti myös lyöntipaaluja mietittäessä. Lyöntipaalut sopivat parhaiten saviseen, soraiseen ja tiheä hiekkaiseen ympäristöön, jossa maaperä on tiheää ja tarjoaa hyvän kitkavastuksen paalun ja maan välille. Mitä pehmeämpi maaperä on sitä syvemmälle lyöntipaalut täytyy

asentaa. Lyöntipaalu sopii huonosti harvaan soramaahan, kiviseen ja maahan jossa on peruskalliota lähellä maanpintaa. Jos maaperätutkimuksesta huolimatta paalua lyödessä tulee ongelmia, on siihen muutamia eri vaihtoehtoja toimimiseen. Jos lyönti paalu menee jonkin matkaa maahan, mutta ei aivan suunniteltuun syvyyteen voi se silti olla riittävä. Tässäkin tapauksessa paaluille on tehtävä kuormitus testit. Mikäli paalu läpäisee kuormitustestin se voidaan katkaista oikeaan korkeuteen ja sitä voidaan käyttää perustana aurinkosähköjärjestelmän maasnnus telineelle. Jos paalu ei kuitenkaan läpäise kuormitustestiä, se voidaan asentaa viereen uudelleen, mikäli telineiden toleranssi sen sallii. Kolmas vaihtoehto on, että alkuperäisestä reiästä porataan syvempi ja hieman leveämpi. Paalu asennetaan reikään ja se täytetään sementillä. Tämä vaihtoehto on luonnollisesti viimeinen vaihtoehto , koska se aiheuttaa lisäkuluja porauksen ja sementin takia. Tämä voi kuitenkin olla ainoa vaihtoehto, jos telineen toleranssit eivät salli paalun liikuttamista sivusuunnassa tarpeksi, että se voitaisiin asentaa viereen uudelleen.

Lyöntipaaluja on monia erilaisia, mikä antaa joustavuutta toteutukseen. Paalujen profiilit vaihtelevat ja pituudet voivat vaihdella aina 2 metrin ja 6 metrin välillä. Maaperän mukaan voidaan paalu valita parhaiten sopivaksi. [2;17]

3.1.2 Ruuvipaalu

Ruuvipaalu on melko useasti esiintyvä paalutustyyppi. Ruuvipaaluja on kahta erilaista. Yleisimmin käytetty ruuvipaalu tyyppi muistuttaa hyvin paljon perinteistä puuruuvia, jota käytetään rakennustoissa. Tätä kutsutaan maaruuviksi. Toinen harva kierteisempi, mutta usein leveämmillä kierteillä varustettu paalu, on spiraalipaalu.



Kuva 7 Erilaisia maaruuveja

Maaruuvi

Maaruuvissa on kierteet jotka useimmissa malleissa alkavat noin paalun keskivaiheelta. Paalujen pituudet vaihtelevat riippuen asennuskohteen maastosta ja niihin tulevista telineistä. Paalujen paksuus vaihtelee myös valmistajien mukaan, mutta yleisesti ottaen ovat halkaisijaltaan 70-130 mm luokkaa ja paksuudeltaan 6-10mm luokkaa. Kuvassa seitsemän reunoilla näkyy perinteisen malliset ruuvi-paalut eli maaruuvit.

Maaruuvit voidaan asentaa eri tavoin. Lyöntipaaluun verrattuna ruuvipaaluja voidaan käyttää useammassa eri maaperätyyppissä. Esiporattujen reikien avulla ruuvipaalut voidaan asentaa hyvinkin kiviseen maahan tai jopa peruskallioon. Nämä toimenpiteet vaativat kuitenkin lisää koneita ja apuvälineitä, mikä lisää kustannuksia. Mikäli maaruuvit saadaan maaperän puolesta ruuvattua suoraa maahan on se huomattavasti kustannustehokkaampi vaihtoehto. Pehmeämpi maaperä vaatii kuitenkin myös pidemmät paalut ja syvemmän työntymis-syvyuden.

Ruuvipaaluja voidaan käyttää hieman enemmän kallellaan olevassa maassa kuin lyöntipaaluja. Lyöntipaalujen maksimi kallistuksen ollessa 15 astetta, voidaan ruuvipaalut asentaa jopa 30 asteen kallistuksella olevaan maahan. Jos lyöntipaaluun joutuu vaikeassa maastossa tekemään paljon lisätöitä kuten porauksia ja sementöintiä, on maaruuvi monesti taloudellisempi vaihtoehto tällaisessä hankalassa maastossa. Kiinteässä maassa maaruuvi tarjoaa hyvän kitkavastuksen paalun ja maan välille. Harvarakenteisemmassa ja löysemässä maassa vastus ei ole yhtä hyvä ja voi aiheuttaa ongelmia lujuus testeissä. [2;18]

Spiraalipaalu

Kuvassa seitsemän näkyvät kolme keskimmäistä paalua ovat toista ruuvipaalu mallia, jota kutsutaan myös spiraalipaaluksi. Huomattava ero ruuvipaalujen välillä on kierteiden tiheys ja leveys. Maaruuvissa kierre alkavat noin puolesta välistä paalua ja jatkuvat aina kärkeen asti. Kierre on myös melko pientä verrattuna spiraalipaalun kierteseen. Spiraalipaalun kierre on todella leveä verrattuna normaaliin ruuvipaaluun. Spiraalipaalussa kierteitä on myös huomattavasti vähemmän. Kierteitä voi olla spiraalipaalussa esimerkiksi vain yksi ihan paalun kärjen tuntumassa. Kierteitä voi olla myös kaksi pienen välimatkan päässä toisistaan, kuten kuvasta neljä näkyy. Spiraalipaalussa kierteitä voi olla myös hieman enemmän kuten samassa kuvassa kuusi toisena vasemmalta oleva paalu osoittaa. Erilaisia spiraalipaalu malleja on siis useita ja niiden ominaisuudet riippuvat valmistajasta.

