

# Maa-asenteiset aurinkovoimalat

Toteutustavat ja telinevalmistajat

LAHDEN  
AMMATTIKORKEAKOULU  
Tekniikan ala  
Ympäristöteknologia  
Ympäristö- ja energiatekniikka  
Opinnäytetyö  
20.3.2018  
Simo Kostilainen

Lahden ammattikorkeakoulu  
Tekniikan ala

KOSTILAINEN SIMO

Maa-asenteiset aurinkovoimalat  
Toteutustavat ja laitevalmistajat

Ympäristö- ja energiatekniikan  
opinnäytetyö

32 sivua

Kevät 2018

TIIVISTELMÄ

---

Työn tarkoituksena oli tutustua maa-asenteisiin aurinkosähköjärjestelmiin sekä niiden valmistajiin ja tehdä niistä selvennystä. Pääkohteena olivat järjestelmien telineiden toimittajat ja niiden asennus toimittajien puolesta. Toisena kohteena oli maaperään ja sen tutkimuksiin keskittyminen sekä rakennus -ja toimenpidelupakäytännöt aurinkosähköjärjestelmien suhteen, kuten kaavoitusasiatkin. Myös Suomessa jo asennettuista aurinkosähköjärjestelmistä tehtiin tutkimusta, ja niistä raportoitiin työn loppuosaan. Työ tehtiin GreenEnergy Finlandin pyynnöstä, ja se tehtiin jo valmiiksi opinnäytetyön muotoon.

Työssä keskityttiin myös etsimään eri valmistajia aurinkosähköjärjestelmien maa-asenteisille telineille ja vertailemaan niitä. GEF:lla oli jo itse aurinkopaneelit ja niiden oheis-sähkölaitteet valittuna, joten niiden esittelyyn ei keskitytty ollenkaan. Telineiden ja maaperätutkimuksen laskennalliset mitoitusjätettiin pois, mutta työhön sisällytettiin kuitenkin ohjeistukset telineiden ja maaperätutkimusten yleisistä asioista.

Valmistajien vertailuun valittiin Lempäälän 2 MWp:n voimalaitos, johon GEF oli saanut tarjouspyynnön. Valmistajilta kysyttiin tarjouksia sähköpostitse ko. voimalaitoksen telineiden toimitukseen sekä asennukseen, jos mahdollista.

Tulokseksi työhön on saatu tietopaketti maa-asenteisten aurinkovoimaloiden toteutuksesta ja huomioitavista seikoista. Valmistajilta saatiin myös tarjouksia Lempäälän voimalaan.

Avainsanat: maa-asenteinen, aurinkovoimala, toteutus, lupa, kaavoitus, suunnittelu, maaperätutkimus, teline

Lahti University of Applied Sciences  
Faculty of Technology

KOSTILAINEN SIMO

Ground-mounted Solar Facilities  
Production and Suppliers

Bachelor's Thesis in Energy and Environmental Engineering 32 pages

Spring 2018

ABSTRACT

---

The purpose of this thesis was to study ground installed solar systems and collect information of them in to one place. The main focus of this thesis is the support structures of the systems; the panels themselves and other electrical components were left out because GreenEnergy Finland Oy has already choices regarding them. Other targets were to examine the installation of the support structures and the ground investigations prior the project. Calculational methods of design and investigations were left out of the thesis. However, this thesis summarises the main points of the installation process and ground investigation process. The permitting and planning of the solar facilities were examined as well, but this was only done regarding Finland. The thesis was made for GreenEnergy Finland Oy.

Other focus in the thesis is quotes from different European companies for the planned Lempäälä 2MWp solar facility. These results are reported in the latter part of the thesis. The method to acquire these quotes was via e-mail. Also, already completed projects in Finland were examined to provide an example basis.

As a result this thesis presents a compact source of information regarding the installation and planning of ground-mounted solar structures. Quotes from suppliers for the Lempäälä project were also acquired for the thesis. However the exact informations about these quotes are left out of this thesis for company secrecy reasons.

Key words: ground, installed, solar, implementation, permit, planning, ground investigation, support

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	ASENNUS JA ERI VAIHTOEHDOT	2
2.1	Asennusmenetelmät	2
2.1.1	Lyöntipaalu	2
2.1.2	Ruuvipaalut	3
2.1.3	Betonipaino	5
2.2	Asennusmenetelmän valinta	5
3	SUUNNITTELU JA TAVOITTEET	7
3.1	Maaperätyypit ja -tutkimukset	13
3.1.1	Maaperätyypit Suomessa	13
3.1.2	Maaperätutkimukset	13
3.2	Kustannukset	18
4	LUVITUS JA KAAVOITUS	19
4.1	Luvat	19
4.2	Kaavoitus	20
5	LEMPÄÄLÄN AURINKOVOIMALA	21
6	LAITEVALMISTAJAT MARKKINOILLA	22
7	SUOMESSA TOTEUTUNEITA HANKKEITA	23
7.1	Keravan aurinkovoimala, Keravan Energia Oy	23
7.2	Sallilan aurinkopuisto, Loimaa, Sallilan Energia Oy	24
7.3	Haminan Mäkelänkankaan aurinkovoimala, useita eri yhtiöitä	25
7.4	Mikkeli, Pitkäjärvi, Etelä-Savon Energia Oy	25
8	YHTEENVETO	27
	LÄHTEET	28
	LIITTEET	32

## 1 JOHDANTO

GreenEnergy Finland Oy on Lappeenrantalainen yritys, joka suunnittelee ja toteuttaa aurinkosähköprojekteja asiakkailleen. Yritys myös toimii tukkurina eri aurinkosähköjärjestelmien osien valmistajien tuotteille.

Aurinkovoima on Suomessa suuressa kasvussa. Kattoasenteisia järjestelmiä on tehty jo pitkään suuremmassakin mittaluokassa, mutta suuren luokan maa-asenteisia aurinkovoimaloita ei ole Suomessa vielä montaa. Maa-asenteisissa aurinkovoimaloissa on paljon potentiaalia, sillä kattoasenteisten järjestelmien koko rajoittuu katon pinta-alaan, kun taas maa-asenteiset voimalat voidaan asentaa suurellekin pinta-alalle.

Maa-asenteiset aurinkovoimalat ovat erityyppisten paaluperustusten tai betonipainon päälle asennettavia järjestelmiä. Paneeleita kannattelevat telineet kiinnitetään näihin perustuksiin. Vaikka järjestelmä voikin vaatia suuren pinta-alan, se voidaan asentaa muuten käyttömättömille tai käyttökelttomille maille, jolloin ne saadaan tuottoisaksi. Voimaloiden pääasiallinen energiantuotanto kuitenkin Suomessa tapahtuu kevät- ja kesäkuukausina.

Aurinkovoiman tulevaisuus näyttääkin valoisalta, sillä kysyntä ei näytä hiipuvan. Myös aurinkovoimaloiden teknologian koko ajan laskeva hinta madaltaa yritysten ja yksityisten tahojen kynnystä hankkia aurinkosähköjärjestelmä tontilleen. Moni yritys kokee vihreyden tärkeäksi imagoa kohottavaksi asiaksi ja hankkii aurinkosähköjärjestelmän tätä tarkoitusta varten. Maailmalla on myös runsaasti tarjontaa, mikä kilpailun ansiosta laskee hintoja vielä enemmän.

## 2 ASENNUS JA ERI VAIHTOEHDOT

### 2.1 Asennusmenetelmät

Itse paneeleita kannattelevia telineitä on monia erilaisia, lähes joka valmistajalla on omanlaisensa. Asennusmenetelmiä on kuitenkin pääasiallisesti kolme: lyöntipaalu, erimuotoiset ruuvipaalut ja betonipaino. Nämä kolme vaihtelevat keskenään niin kustannusten kuin asennusnopeudenkin osalta.

Telinetyypin valinnassa vaikuttaa paljolti paikalliset maaperäolosuhteet. Liian kiviseen maaperään ei ole taloudellisesti kovin kannattavaa paaluja asentaa. Maaperäolosuhteet määritellään ennen suunnittelua huolellisella maaperätutkimuksella.

Seuraavissa alaotsikoissa on esitelty kolme eniten käytettyä asennusmenetelmää aurinkovoimaloissa.

#### 2.1.1 Lyöntipaalu

Lyöntipaalumenetelmässä puusta, betonista tai teräksestä valmistettu lyöntipaalu juntataan maahan. Aurinkosähköjärjestelmissä käytetään lähes aina teräksisiä paaluja. Tämä menetelmä on kustannustehokas, nopea, sekä verrattain edullinen, mutta haittapuolina ovat sen soveltuvuudet. Paalu ei itsessään läpäise maassa olevia esteitä, joten etenkin melko kivisessä maaperässä tämä menetelmä ei välttämättä ole paras vaihtoehto. Paalu voidaan kuitenkin asentaa esteitä sisältävään maaperään poraamalla maahan valmis ylisuuri reikä paalua varten ja sitten paalun asenuksen jälkeen täyttämällä reikään jäävä tyhjä tila betonilla. Tämä kuitenkin tuo lisäkustannuksia. Maa-asenteisissa aurinkosähköjärjestelmissä käytettyjen paalujen koko, muoto ja rakenne vaihtelevat eri valmistajien välillä. (Bushong, White Paper: Foundation Selection For Ground Mounted PV Solar Systems 2014).

Vaikka lyöntipaalun suurimpina etuina ovat sen kustannustehokkuus ja asentamisnopeus, voivat lyöntipaalut osoittautua luultua kalliimmiksi muun muassa maaperästä löytyvien esteiden vuoksi. Paalutuskoneiden ja työvoiman paikalle saanti ja käyttö tuovat lisäkustannuksia. Tämä on suurempi haitta pienemmissä aurinkosähköprojekteissa, sillä laitteistolla ja henkilöstöllä on todennäköisesti kiinteät hinnat. (Donaldson, Brearley, Geotechnical Analysis and PV Foundation Design 2015).

Paalujen kantavuus perustuu yleisimmin kahdella eri periaattella kantavaan menetelmään: kärkitoimisuuteen tai kitkatoimisuuteen. Kärkitoiminen paalu siirtää rakenteesta aiheutuvan kuorman paalun kärjellä kovaan tai tiiviiseen maaperään, kuten kallioon. Kitkatoiminen paalu taas käyttää maan ja paalun pinnan välistä kitkaa hyväksi kuorman siirtämisessä maahan. (Sitharam, Advanced Foundation Engineering 2013).

### 2.1.2 Ruuvipaalut

Ruuvipaalut ovat joko spiraalinmuotoisia kierrepaaluja tai maaruuveja. Ruuvipaaluja käytetään silloin, kun normaali paalumenetelmä ei ole käytettävissä esimerkiksi maassa olevien esteiden vuoksi. Ruuvipaalut jäävät lähemmäksi maanpintaa ja pitävät muodollaan telineen pystyssä. Haittapuolina ovat kalliimpi hinta ja hieman pidempi asennusaika. (Bushong, White Paper: Foundation Selection For Ground Mounted PV Solar Systems 2014).

Spiraalinmuotoinen kierrepaalu on parhaimmillaan silloin, kun normaali paalu ei ole mahdollinen esimerkiksi maaperän huonon koheesio vuoksi. Kierrepaalu on normaalin paalun näköinen, mutta sen pää on terävä, ja siihen on kiinnitetty suuri spiraalinmuotoon taivutettu metallilevy, jota kutsutaan laipaksi. Kierrepaalua kiertämällä paalu uppoutuu maaperään. Kierrepaalulla on suuri vetolujuus ja kantavuus yläpuolisen maamassan painaessa laippaa. (Bushong, White Paper: Foundation Selection For Ground Mounted PV Solar Systems 2014).