Spiraalipaalu sopii parhaiten hauraaseen maahan, johon se uppoaa suhteellisen helposti. Ankkurimainen kierre tai kierre tarjoavat hyvän kitkavastuksen maan ja paalun välille. Ankkurimaisen kierteen ansiosta paalu pysyy hyvin paikallaan eikä nouse. Spiraalipaalun kärjen ja maanpinnan välillä täytyy olla tarpeeksi paljon maata. Riittävän maamäärän varmistamiseksi täytyy tehdä vetotesti. Vetotestillä saadaan selville riittävä asennussyvyys, jotta kiinnitys kestää

aurinkosähköjärjestelmän telineiden kiinnittämisen. Spiraalipaalu asennetaan käyttäen kaivinkoneeseen kiinnitettyä kairaa tai muuta sopivaa apuvälinettä. [18]

Molemmissa ruuvipaalu malleissa on huono vastus sivuttaissuunnassa niiden ohuiden profiilien takia. Tämä voi aiheuttaa lisä ongelmia niihin tulevien telineiden suhteen. Erityisesti tulee huomioida sivutaiskuormat, varsinkin sivuttais tuuli. Tästä johtuen ruuvipaaluja nähdään usein vain kaksijalkaisissa telineissä. Varsinkin suuremman mittakaavan voimaloissa yksijalkaisen telineen perustukseksi ruuvipaalussa ei ole riittävää tukea.

Molemmissa ruuvipaalu vaihtoehdoissa paalun yläpää voi vaihdella. Yläpäässä voi olla suoraan kiinni ruuvin kantamainen tasainen teräslevy, johon telineet kiinnitetään suoraan. Vaihtoehtoisesti yläpää voi jatkua loppuun asti putkena, jonka päässä on reikiä. Näihin reikiin tulee ruuvin kannan tapainen teräslevy tai vastaava välikappale, johon telineet tulevat kiinni. Eri ruuvipaalujen yläpäiden vaihtoehdot näkyvät kuvassa kuusi. Ruuvipaalujen yläpää ja siihen tulevat mahdolliset lisäosat riippuvat myös siihen tulevasta telineestä. Esimerkiksi Solnet Finlandin käyttämä Orima BEETA DOUBLE telineeseen tulee erillinen hitsattava välikappale ruuvipaalun ja telineen välille. [19]

3.1.3 Betonipaalu

Betonipaalutus on vähemmän käytetty ratkaisu aurinkosähköjärjestelmien maa-asennuksissa. Monessa tapauksessa tämä johtuu siitä, että betonipaaluista tulee ylimääräisiä kustannuksia verrattuna yleisempiin teräspaalutus vaihtoehtoihin. Betonipaalut soveltuvat kuitenkin erinomaisesti järjestelmiin, jotka asennetaan pehmeälle maalle. Pehmeä maaperä ei tarjoa tarpeeksi kitkavastusta lyöntipaalu

ja ruuvipaalu menetelmiin vaan ne nousevat ylös tai menevät vinoon liian vähäisen tuen johdosta. Tätä ongelmaa ei kuitenkaan ole betonipaalujen kohdalla. Betonipaalussa itse betoni toimii panovastuksena ja pitää telineet paikallaan. Betonipaalut sopivat myös hyvin erittäin kiviseen maahan, johon lyöntipaalut ja ruuvipaalut eivät pysty porautumaan. Betonipaalujakin on karkeasti kahta eri tyyppiä. Sivulla 16 olevasta kuvasta neljä on nähtävissä kaksi eri betonipaalu tyyppiä. Yleisemmin nähtävä betonipaalu on vaakaan tuleva, joka voidaan asentaa maan päälle tai kaivaa hieman maanpinnan alapuolelle. Tässä vaihtoehdossa toimivaa on, että paalua ei juurikaan tai lainkaan tarvitse kaivaa. Se voidaan asentaa myös maanpinnalle, kuten usein tehdänkin. Toisen tyyppinen betonipaalu menetelmä on tunnettu myös nimellä betonipilari kiinnitys. Betonipilari kiinnitys on nähtävissä kuvasta kaksi vasemmalla reunimmaisena. Tämä betonipaalutus menetelmä vaatii enemmän kaivamista tai poraamista, koska betonipilarit menevät huomattavasti syvemmälle maaperään verrattuna vaakasuoraan tulevaan betonipaaluun.[17;20]

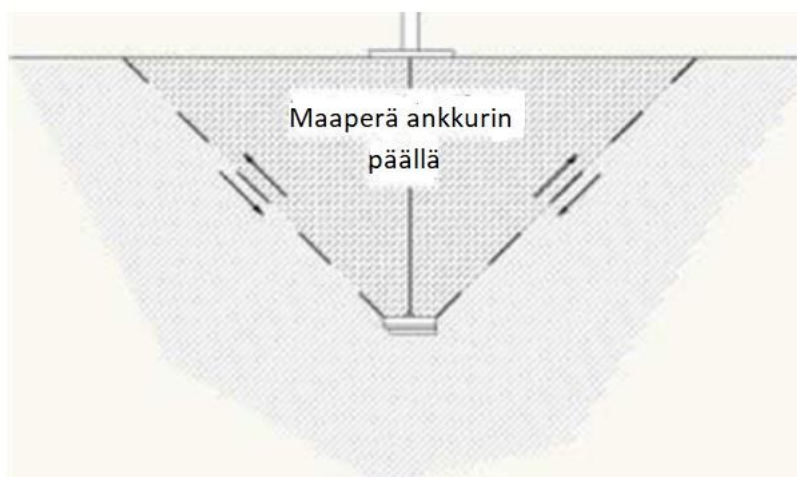
Oriman BEETA DOUBLE telinettä kahdella jalalla käytetään myös betonipaalutuksessa. Aiemmin on jo mainittu, että sitä käytetään myös ruuvipaalutuksessa. Molemmissa tapauksissa kaksijalkaista telinettä käytetään yksijalkaisen telineen sijaan paalutukseen kohdistuvien kuormien takia. Kaksijalkaisessa telineessä yhdelle jalalle kohdistuu pienempi voima kuin yksijalkaisessa. Tämän vuoksi paalutukselta ei vaadita niin paljoa kuormituksen kestoa.[19]

3.1.4 Ankkurikiinnitys

Ankkuri kiinnitys on varsinkin Suomessa vähemmän nähty kiinnitysmenetelmä. Ankkurikiinnitys on toiminta periaatteeltaan hyvin samankaltainen useammin nähtävien ruuvipaalujen kanssa. Tämän takia ankkurikiinnitystä käytetään hyvin samankaltaisissa kohteissa kuin ruuvipaaluja. Ankkurikiinnityksen merkittävänä etuna ruuvipaaluun on, että se ei vaadi porautumista niin syvälle maaperään kuin

ruuvipaalu. Tämä on hyvin nähtävissä sivulla 16 olevasta kuvasta neljä. Matalammasta porautumis syvyydestä johtuen myös materiaalia on ankkurikiinnityksessä vähemmän, mikä tuo säästöjä materiaalikustannuksiin.