Kuva 1 Spiraalinmuotoinen kierrepaalu (ECP Utility).

Maaruuvi soveltuu upotettavaksi maaperään, jossa on paljon esteitä. Ennen ruuvien asentamista maahan yleensä porataan esireikä erillisellä porauslaitteistolla, johon maaruuvi sitten kierretään. Tämä ei kuitenkaan ole pakollista, jos maassa ei ole esteitä. Maaruuvilla on suuri vetolujuus. Myöskään maahan, jossa on paljon esteitä, ei tarvitse maaruuvia käytettäessä porata niin syvää reikää kuin normaalilla paalulla. (Bushong, White Paper: Foundation Selection For Ground Mounted PV Solar Systems 2014)



Kuva 2 Maaruuveja (UK Ground Screws).



### 2.1.3 Betonipaino

Betonipainomenetelmässä paneelitelineet kiinnitetään painavaan betonilaattaan, joka on maan päällä tai aivan pinnassa. Betonipaino on hyvä silloin, kun esimerkiksi maahan ei voi porata, se on kiellettyä tai taloudellisesti kannattamatonta. Haittapuolina ovat logiset ongelmat: betonipaino voi painaa useita tonneja. Hinta on myös korkeampi kuin normaaleissa metallipaaluissa. Betonipaino on kuitenkin soveltuvien vaihtoehtojen pienen kokoluokan voimaloille, koska asennuskulut ovat pienemmät ja betonipaino ei tarvitse niin perusteellisia maaperätutkimuksia. (Bushong, White Paper: Foundation Selection For Ground Mounted PV Solar Systems 2014)



Kuva 3 Betonipainojen päälle asennetut telineet (Schletter).

## 2.2 Asennusmenetelmän valinta

Asennusmenetelmän valintaan vaikuttavat pääasiassa maaperätutkimuksista saadut tulokset. Ne voivat kokonaan estää tai tehdä kannattamattomaksi jonkun telinevaihtoehdoista, muun muassa maaperän liiallisen kivisyyden vuoksi.

Aurinkosähköjärjestelmällä voi olla myös rajoituksia, esimerkiksi jos maata ei saa käsitellä kohteessa tai se on olla rajoitettua. Tällöin ainoaksi vaihtoehdoksi jäisi betonipainoperustainen järjestelmä.

Järjestelmälle asetetut tavoitteet vaikuttavat telineiden valintaan. Tuuli- ja lumikuormat vaikuttavat näissä eniten. Kustannukset vaikuttavat myös valintaan; jokin telinevaihtoehdoista voi olla yksinkertaisesti liian kallis toteutettavaksi kyseisessä kohteessa.

### 3 SUUNNITTELU JA TAVOITTEET

Maa-asenteisten aurinkovoimaloiden suunnittelussa tulee huomioida maan kyky vastustaa ja kantaa telineestä aiheutuvia voimia. Riittävä maaperän tutkimus ennen projektin suunnittelua on tärkeää, jotta vältetään liialliselta ylisuunnittelemiselta ja saadaan ajettua voimalan valmistuskustannuksia alemmas. Telineen valinnassa pitää myös huomioida telineen ruostumien, etenkin maahan asennettavissa osissa. Myös kiellot ja rajoitukset tulee huomioida telineen valinnassa, esimerkiksi vanhalla kaatopaikalla tai pilaantuneen maan alueella ei mahdollisesti saa käsitellä maata, jolloin betonipaino on paras vaihtoehto. Mikäli paneelit asennetaan useaan riviin, eivät paneelit saa varjostaa toisiaan, ja paneelirivistöt onkin asetettava riittävän etäälle toisistaan. (Donaldson, Brearley, Geotechnical Analysis and PV Foundation Design 2015).

Rakennusinsinööriliiton Pienpaalutusohjeessa on listattu paalutuksiin aiheutuvat kuormat, jotka tulee ottaa suunnittelussa huomioon:

- pystykuormitus
- vaaka- ja momenttikuormitus
- sivukuormitus
- negatiivinen vaippahankaus.
  - Negatiivista vaippahankausta syntyy, kun maa itse paalun ympärillä painuu enemmän kuin paalu.

(Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, Pienpaalutusohje 2007, s. 82)

Aurinkosähköjärjestelmien tulee kestää sekä tuulen aiheuttamat kuormitukset että lumen aiheuttamat kuormitukset. Asennusalue on myös aidattava eläinten ja ilkeiden vuoksi.

Telineet voidaan myös asentaa eri lukumäärille jalkoja. Valmistajat tarjoavat yleensä yksijalkaisia telineitä (paalut telinerivin keskellä) tai kaksijalkaisia telineitä (paalut kahdessa rivissä telineiden reunalla). Yksijalkaisen telineen paaluihin kohdistuu suuremmat voimat kuin kaksijalkaisiin telineisiin; nämä voimien erot täytyy ottaa huomioon

järjestelmän suunnittelussa. (Donaldson, Brearley, Pv Foundation Design 2015). Jotkut valmistajat tarjoavat myös kolmijalkaisia telineitä, mutta ne ovat harvinaisempia.

Suunnitteluvaiheessa tulee myös huomoida maarakentamisen tarpeellisuus ja määrä. Maarakentamisen vähentäminen voi nopeuttaa aurinkovoimalaprojektin kokonaispituutta, mutta jos kaikkea maa-alaa ei saada hyötykäyttöön, voi voimalan kokonaisteho jäädä odotettua alhaisemmaksi. Maarakentamisen vähentäminen myös vähentää kustannuksia. (Laughlin, Reaugh, Morrison, Hamon, Beisner, Jacobs, Ground-Mounted Racking Considerations 2016).

Tuuli- ja lumikuormat ovat olennaisessa osassa aurinkosähköjärjestelmän suunnittelua. Tuulikuormat aiheuttavat nostoa ja painetta paneelitelineeseen sekä kallistavia voimia. (Samani, Wind Loading on Full-scale Solar Panels 2016). Alueilla, joissa on runsaasti lunta, on myös huomioitava lumen korkeus maan pinnasta; paneelirivistön alareuna täytyy jättää odotetun korkeimman lumimäärän yläpuolelle. (Bray, Ground-Mounted PV 2010).

Jos voimalan kaapelointi upotetaan maahan, tulee suunnitteluvaiheessa huomioida kaapelien upotuksen kaivuun etäisyys paneelitelineisiin. Upotuksen läheisyys voi vaikuttaa telineitä tukevan maan kestävyyyteen negatiivisesti. (Bray, Ground-Mounted PV 2010).

Aurinkovoimalan sijoituskohdetta suunnitellessa on myös huomioitava kohteelle pääsy. Etenkin suuremmat projektit voivat vaatia isokokoista kalustoa, jonka on päästävä paikalle. Kaluston pitää myös mahtua liikkumaan alueella ja paneelirivistöjen välissä. Myös valumaveden kerääntyminen aurinkovoimalan alueelle on estettävä. Jos aurinkovoimalan alue sijaitsee tulva-alueella, on sähkölaitteet sijoitettava tulvarajan yläpuolelle. Veden kertyminen voimalan alueelle aiheuttaa myös paneelitelineiden paalujen ruostumista. (Bray, Ground-Mounted PV 2010).

Ruostuminen on etenkin maahan upotettavien teräsrakenteiden ongelma. Maaperään upotettua teräspaalua ruostuttaa maaperässä esiintyvä happi, kosteus ja kemikaalit. Näistä tärkein tekijä on happi, joka nopeuttaa ruostumista huomattavasti. Happea on kuitenkin vähemmän häiriintymättömässä maassa. Syvemmillä painuneessa ja häiriintymättömässä maassa voi olla täysin hapettomat olosuhteet, jossa paalurakenteet eivät ruostu hitaasti. (Canada, Corrosion Impacts on Steel Piles 2012).

Ruostumiselta suojautumiseen on olemassa muutamia keinoja. Yksi yleisimmistä on tilata valmistajalta paalut, joissa on galvanoitu sinkkikerros pinnoituksena. Sinkki toimii ”uhrina” ruostumiselle ruostuessaan ensin pinnoitetun teräspaalun pinnalta, suojaten kantavaa teräspaalua. Sinkki kuitenkin lopulta kuluu pois teräksen pinnalta jonka jälkeen itse kantava teräs alkaa ruostua. Toinen yleinen keino on erilaiset epoksi- tai maalipinnoitteet. Ne suojaavat terästä hyvin, mutta voivat vahingoittaa paalutuksen aikana. Muita keinoja ovat sementin valu paalun ympärille ja yksinkertaisesti paksumman teräspaalun käyttö. (Canada, Corrosion Impacts on Steel Piles 2012).

Telineiden suunnittelussa tulee myös ottaa huomioon metalliosion lämpölaajeneminen. Lämpötilojen vaihdellessa vuoden aikana telineisiin voi muodostua jännitteitä jotka voivat vahingoittaa paneeleja tai itse telineitä. Alumiiniin lämpötilojen muutokset vaikuttavat eri tavalla kuin teräkseen; alumiiniset telineet tarvitsevatkin enemmän välejä pitkissä telineriveissä. Myös itse paneeleiden metalliosat laajenevat, joka on otettava huomioon telineitä suunnittelussa. (Bray, Ground-Mounted PV 2010).

Routa vaikuttaa pääasiallisesti nostavalla tavalla paaluihin. Kun maa jäätyy, voi se jäätyä kiinni paaluun, jolloin maan kohotessa jäätymisen vuoksi myös paalu kohoaa ylöspäin. Maa paalun alla asettuu sen sulaessa ja paalu ei enää vajoa takaisin entiselle paikalleen, jolloin telineeseen

kertyy vuosittain yhä enemmän jännitettä. (Is Your Foundation Design Winter-Proof? Four Steps to Protect Your Solar Investment 2017).

Roudan paaluja nostavaan voimaan vaikuttaa kolme tekijää: maahan syntyvän jään määrä, maan ja paalun välinen sidosvoima maan jäätyessä ja paalun pinta-ala. Nostavaa voimaa taas vastustaa pääasiassa routakerroksen alapuolisen osuuden paalun ja maan välinen sidosvoima, joka aiheutuu maan ja paalun välisestä kitkasta. Upottamalla paalut riittävään syvyyteen voidaankin roudasta aiheutuvilta nostovoimilta suojautua. Routarajan arvioinnissa käytetään kerran 50 vuodessa esiintyvää routaa. Paalujen routasuojaus tapahtuu muunmuassa upottamalla paalut riittävästi routarajan alapuolelle. (Kibriya, Tahir, Adfreeze Forces on Lightly Loaded Pile Foundations of Solar PV Farms in Cold Regions 2015). Routaeristystä ei tarvita paaluissa, jos paalun kantavat osat upotetaan routarajan alapuolelle. (Ruuvipaalu - nopea perustusmenetelmä 2012).

Paneelien kallistuskulman suuruus maa-asenteisissa aurinkovoimaloissa riippuu kohteen sijainnista leveyspiirin mukaan, mitä pohjoisemmaksi mennään, sitä suurempi kallistuksen tulee olla, jotta saadaan optimimäärä energiaa talteen. (Landau, Optimum Tilt of Solar Panels 2017).