Ruuvipaaluun verrattuna ankkurikiinnitys antaa asentukseen lisää joustavuutta, eikä vaadi erityisiä raskaita työvälineitä. Ankkurin asennus tapahtuu terästangon avulla. Terästangon avulla ankkuri lyödään maahan käsin lekalla tai paineilmasavaralla. Maahan työnnettäessä ankkuriin on kiinnitetty teräsvaijeri. Maa-asenteisen aurinkovoimalan telineestä puhuttaessa ankkuri painetaan noin metrin syvyyteen maan pinnasta noin 0,5 – 1,5 metriä. Terästanko poistetaan ankkurin ollessa oikeassa syvyydessä. Asennetun teräsvaijerin maanpäällinen osa kiinnitetään vinssiin, jonka avulla vaijeri kiristetään. Vaijerin kiristys aiheuttaa ankkurin kääntymisen maan alla. Ankkuri kääntyy 90 astetta muodostaen ankkurin maaperää vasten. Maaperä ankkurin yläpuolella muodostaa painon, joka pitää ankkurin paikallaan. Kuva kahdeksan havainnollistaa, miltä ankkuriasennuksen läpileikkaus näyttää maan alla.



Kuva 8 Ankkurikiinnitys

Asennus kohteessa oleville kaikille ankkurikiinnityksille voidaan myös tehdä kuorimitustestaukset. Testausten avulla saadaan hyvin tarkat mittaus tulokset, jotka tarkastajan on helppo tulkita ja toimia sen pohjalta. Ankkurikiinnityksen toiminta edellyttää, että vaijeri on kireällä. Siihen helppo asentaa mittari, minkä avulla

riittävään kireyteen tarvittava voima saadaan selville helposti. Tämän avulla ankkurikiinnitys on helppo asentaa useimpiin eri maaperätyyppeihin kiristämällä vaijerin aina samaan vaadittuun kireyteen.

Jos esimerkiksi asennuskohteessa vaadittava ankkurikiinnikkeen yläpuolella oleva nostovoiman on oltavaa 225 kiloa. Tällöin ankkureita voi joutua testaamaan jopa 350 kilon voimalla. Tällöin turvakerroin on noin 1,5 ja ankkureiden vaijerit kiristettäisiin 450 kilon voimalla. Jos ankkurit pysyvät paikalla ankkurit kestävät tarvittavan määrän voimaa pysyäkseen paikalla. Tässä tapauksessa ei kaivuu syvyydellä ja maaperän tyypillä ole enään merkitystä. Mikäli ankkuri kiristäessä nousee maasta, ei sekään ole ongelma. Ankkuri vain kaivetaan uudestaan syvemmälle maaperään ja koe toistetaan uudestaan. Tällä tavoin vältetään ylimääräisiltä maaperä tutkimuksilta, porauksilta ja betonipaaluilta. [21]

3.2 Oripään aurinkosähköjärjestelmä

Solnet Finland Oyn on toimittanut Oripäässä sijaitsevalle Ylitalon kauppapuutarha Oy:lle maa-asenteisen aurinkosähköjärjestelmän. Järjestelmän ensimmäinen osuus toteutettiin keväällä 2019, jolloin järjestelmän paneelimäärä oli 304 kappaletta ja huipputeho 100,32 kWp. Nyt keväällä 2020 toteutetaan voimalan laajennus, jonka jälkeen paneeleiden kokonaismäärä on 432 kappaletta ja huipputeho on 142,560 kWp.

Oripään aurinkosähköjärjestelmä on toteutettu suomalaisvalmisteisella Orima tuotteiden BEETA DOUBLE maa-asennustelineellä. Järjestelmän pohjana toimii hiekka kenttä, johon telineiden perustukset on tehty lyöntipaaluilla.

Laajennuksen asentaminen aloitettiin paalutusfirman toimesta merkitsemällä paaluille tarkat paikat. Kuvassa yhdeksän näkyy, kuinka puisilla merkkikepeillä on merkitty paalujen tulevat paikat.



Kuva 9 Paalutuksen merkkikepit

Merkintöjen jälkeen seuraava vaihe oli jo paalujen maahan lyönti. Paalutus tapahtui pienellä kaivinkoneella, johon oli kiinnitetty paalutuskone. Paalutuskone napautti lyönti kerrallaan paalua maan sisään. Paalutusta tehdessä paalujen suoraan painamisessa oltiin erittäin tarkkoja. Paalujen suorudella on äärimmäisen tärkeä osa valmista telinekokonaisuutta ajatellen. Paalujen täytyy olla erittäin suorassa, jotta saadaan siisti lopputulos. Tämä varmistettiin paalutusta tehdessä erilaisia vatupasseja, mittoja, linjalankaa ja vaaituskonetta käyttäen. Kuvassa 10 näkyy, kuinka ensimmäinen paalu asennetaan toiseen reunaan ensimmäiselle paikalle. Seuraava paalu asennetaan keskelle paaluriviä, jotta linjalanka saadaan viritettyä ja paalut saadaan samaan linjaan. Toista paalua ei voida asentaa suoraa toiseen reunaan, koska linjalankaa ei saa viritettyä tarvittavaan kireyteen niin pitkälle matkalle. Jos linjalanka ei ole tarpeeksi kireä, ei myöskään paaluja saada juuri oikeaan linjaan. Kuvassa 11 on nähtävissä aiemmin mainittu vaaituskone.