Perustusten tyyppi voi kuitenkin vaikuttaa asennuskulman suuruuteen. Betonipainoille perustettaessa kallistuskulma jätetään yleensä 20 asteeseen, koska suurempi kulma aiheuttaa suurempaa tuulikuormitusta, joka vaatii suurempaa ja kallimpaa painoa. Kallistuskulma vaikuttaa myös lumen, roskien ja lian kertymiseen paneelien päälle; suurempaan kallistukseen lumi ei tartu niin herkästi ja sadevesi huuhtelee roskat ja lian pois paneelien pinnalta. (International Finance Corporation, Utility-Scale Solar Photovoltaic Power Plants 2015).

Telineiden ja paneelien oikeaan riviväliin asentaminen on ensiarvoisen tärkeää aurinkovoimalassa, sillä jos paneelirivit varjostavat toisiaan, voi suuri osa tai koko sähköntuotanto lakata varjostuneelta riviltä, vaikka paneelit eivät olisikaan kokonaan varjossa. Rivivälin laskennassa

käytetään tyypillisesti talvipäivänseisauksen auringonpaisteen kulmaa kello 9 tai kello 15 aikaan. (Mehalic, Interrow Spacing 2012).

Paneelirivistöjen sijoittelussa voidaan myös käyttää apuna laskennallisia ohjelmia. Nämä tietokoneohjelmat laskevat auringon ja kuun paikan sekä liikkeen taivaalla vuoden aikana. Tulosten avulla voidaan paneelirivistöt sijoittaa optimaalisiin riviväleihin, suuntaukseen ja kallistuskulmaan. (International Finance Corporation, Utility-Scale Solar Photovoltaic Power Plants 2015, s. 67).

Mahdollisesti tarpeelliset maaperätutkimukset tulee ottaa huomioon suunnitteluvaiheessa. Tutkimuksista saaduilla tuloksilla voidaan telineiden perustukset tehdä oikein ja kustannustehokkaasti. Tyypillisesti tutkimukset tehdään käyttäen koeporauksia ja -kaivantoja, 5-10 kappaletta eri kohdissa vomalan alueella. (Bushong, White Paper: Foundation Selection For Ground Mounted PV Solar Systems 2014).

Paalutustyöstä laaditaan myös toteutussuunnitelma, joka laaditaan kirjallisena työselostuksena ja kuvina. Toteutussuunnitelmassa esitetään paalutustyöluokan vaatimat työtavat ja siitä tulee löytyä mm. käytettävä paalutuskalusto, paalujen kuljetus, varastointi ja käsittely, sekä paalujen liittäminen yläpuolisiin rakenteisiin ja työturvallisuustoimenpiteet. Yksityiskohtainen lista löytyy RIL:n paalutusohjeesta. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, Paalutusohje 2011).

Maa-asenteisten aurinkovoimaloiden telineille ja itse maarakentamiselle on olemassa standardeja. Tässä työssä ei kuitenkaan käsitelty itse aurinkopaneelien standardeja eikä myöskään järjestelmän oheis-sähkölaitteille kuuluvia standardeja. Paalurakennelmia koskevat ohjeet ja standardit löytyvät RIL:n paalutusohjeesta, sekä pienpaalutusohjeesta.

Paalujen suunnitteluvaiheessa valitaan erilaisia mitoitusilanteita, joiden valinnassa huomioidaan erilaiset ennalta määritellyt kuormitukset. Valittujen mitoitusarvojen tulee olla standardin SFS-EN 1991 ja sen kansallisen liitteen mukaisia, jotka ovat myös sisällytetty

soveltamisohjeineen julkaisuun RIL 201-1-2008. Tämän lisäksi laskuissa käytettävien kuormien on vastattava toteutuvaa tilannetta ja rakenteen, rakenteen perustuksen sekä maapohjan välinen yhteistoiminta tulee ottaa tarvittaessa huomioon. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, Paalutusohje 2011).

Mitoituksessa otetaan vielä huomioon muun muassa seuraavia tekijöitä:

- pysyvät hyötykuormat rakenteista
- maan, kallion ja veden paino
- veden ja jään paineet
- jännitykset maapohjassa; maanpaineet ja pohjavedenpaine mukaan lukien suotovirtauksesta aiheutuvat paineet
- työkone- liikenne- ja muut pintakuormat
- liukumisen tai painumisen aiheuttamat siirtymät sekä muut siirtymät ja muodonmuutokset
- rakentamisen vaikutuksista syntyvät kuormat mukaan lukien maan kaivu ja läjitykset
- räjäytyksistä, tärinästä tai dynaamisista kuormituksista aiheutuvat siirtymät ja kiihtyvyydet
- lämpöliikkeet ja routakuormat
- negatiivinen vaippahankaus
- perustusten epätasainen painuminen

Laaja luettelo on esitetty julkaisun RIL 207-2009 luvussa 2.4.2.

Mitoitustilanteina tulee huomioida lyhytaikaiset ja pitkäaikaiset rasitustilanteet sekä niiden yhdistelmät kulloinkin soveltuvien osien. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, Paalutusohje 2011).

Tarkemmat tiedot paalutusten kuormien laskennallisesta mitoituksista ja suunnittelusta löytyvät RIL:n Paalutus- ja Pienpaalutusohjeesta.

Kummassakaan paalutusohjeessa ei kuitenkaan käsitellä kierrepaalujen laskennallista mitoitusta. Paalupiste Oy on tehnyt laskennalliset ohjeet kierrepaalujen mitoitukseen RIL:n paalutusohjeita seuraten.



### 3.1 Maaperätyypit ja -tutkimukset

#### 3.1.1 Maaperätyypit Suomessa

Suomen yleisin maaperätyyppi on moreeni, joka peittää maa-alasta noin 50%. Sitä esiintyy joko kallioperää peittävinä kerroksina tai omina muodostuminaan. Moreenissa on sekaisin eri raekokoja savesta lohkaraisiin. Moreeneja on eri tyyppisiä, joista yleisin, hiekkamoreeni on routivaa, kuten myös hienoaineksinen moreeni. Moreeneista ainoa routimaton tyyppi on soramoreeni. Suuren vaihtelevuuden vuoksi moreenimaat ovat keskinkertaisia rakennusalustoina. Kantavuus huononee mitä enemmän moreenissa on hienoaineksia. (Haavisto-Hyvärinen, Kutvonen, Maaperäkartan Käyttöopas 2007).

Muita maalajeja ovat sora, hiekka, hieta, hiesu ja savi. Sora ja hiekka soveltuvat mainiosti rakentamiseen routimattomuutensa ja suuren kantavuutensa vuoksi, kun taas hieta, hiesu ja savi ovat routivia. Hienorakeiset hieta, hiesu ja savi soveltuvat myös huonosti rakennusalustoiksi heikon kantavuutensa vuoksi. (Haavisto-Hyvärinen, Kutvonen, Maaperäkartan Käyttöopas 2007).

On myös olemassa eloperäisiä maalajeja, jotka jaetaan kahteen lajiin: liejuihin ja turpeisiin. Liejut ovat useimmiten kerrostuneet avovesien pohjiin. Turpeet ovat paikalla kasvaneiden kasvien jäännöksiä. Molemmat lajit soveltuvat huonosti rakennusalustoiksi heikon kantavuutensa vuoksi. Ne ovat myös routivia. (Haavisto-Hyvärinen, Kutvonen, Maaperäkartan Käyttöopas 2007).

#### 3.1.2 Maaperätutkimukset

Riitävien maaperätutkimusten tekeminen on tärkeää jotta saadaan oikeanlainen suunnittelu toteutettua kohteelle. Oikeanlaisella suunnittelulla taas saadaan ajettua kokonaiskustannuksia alemmas, vältetään yllättäviä lisäkustannuksilta ja aurinkopaneelijärjestelmälle aiheutuvilta vahingoilta.

Maaperätutkimuksen yleisiä vaatimuksia koskevat standardit ovat SFS-EN 1997-1 ja SFS-EN 1997-2 sekä huomioon otettavat kansalliset asiakirjat niin kauan kun käytettävissä ei ole eurooppalaisia standardeja. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, Paalutusohje 2011).

Näissä standardeissa on esitetty eri menetelmiä maaperätutkimukseen sekä geotekniseen suunnitteluun.

Maaperätutkimuksissa käytetään pääasiallisesti kolmea menetelmää:

- maastokatselmus
- testikuopat
- koekairaukset

(Donaldson, Brearley, Geotechnical Analysis and PV Foundation Design 2015).

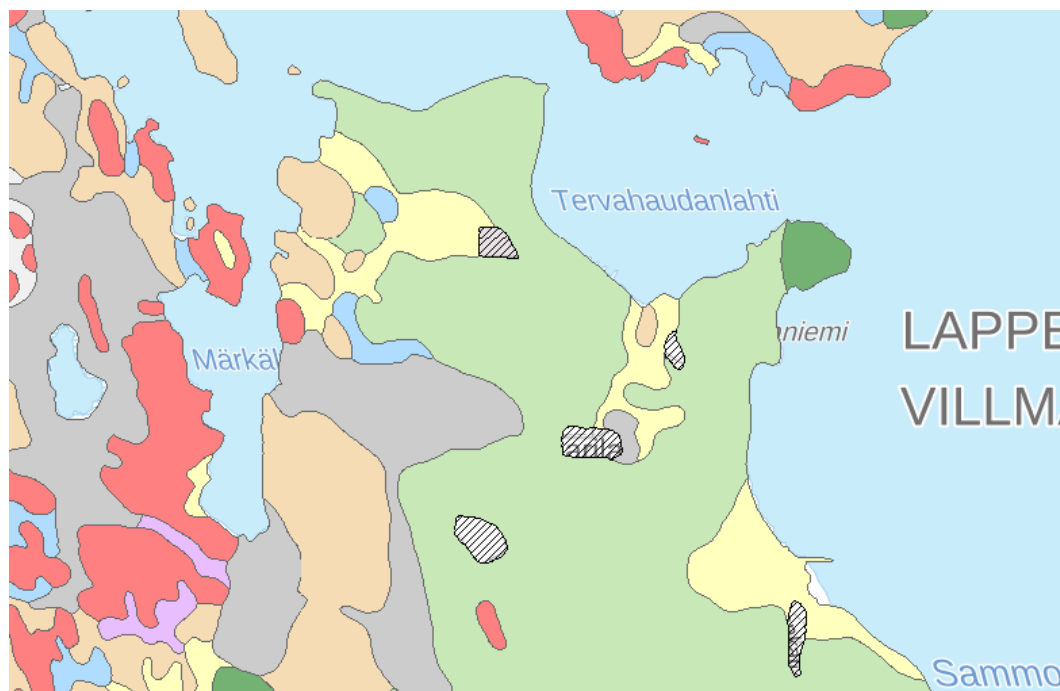
Maastokatselmus aloitetaan tutustumalla kohteesta jo olemassa olevaan aineistoon. Tällä selvitetään tonttien rajat ja koko ja jos paikalla on jo kaavoitus, ja siihen liittyvät määräykset. Jos myös alueelle on jo joskus aikaisemmin tehty maarakennustöitä, on suositeltavaa tutustua niiden rakennussuunnitelmiin joista selviää onko alueella minkälaista maata ja onko alueelle mahdollisesti tuotu täyttömaata. (Donaldson, Brearley, Geotechnical Analysis and PV Foundation Design 2015).