Kuva 10 Paalujen välille pingotettu linja lanka



Kuva 11 Vaaituskone

Kuvassa 12 on kaivinkone ja siihen kytketty paalutuskone lyömässä paalua maahan. Paalun päähän asennetaan väliaikaisesti musta kumilevy, joka toimii välikappaleena paalutuskoneen ja paalun välillä, jotta paalu saadaan paremmin lyötyä maaperään.



Kuva 12 Kaivinkone ja paalutus lisäosa



Kuva 13 Paalutuskoneen ja paalun välissä oleva välikappale

Maaperään painettavat paalut ovat pituudeltaan 210cm. Maanpinnalle jäävä paalun osuus riippuu maanpinnan korkeuseroista. Kohdassa, jossa maanpinta on korkeammalla paalua, jää vähemmän näkyviin kuin kohdassa, jossa maanpinta on matalammalla. Paalujen yläreuna täytyy olla samalla korkeudella, jotta paalujen päälle tulevat telineet ovat samalla tasolla ja tulevat suoraan. Maanpinnalle jäävä paalun osuus on keskimäärin noin 50cm.



Kuva 14 Asennettu paalurivi

Lyöntipaalun maanpäälle jäävässä osassa on reikiä, joihin maa-asennustelineen runkopalkki asennetaan pulttien ja muttereiden avulla, kuten kuvassa 15 näkyy. Lyöntipaalussa ja telineen runkopalkissa on useita reikiä, joiden avulla runkopalkki voidaan asentaa moneen eri korkeuteen. Kuvassa 16 näkyy myös maa-asennustelineen muut osat. Teline on yksinkertainen rakennelma, eikä sisällä monia eri liikkuvia tekijöitä, mikä tekee siitä hyvin kestävä. Teline koostuu runkopalkista, alatuesta, ylätuesta, viistopalkista ja kiskoista. Kaikki telineen osat kiinnitetään toisiinsa pitkien pulttien ja niiden päihin tulevien muttereiden avulla. Pultit ja mutterit kiinnitetään ja kiristetään ruuvinvääntimien, hylsyjen ja lenkkiavainten kanssa. Telineen alatuki ja ylätuki muodostavat omat kolmionsa runkopalkin ja viistopalkin välille. Tämä tukirakenne vahvistaa telinettä pystysuunnassa ja pitää rungon kasassa. Runkopalkista, ylä- ja alatuista ja viistopalkista muodostuva kokonaisuus muodostaa telineen yhden jalan kokonaisuuden. Kolme tämänlaista jalka kokonaisuutta kiinnitetään toisiinsa kolmen kiskon avulla. Kiskot tulevat jalkojen vinopalkkien ala- keski- ja yläosaan. Tästä kokonaisuudesta muodostuu yksi maa-asennusteline. Käytössä olevia aurinkopaneeleita

tähän telineeseen mahtuu 18 kappaletta. 9 paneelia asennetaan keskikiskon ja yläkiskon välille ja loput 9 paneelia asennetaan keskikiskon ja alakiskon välille. Yläriivin paneelien yläpää ujutetaan kiskossa olevaan uraan, joka pitää paneelit paikoillaan. Paneelien alapää lasketaan keskikiskossa olevan kulman päälle. Alapuolelle tulevat paneelit ujutetaan vastaavasti alakiskossa olevaan uraan, yläpään jäädessä keskikiskossa olevan kulman päälle. Tässä kohdassa paneelien keskikiskon päällä olevat päädyt ovat vielä vapaita liikkumaan. Toisiaan vastakkain olevat ylä- ja alapaneelit kiinnitetään toisiinsa ja keskikiskoon siihen tarkoitettuilla kahdella kinnikkeellä. Kiinnike ujutetaan keskikiskossa olevaan uraan ja kiristetään ruuvinvääntimellä. Tämä toimenpide kiinnittää paneelien keskiosan, jolloin se ei ole enää vapaa liikkumaan vaan paneelit ovat hyvin kiinni telineessä eivätkä pääse liikkumaan.



Kuva 15 Lyöntipaaluun kiinnitetty telineen runkopalkki



Kuva 16 Orima BEETA DOUBLE maa-asennustelineen osat

3.3 Huolto ja kunnossapito

Hyvin asennettu ja laatu komponenteilla toteutettu aurinkosähköjärjestelmä asennus on kaikenkaikkiaan melko huoltovapaa. Järjestelmiä asennettaessa kaikki toimenpiteet tehdään sillä ajatuksella, että kestävät vähintään paneelien luvatus käyttöiän. Paneelien käyttöikä on yleensä noin 30 vuotta [20]. Järjestelmän komponenteista ja asennuksesta on tärkeä tehdä hyvä dokumentaatio. Hyvä dokumentaatio on tärkeä apu tulevissa huoltotoimenpiteissä ja järjestelmän ylläpidossa ylipäätään.

3.4 Tuotannon optimointi

Solnet Finland Oy käyttää kaikissa katolle tulevissa asennuksissaan Solaredgen virran optimoitsijoita yhdessä Solaredgen invertterien kanssa. Virran optimoitsijoiden avulla paneeliparit ovat kytkettynä ketjuun. Perinteisesti paneelit kytketään ketjuun käyttämällä paneelikaapeleita. Virran optimoitsijoita käytettäessä paneelien kaapelit kytketään virran optimoitsijaan ja ne puolestaan kytketään ketjuun keskenään. Yhteen paneeliin tullessa ongelma tai pariin kohdistuu kovat varjostukset ei se vaikuta koko paneeliketjuun vaan ainoastaan siihen yhteen paneelipariin. Tällä tavoin tuotanto pysyy koko ajan hyvänä. Solaredgen seurantaohjelman avulla ongelmalliset paneeliparit löydetään helposti ja korjaustoimenpiteitä päästään tekemään nopeasti.