Ilmakuvista voi varjojen avulla päätellä aurinkopaneeleita varjostavia elementtejä ja laskea niiden korkeuksia aurinkopaneelien sijoitusta varten. Suuresta osasta Suomea on myös olemassa Geologian Tutkimuskeskuksen laatima maaperäkartta, joka löytyy GTK:n verkkosivuilta. Karttaa katsomalla saadaan selville maaperä, mitä voidaan kohteessa odottaa olevan. Joskus etenkin kaupunkialueelta löytyy jo vanhoja kairanäytteenottoaikoja, jotka löytyvät kunnallisista karttapalveluista. Maaperätutkimusten aloitusvaiheessa tulee myös laskea telineistä aiheutuvat kuormat mahdollisimman tarkkaan valmiiksi, jotta voidaan katsoa kestäkö maaperä telineistä aiheutuvat kuormitukset. Maastokatselmuksella selvitetään lisäksi kohteen pinnanmuodostus, kasvipeite, kalliopaljastumat sekä pintakivisyys.

Standardissa SFS 1997-2 on listattu esimerkkejä tiedoista ja asiakirjoista joita voidaan käyttää hyväksi maaperätutkimusten suunnittelussa:

- topografiset kartat
- vanhat kaupunkikartat, jotka kuvaavat rakennuspaikan aikaisempaa käyttöä
- geologiset kartat ja kuvaukset
- pohjavesikartat ja -kuvaukset
- geotekniset kartat
- ilmakuvat ja aikaisemmat kuvatulkinat
- aerogeofysikaaliset tutkimukset
- aikaisemmat tutkimukset rakennuspaikalla ja sen ympäristössä
- aikaisemmat kokemukset alueelta
- paikalliset ilmasto-olosuhteet

(Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, SFS-Käsikirja 207, Eurokoodi 7. Geotekninen suunnittelu, standardi SFS-EN 1997-2, s. 23)



Kuva 4 Maaperäkartta Lappeenrannan Skinnarilasta. (GTK:n Maankamara- karttapalvelu)

Itse maaperän tutkimukset suoritetaan tekemällä koekaivantoja ja/tai -porauksia. Näillä keinoilla selvitetään pääasiassa maaperän koostumus; sisältääkö maaperä tarkalleen mitä maalajeja ja onko maaperässä esteitä. Kaivannoilla ja porauksilla saadaan myös selville pohjaveden pinnan korkeus, joka on tärkeä tekijä paalujen upotussyvyyden määrittämisessä. Liian korkea pohjaveden pinta voi aiheuttaa maaperän juoksettumista. (Donaldson, Brearley, Geotechnical Analysis and PV Foundation Design 2015).

Tärkeä osa maaperätutkimuksia on selvittää maaperän kyky kantaa ja vastustaa telineistä aiheutuvia kuromia. Tämä tapahtuu suorittamalla kokeita käyttämällä koepaaluja. Koepaalut altistetaan lasketuille telineeseen kohdistuvilla voimilla. (Bushong, White Paper: Foundation Selection For Ground Mounted PV Solar Systems 2014).

Valumaveden kertyminen alueelle on myös selvitettävä jotta alueelle kertyvä valumavesi saadaan johdettua pois kuivien työolosuhteiden aikaansaamiseksi ja eroosion estämiseksi. Valumaveden johtamisjärjestelmät eivät kuitenkaan saa häiritä perustusten kestävyyttä ilman perustusten kestävyuden takaamista. (URS Corporation, Preliminary Geotechnical Investigation for Proposed Solar Plant, Lost Hills, Kern County, California 2010).

Maaperän routivuus on tärkeä selvittää ja myös humioida suunnitteluvaiheessakin. Routa voi aiheuttaa sivukuormitusvoimia paaluihin maan liikkuessa routimisen aikana. (Tielaitos, Teräspuutkipaalut 1999, s. 36).

Routa myös voi aiheuttaa nostavia voimia järjestelmän telineisiin. Jos routa tapahtuu paalutusten eri kohdissa eri tavalla, aiheuttaa liikuttavat voimat jännitteitä telineen rakenteisiin. Routa asettuu telineen perustusten alapuolella vuosittain, aiheuttaen kasvavaa jännitystä rakenteisiin. (Is Your Foundation Design Winter-Proof? Four Steps to Protect Your Solar Investment 2017).

Projektin alueelta on suositeltavaa myös ottaa katsaus alueen korkeuseroihin. Jos rinteet ovat liian jyrkkiä valittujen telineiden kallistusrajoille, jolloin telineiden kulmaa täytyy lieventää maarakentamisen keinoin. (Interpreting Geotechnical Results: What to Look For And How to Best Leverage the Data 2017).

Ruostuminen on metallisten maapaalujen suuri ongelma, etenkin jos paaluperustuksilta haetaan pitkää ikää. Maaperän ruostuttamispotentiaali onkin selvittävä ennen suunnitteluvaihetta, jotta osataan valita oikeilla ruostumisenestomenetelmillä varustetut paalut. Ruostumista aiheuttaa maaperän happipitoisuus, resistanssi(sähkötekkinen), maaperään sitoutuneet suolat, vesi ja happamuus. (Nduuku, An Introduction to Soil Corrosion 2017).

Ruostumiseen vaikuttaa myös maaperän häiriintyneisyys.

Häiriintyneisyydellä tarkoitetaan sitä, kuinka paljon ihminen on maata käsitellyt, esimerkiksi peltomaa on hyvin häiriintynyt. Häiriintyneeseen maaperään on päässyt käsittelyn aikana happea, joten sen ruostuttava vaikutus on suurempi kuin häiriintymättömän maaperän. (Canada, Corrosion Impact on Steel Piles 2012).

Kuitenkin hyvin ilmastava maa ruostuttaa metalleja vähemmän koska se pidättää vettä huonommin ja vesi haihtuu siitä paremmin.

Suurempirakeiset maalajit ilmastavat paremmin kuin pienirakeiset, joten niissä ruostuminen on hitaampaa. (Nduuku, An Introduction to Soil Corrosion 2017).