Kuva 17 Solaredge virranoptimoija

Virran optimoitsija on käytännössä DC/DC muuntaja. Optimoitsija voidaan asen-
taa jokaiseen paneeliin omansa tai yksi optimoitsija kahta- tai jopa useampaa
paneelia kohden. Optimoitsijoita on erikokoisia ja eri liitin vaihtoehdoilla, riippuen
siihen kytkettävien paneelien määrästä. Niiden tehtävä on säätää virta-jännite ta-
soa mahdollisimman tehokkaaksi. Optimoitsijoita sisältävää aurinkosähköjärjes-
telmää kutsutaan älykkääksi järjestelmäksi. Älykkäässä järjestelmässä, jossa op-
timoijat säätelevät virta-jännite käyrää, eivät paneeleihin kohdistuvat varjostukset

ja muut häiriötekijät pääse juurikaan vaikuttamaan järjestelmän tuottoon. Perinteisessä järjestelmässä, jossa ei ole optimoitsijoita, varjostukset, lika ja mekaaniset viat paneeleissa aiheuttavat merkittäviä notkahduksia tuotannossa. Optimoitsijat ovat yhteydessä sovellukseen, josta on nähtävissä jokaisen optimoitsijaan kytketyn paneelin tuotto. Tämän avulla järjestelmän seuraaminen on huomattavasti helpompaa ja mahdolliset huolto toimenpiteet huomataan erittäin helposti verrattuna perinteiseen järjestelmään. Optimoitsijoilla on myös turvallisuuteen liittyvä hyvin tärkeä tehtävä aurinkovoimaloissa, varsinkin katolle asennettavissa. Vikatilanteen sattuessa älykkään järjestelmän tasajännite putoaa vain muutamaa volttiin, jopa alle 30 sekunnissa. Tapahtuma voidaan tehdä myös käskystä. Tämä on erittäin tärkeä ominaisuus, mikä voi välttää palon syttymisen ja säätää voimalan alla olevan rakennuksen palamiselta. Jännitteen määrä riippuu kuinka monta optimoijaa on kytketty sarjaan. Vikatilanteen sattuessa aurinkopaneeliketju tuottaa vain 1V per optimoija. Jos optimoijia on sarjassa 15, jännite on tässä tapauksessa vain 15 volttia. Perinteisessä voimalassa jännite voi olla useita satoja voltteja, mikä voi aiheuttaa vakavia vaaratilanteita. Optimoitsijat kestävät hyvin vaihtelevia sääolosuhteita. Virran optimoitsijat ovat jatkuvasti erilaisten sääolojen armoilla, vaikka ovatkin usein paanelien alla hieman suojassa. [22;23]

Maa-asenteissa järjestelmissä virran optimoitsijoiden käyttö ei kuitenkaan ole niin perusteltua. Maa-asenteisen aurinkosähköjärjestelmät asennetaan usein aukeille alueille maa-alueille, jossa ei varjostavia tekijöitä ole lähellä. Mikäli varjostavina tekijöinä on esimerkiksi puita, on ne helppo asennuksen yhteydessä raivata pois. Virran optimoitsijoiden paloturvallisuus ominaisuuskaan ei tuo järjestelmälle lisäarvo, koska ei ole rakennusta jota tulisi suojata. Näiden tekijöiden takia maa-asenteisissa järjestelmissä virran optimoitsijoiden käyttö ei ole usein perusteltua, koska se nostaa turhaan investoinnin kustannuksia.

3.5 Dokumentaatio ja luovutus

Aurinkosähköjärjestelmän dokumentaatio sisältää paljon tietoa järjestelmän rakennuttajasta ja siinä käytetyistä komponenteista. Aurinkosähköjärjestelmä sisältää tasasähkö(DC) osan, joka sisältää kaiken paneeleilta invertterille. Toinen osa on vaihtosähköosuus(AC), joka on invertteriltä eteenpäin sähkökeskukselle. Tasasähkö osuuden dokumentoinnissa tärkeimmät osat ovat kaapeleiden, komponenttien datatiedostot ja voimalan yksijohdin kaaviot. Datatiedostot tulevat suoraan komponenttien valmistajilta. Yksijohdin kaavio kuvaa voimalan yksiviivaisella tavalla. Kaavioon merkitään voimalan rakenne, aurinkopaneelien tiedot sekä niiden lukumäärä.

Suuremmissa voimaloissa pelkkä yksijohdin kaavio ei riitä, vaan sen lisäksi tarvitaan järjestelmä spesifikaatiota, jossa samat tiedot voidaan esittää esimerkiksi taulukon muodossa. Vaihtosähkö osan tärkein dokumentti on käyttöönotto pöytäkirja kaikkine liitteineen. Pöytäkirjassa on kaikki mittaustulokset, joiden avulla voidaan todentaa järjestelmän toimivuus. Jos muutokset tehdään vanhan järjestelmään on tärkeä täydentää kohteessa olevat nousujohto kaaviot, keskuskaaviot ja tasokuvat. Edellä mainittujen kuvien ja kaavioiden lisäksi järjestelmä spesifikaatioon täytyy lisätä vaihtoesähköerottimen tyyppi ja sijainti sekä vikavirtasuojalaitteen ja vaihtosähkö ylivirtalaitteen tyyppi, sijainti ja mitoitus tiedot.

SFS-EN62446-1:2016 standardi määrittää sähköverkkoon kytkettyjen aurinkosähköjärjestelmien dokumentointiin, kunnossapitoon ja testaukseen liittyvät vaatimukset. Tarkastuksessa noudatetaan samaa kaavaa kuin asennuksissa. Ne suoritetaan ja dokumentoidaan noudattamalla yleisiä asennustapoja. Oikeanlaista tarkastusmenetelmää noudattamalla varmistetaan, että järjestelmän osat toimivat, kuten niiden pitää. Tämän jälkeen voimala on valmis luovutettavaksi asiakkaalle.

SFS 6000-7-712:2012 standardi on myös aurinkosähköjärjestelmiin liittyvä standardi. Standardi käsittelee valosähköisten tehon syöttöjärjestelmien

erityisvaatimuksia. Siinä selitetään aurinkosähköjärjestelmiin liittyvät yleiset termit ja menetelmät. Standardissa kerrotaan myös käytettävät suojausmenetelmät sekä sähkölaitteiden ja niiden asentamiseen liittyvät vaatimukset.[25]

4 JOHTOPÄÄTÖKSET

4.1 Toteutus ja paalutusmenetelmän valinta

Paalutusmenetelmän valitseminen kohteeseen riippuu kohteessa olevasta maaperästä. Maaperän tyyppi voi automaattisesti sulkea pois toiset paalutus vaihtoehdot. Voidaan todeta, että kyseessä olevaan kohteeseen ei sovi kuin yksi tietty paalutusmenetelmä. Tällöin paalutuksen valinta on helppoa. Usein kuitenkin sopivia paalutusmenetelmiä on useampia, jolloin päätös tehdään sen mukaan mille asialle laitetaan painoarvoa. Usein kuitenkin tärkeimmät arvot ovat kestävyys, toimivuus ja kustannustehokkuus. Kovaan ja kiviseen maaperään ei sovi kaikki vaihtoehdot. Vastaavasti taas pehmeään maaperään sopii yleensä useampi vaihtoehto. Tilanteessa, jossa voidaan käyttää kaikkia paalutus vaihtoehtoja, valitaan paalutusmenetelmä usein kustannustehokkuus näkökulmasta. Sivulla 44 olevasta taulukosta yksi näkee nopealla silmäyksellä tärkeimmät ja oleelliset pääasiat eri paalutusmenetelmien käytössä.

Toteutusvaihtoehdot

Kivisessä ja kallioisessa maaperässä on eniten vaikeuksia paalutuksissa. Tässä tapauksessa voidaan heti sulkea pois vaihtoehdoista lyönti- ja ruuvipaalutukset. Kivisessä ja kallioisessa maaperässä päätös on helppo tehdä ja betonipaalutus onkin usein ainoa ja oikea vaihtoehto. Maaston ollessa todella kallioinen, hyvin epätasainen ja sisältäen paljon korkeuseroja, voi olla betopaalutuskin poissuljettu

vaihtoehto. Tässä tapauksessa paalut on mahdollista asentaa esiporattuihin reikiin, jotka voidaan täyttää betonilla. Näin varmistetaan riittävä tuki paalulle.

Maaperän ollessa pehmeämpää materiaalia kuten savea, hiekkaa tai moreenia, joka ei sisällä kiviä, on paalutusvaihtoehtoja enemmän käytettävissä. Pehmeämmän maaperän tapauksessa on lyöntipaalutus usein käytetyin vaihtoehto, sen kustannustehokkuuden takia. Pehmeissäkin maaperissä on eroja, eikä lyöntipaalutus sovi kaikkiin maaperä tyyppeihin. Lyöntipaalu sopii erinomaisesti saviseen, soraiseen ja tiheä hiekkaiseen maahan, jossa maaperä on tiheää, pysyy hyvin koossa ja tarjoaa hyvän tuen. Maaperän ollessa edellä mainittuja maaperä tyyppejä pehmeämpää ja huonompi tiheyksistä rakenteeltaan, ei lyöntipaalu enään sovellu. Tässä tapauksessa tietynlaiset ruuvipaalut ja maa-ankkurit ovat parempi vaihtoehto. Ne uppoavat hyvin pehmeään maahan, mutta silti tarjoavat riittävän vastuksen ja tuen pehmeämmässäkin maaperässä. Maaperän salliessa lyöntipaalutus on isomman mittakaavan asennuksissa kustannustehokkain vaihtoehto. Pienemmissä voimala-asennuksissa se ei enää päde. Lyöntipaalu vaatii usein ison koneen jolla paalut lyödään maahan, mikä muodostaa turhan suuren kustannuksen asennettua paalua kohden pienissä kohteissa. Isommissa kohteissa paalutuksia on niin paljon, että raskaasta kalustosta aiheutuvat kulut kompensoidut, koska lyöntipaalut ovat nopeat asentaa.

Paalutuksen lisäksi maa-asennukselle valitaan telineet. Teline valmistajia on useita kymmeniä, jopa satoja eripuolilla maailmaa. Valmistajien valtavan määrän myötä myös erilaisia telineitä on erittäin paljon. Lähtökohtaisesti ne usein muistuttavat hyvin paljon toisiaan. Eri valmistajien välillä on kuitenkin eroja. Usein erot ovat hyvin pieniä, eikä ne ole usein merkittäviä. Telineiden välillä on kuitenkin isompiakin eroja, jotka erottavat hyvät telinevalmistajat huonoista. Telineet voidaan pääpiirteittäin jakaa kuitenkin kahteen pääryhmään; yksijalkaisiin ja kaksijalkaisiin telineisiin. Monella telinevalmistajalla on tarjota kumpaakin vaihtoehtoa. Tarjottava teline vaihtoehto riippuu kohteesta, johon se ollaan asentamassa. Kaikki telinevalmistajat eivät tarjoa molempia jalkavaihtoehtoja. Toisilla telinevalmistajilla on vain yksijalkaista ja toisilla vain kaksijalkaista telinettä.

Telineen jalka vaihtoehdot suhteessa paalutusmenetelmiin vaihtelevat, mutta hyvänä suuntaa antavana esimerkkinä voidaan käyttää Solnet Finland Oy:llekin tuotteita toimittanutta Orima tuotetta. Orimalla on mallistossaan BEETA DOUBLE maa-asennusteline, jota on saatavilla yhdellä ja kahdella jalalla. BEETA DOUBLE telineen jalkamäärä, jolla tuote toimitetaan riippuu käytettävästä paalutusmenetelmästä. Yksijalkainen on heillä useimmin käytetty vaihtoehto ja sitä käytetään yhdessä lyöntipaalun kanssa. Lyöntipaalut tulevat myös suoraan Oriman kautta. Ruuvipaaluihin tulevia telineitä heiltä on vähemmän toimitettu, mutta tässä tapauksessa käytetään heillä kaksijalkaista telinettä. Tämä johtuu jo aiemmin työn ruuvipaalu osuudessa läpikäydystä sivuttaistuen puutteesta. Orimalla ei myöskään ole ruuvipaaluja, joten he kehoittavat hankkimaan ne muualta. Kaksijalkaista telinettä käytetään myös betonipaalutus asennuksissa. Betonipaalut eivät myöskään tule Oriman kautta. Heidän toimittamissa kohteissa paaluina on käytetty vanhoja ratapölkkyjä tai tilattu betonipaalut läheiseltä betonialan toimijalta.

Betonipaalu ja ruuvipaalu asennuksissa kaksijalkaista telinettä käytetään, jotta paalutukseen tulevaa kuormitus jakautuisi laajemmalle. Yksijalkaisessa telineessä paalutukseen kohdistuva kuormitus on huomattavasti suurempi. BEETA DOUBLE telineen perustana ei voida siis käyttää betonipaalua eikä ruuvipaalua. Yksijalkaisessa telineessä betoniin ja ruuvipaaluun kohdistuu niin suuri kuormitus että ne eivät kestä pitkään ja saattaavat vääntyä vinoon.

Paalutusmenetelmät	Plussat	Miinukset	Soveltuvuus
Lyöntipaalu	Nopea, kustannustehokas.	Vaatii ison koneen, heikohko nosto vastus, Ei sovi yhtä kaltevaan maahan kuin toiset	Useimmat kohteet, Maaperän ollessa kiinteydeltään sopiva
Ankkurikiinnitys	Vähän materiaalia, ei vaadi isoja koneita, hyvä nostovastus	Tukevuus, Enemmän ankureita	Pehmeään maaperään ja maaperään, jossa peruskallio on lähellä maanpintaa.
Betonipaalu	Sopii mihin vain maaperään	Kallis ja kömpelö	Äärimmäisen pehmeisiin ja koviin maaperiin.
Ruuvipaalu	Vähän materiaalia, ei vaadi isoja koneita, hyvä nostovastus	Tukevuus, enemmän paa-lutuksia	Pehmeät maaperät

Taulukko 1 Paalutusmenetelmien hyvät ja huonot puolet

Paalutuksen valinta

Aiemmin viitatussa Daniel Sanchezin haastattelusta tuli myös hyvää varmistusta paalutusmenetelmien valintaan. Paalutuksen valinta on pääsääntöisesti hyvin yksinkertaista varsinkin isomman mittakaavan asennuksissa. Lyöntipaalu on käytännössä aina kustannustehokkain ratkaisu maaperän sen salliessa. Käytännössä, jos maaperä ei ole liian kovaa eikä liian pehmeää, käytetään

lyöntipaalutusta. Jos peruskallio on hyvin lähellä maanpintaa, eikä pehmeää maata ole kuin metri, on lyhyempi ruuvipaalu usein paras ratkaisu. Tässä tapauksessa pidemmät lyöntipaalut eivät uppoa peruskallioon ja poraaminen on turhaa, mikäli pehmeää maata on tarpeeksi, että ruuvipaalu saadaan maahan. Betoni tulee paalutuksissa usein kyseeseen vasta viimeisenä. Maaperän ollessa niin kovaa ettei lyöntipaalu tai ruuvipaalu siihen uppoa, tai liian pehmeää etteivät muut paalut pysy pystyssä, on betonipaalutus usein ainoa vaihtoehto. Maaperän ominaisuudet ja sopivuus selviää maaperätutkimuksen avulla. Kuten jo aiemmin on tullut esiin, tilanne muuttuu, kun puhutaan todella pienistä asennuksista. Pienenkin voimalaan nimittäin täytyy paalutuskone hankkia.

POHDINTA

Aurinkoenergialla on valtava potentiaali energiantuotannon muotona. Auringon säteily on käytännössä rajatonta. Euroopassa ja monessa muussa paikassa maailmalla, jossa on enemmän aurinkoa kuin meillä täällä Suomessa, aurinkoenergia onkin merkittävä energiantuotanto muoto. Myös Suomessa aurinkoenergia alkaa nosta päätään ja voimaloiden määrä kasvaa entisestään. Tällä hetkellä suurin osa voimaloista on katolle asennettavia järjestelmiä, mutta myös maa asenteiset järjestelmät valtaavat alaa markkinoilta. Työn toimeksiantajalle on tullut työn valmistumisen aikana useampi tarjouspyyntö maa-asenteisen järjestelmän asentamisesta. Tulevaisuudessa tarjousten määrä varmasti jatkaa kasvamistaan.

Työhön kerättyyn materiaaliin on käytetty lähteenä erilaisia netti artikkeleita ja kirjoituksia. Materiaalia on koottu myös käytännön työstä saadusta kokemuksesta. Olin onnekas kun pääsin haastattelemaan alalla melkein 20-vuotta työskennellyttä asiantuntijaa. Lisäksi sain haastattelusta uusia tärkeitä huomioitavia seikkoja maa-asenteisiin aurinkosähköjärjestelmä projekteihin liittyen.

Työstä jäi puuttumaan kustannustehokkuus osuus johon oli tarkoitus numeroilla selventää eroja eri paalutusvaihtoehtojen välillä. Osa tärkeistä tiedoista jäi saamatta tai eivät olleet tarpeeksi kattavia, jotta laskelmista olisi tullut vertailukelpoisia. Myös selkeys paalutusmenetelmän oikeasta valinnassa tuki tätä päätöstä jättää laskelmat pois työstä.

Työtä olisi ollut mahdollista laajentaa kertomalla lisää eri telinevalmistajista ja eroista telineiden välillä. En kuitenkaan kokenut sitä oleelliseksi tässä tapauksessa ja tämän laajuisessa työssä. Jos työtä lähdetäisiin laajentamaan, voisi keskittyä lisää erilaisiin paalutuksien päälle tuleviin telineratkaisuihin. Toimeksiantajan toimesta on eri telinevalmistajia jo vertailtu ja muutama potentiaalisin on valittu. Näille potentiaalisille telinevalmistajille on tarjouspyyntöjä jo tehtykin.

Työn tavoitteena oli oppia lisää maa-asenteisista aurinkosähköjärjestelmistä ja niiden rakennusprojektien läpiviemisestä. Tarkoituksena oli selvittää, mitä asioita huomioidaan ennen asennusta, asennuksen aikana sekä asennuksen jälkeen. Työssä selvitettiin myös, mikä paalutus menetelmä sopii eri maaperätyypille. Tavoitteeseen pääsin mielestäni melko hyvin. Lukemalla työn läpi, saa kuvan maa-asenteisen aurinkosähköjärjestelmän projektista ja sen eri toimintavaiheista. Työn avulla saatiin myös tärkeitä tietoja yrityksen tulvia asennuksia ajatellen.

LÄHTEET

1. Geologian tutkimuskeskus. Aineistot ja verkkopalvelut. Karttapalvelu. <https://www.gtk.fi/palvelut/aineistot-ja-verkkopalvelut/>
2. Bob Donaldson ja David Bearley. Geotechnical analysis and PV foundation design. 6/2015. Viitattu 20.2.2020. http://definitivesolar.webvent.tv/uploads/assets/4789/document/0001-SP8.3_FE_Donaldson.pdf
3. Schletter. Open area systems. <https://schletter-group.com/open-area-systems/?lang=en>
4. Kelly Pickerell. 2.3.2016. Solar power world. Alternatives to trenching or burying cables on solar farms. <https://www.solarpowerworldonline.com/2016/03/alternatives-trenching-burying-cables-solar-farms/>
5. Civicsolar. Solar wire types for solar pv installations. <https://www.civicsolar.com/article/solar-wire-types-solar-pv-installations>
6. Power from sunlight. 30.10.2017. What you need to know about the cables in solar pv system. <https://www.powerfromsunlight.com/what-you-need-to-know-about-the-cables-in-a-solar-pv-system/>
7. https://www.researchgate.net/profile/Khyati_Vyas3/publication/316789042_Solar_Power_Cable-Informative/links/5911b4984585152e198408f8/Solar-Power-Cable-Informative.pdf
8. SFS-EN 1997-2. 2009/9. Geotekninen suunnittelu. Eurokoodi 7. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto.
9. Kaiva. Maaperän erityispiirteet. Viitattu 20.2.2020. <https://kaiva.fi/geologia/suomen-maapera/maaperan-erityispiirteet/>

10. Nanna Ronkainen. Suomen ympäristö. Suomen maalajien ominaisuuksia. 2/2012. Viitattu 20.2.2020. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38773/SY2_2012_Suomen_maalajien_ominaisuuksia.pdf?sequence=1&isAllowed=y
11. Pihamestari. Pihakivi. Luvassa routaa. 21.1.2016. Viitattu 20.2.2020. <https://www.pihakivi.com/2016/01/luvassa-routaa/>
12. Richard Goulet. Nuclear safety. Report RSP-665-1. Corrosion of steel-h piles at nuclear generating station. Viitattu 22.2.2020. <http://www.nuclearsafety.gc.ca/eng/pdfs/RSP-665-1-final-report.pdf>
13. Sanchez, Daniel 2020.[haastattelu] 10.3.2020. Haastattelijana Roope Lindholm
14. Tarvainen, A. 2016. Aurinkosähkön pientuotannon lupa-, sopimus- ja kaavoitusprosessit Varsinais-Suomessa. Opinnäytetyö. Kestävän kehityksen koulutusohjelma. Turku: Turun Ammattikorkeakoulu. Viitattu 22.2.2020. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/105190/Tarvainen_Anne.pdf?sequence=1&isAllowed=y
15. Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999
16. Karoliina Auvinen ja Lotta Liuksiala. 27.1.2016. Finsolar. Aurinko energian edistämiskeinot kunnissa. FinSolar hankkeen selvityksiä. Aalto-yliopisto. <https://finsolar.net/edistamisivinkit/>
17. Lauren Butler. 11.9.2018. Infrastructurmagazine. Select the right foundation for ground-mounted pv panels. Viitattu 28.2.2020. <https://infrastructuremagazine.com.au/2018/09/11/selecting-the-right-foundation-for-ground-mounted-pv-panels/>
18. Fastensol. Solar ground screw. https://www.fastensolar.com/solar-ground-screw_p68.html
19. Inkinen, T-T 2020. Maa-asennusteline BEETA. Sähköpostikeskustelu 6-19.3.2020 vastaanottaja R.Lindholm. Orima Oy:n teknisen tuen ohjeet maa-asenteisille aurinkosähköjärjestelmän telineille.
20. Dr. T, Kibriy. 2017. International journal for research in applied science and engineering technology. Design of piles for utility scale ground mounted solarsystem in Ontario, Canada Viitattu 28.2.2020 <https://www.ijraset.com/files/serve.php?FID=11952>

21. Matthew Gilis. 11.5.2017. Nuance Energy. Structural overview of earth anchors for pv ground mounter arrays. <https://nuanceenergy.com/solar-blog/structural-overview-of-earth-anchors-for-pv-ground-mounted-arrays>
22. SolarEdge. Power Optimizer Module Add-On. <https://www.solaredge.com/products/power-optimizer#/>
23. SolarEdge. Solar Edge power optimizer. Frame Mounted Module Add-on For Commercial Installations. Viitattu 24.2.2020. <https://www.solaredge.com/sites/default/files/se-p-series-commercial-add-on-frame-mounted-power-optimizer-datasheet.pdf>
24. SFS-EN 62446-1. Aurinkosähköjärjestelmät. Vaatimukset dokumentaatiolle, kunnossapidolle ja testaamiselle. 2016 Osa1: Sähköverkkoon kytketyt järjestelmät. Dokumentaatio, käyttöönottestit ja tarkastus. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
25. SFS 6000-7-712. Pienjännitesähköasennukset. 2012. Erikoistilojen ja -asennusten vaatimukset. Valosähköiset tehonsyöttöjärjestelmät. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

LIITTEET