Tyypilliset maaperätutkimuksissa selvittävät asiat ovat:

- pohjaveden pinta
- maaperän resistiivisyys
- maaperän kantokyky
- esteet maaperässä
- valitun perustuksen soveltuvuus maaperään ja paalutusmahdollisuus

- maaperän happamuus/emäksisyys sekä muut mahdollisesti perustuksia syövyttävät kemikaalit
- muut maaperässä jo olevat maaperää pilaannuttavat aineet
- lisäksi muut mahdolliset riskit kuten routivuus, eroosion mahdollisuus ja valumavesien kertyminen alueelle. (International Finance Corporation, Utility-Scale Solar Photovoltaic Power Plants 2015).

### 3.2 Kustannukset

Maa-asenteisista aurinkovoimaloissa yksi suurimmista muuttujista on perustukset. Muutokset projektissa voivat aiheuttaa suuriakin kustannuksia, jos esimerkiksi maassa oleviin esteisiin ei olla varauduttu kunnolla. Huolimaton suunnittelu on myös yksi riskitekijä; perustusten pettäminen tuo korjauskuluja. Ylimääräistä maan käsittelyä tulisi välttää, sillä maan kaivu ja kuljetus tuo lisäkustannuksia. (Laughlin, Reaugh, Morrison, Hamon, Beisner, Jacobs, Ground-Mounted Racking Considerations 2016).

Jo tarjousten kyselyvaiheessa olisi hyvä olla riittävästi tietoa paikallisista maaperäolosuhteista, jotta saadaan tarkemmat kustannusarviot projektille. Alustavat hintatiedot voivat muuttua kun valmistajille toimitetaan geotekniset tiedot jälkeinpäin.

## 4 LUVITUS JA KAAVOITUS

### 4.1 Luvat

Maankäyttö- ja rakennuslaissa on pykälä 126, jonka 1. momentin 13. kohdan mukaan aurinkosähköjärjestelmän asentaminen tarvitsee toimenpideluvan, jos sen asennus tai rakennus vaikuttaa kaupunkikuvaan tai ympäristöön merkittävästi: (Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999 §126a).

*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.*

Aurinkoenergiajärjestelmien luvituksessa ei ole yhteinäistä valtakunnallista ohjeistusta, vaan kunnilla on omat ohjeistukset erikseen asiasta. Joissakin kunnissa ei ole huomioitu ollenkaan aurinkoenergiajärjestelmiä kuntien rakennusjärjestyksessä. (Finsolar, Toimenpideluvat).

Jos kuitenkin ilmenee, että projektille toimenpidelupa tai rakennuslupa tarvitaan, luvan myöntäjänä toimii kunnan rakennusvalvontaviranomainen. (Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999 §130).

Kuntien verkkosivuilta löytyvistä lupalomakkeista löytyvät tarkemmat ohjeet itse lupien sisällöstä.

Lappeenrannan rakennusvalvonnan tarkastusinsinööriltä Tapio Rapilta kysyttiin vielä näkemystä maa-asenteisten aurinkopaneelien lupa asioista. Vastauksessaan hän vahvisti aurinkovoimaloiden tapauskohtaisen tarkastelun lupa-asioissa. Hän kuitenkin huomautti, että kaikissa tapauksissa tulee huomoida naapurit ja onko asennuksista heille haittaa,

tonttien koko ja rajojen läheisyys sekä mitä vaikutuksia aurinkovoimalalla on ympäristöön.

#### 4.2 Kaavoitus

Kuten aurinkosähköjärjestelmän rakentamisen luvituksessa, ei ole maa-asenteisten aurinkosähköjärjestelmien kaavoituksessakaan yhtenäistä valtakunnallista ohjeistusta. Lappeenrannan kaupungin asemakaava-arkkitehti Matti Veijovuori kertoi puhelinhaastattelussa että Lappeenrannan kaupungissa ei tarvitse asemakaavaa laatia maa-asenteisesta aurinkovoimalasta erikseen. Yleiskaavan osalta aurinkosähköjärjestelmä pyritään sijoittamaan kaavaan merkatuille teollisuusalueille sekä maa- ja metsätalousalueille.



## 5 LEMPÄÄLÄN AURINKOVOIMALA

Lempäälän kunta on aloittanut koko kunnan energiaomavaraisuushankkeen, johon sisältyy 4 MWp:n aurinkovoimala. Aurinkopaneeleita voimalaan tulisi noin 13000 kappaletta, ja omavaraisuushankkeen kokonaiskustannuksiksi on arvioitu noin 15 miljoonaa euroa. Hanke oli myös saanut 4,74 miljoonan euron tuen työ- ja energiaministeriöltä. Voimalan vuosittaiseksi tuotannoksi on arvioitu noin 3600 MWh. Voimalaitoksen pitäisi olla käyttökunnossa kesällä 2019 ja se sijaitsee Lempäälässä Ideaparkin kohdalla, toisella puolella valtatieta. (Roth, Lempäälään nousee aurinkopaneelien jättikenttä – tuottaa sähköä jopa 720 kerrostalon tarpeisiin 2017).

Omavaraisuushankkeeseen kuuluu myös polttokennojärjestelmä teholtaan 116 kW ja kaasumootorit teholtaan 8 MW. (Lempäälän Energia, Energiaomavarainen Lempäälä 2017).

GEF:ltä on pyydetty tarjous 2 MWp:n kokoisesta aurinkovoimalasta, joka olisi tarkoitus asentaa paaluperustuksin. Telineiden valmistajille sähköpostitse lähetetyissä tarjouspyynnöissä käytettiin tätä tilauspyyntöä, joiden tuloksia käsitellään luvussa 5. Tämän opinnäytetyön tekemisen aikaan projekti oli vasta tarjouspyyntövaiheessa, joten muuta tietoa ei ollut vielä saatavilla.

## 6 LAITEVALMISTAJAT MARKKINOILLA

Maailmalla on monia aurinkosähköjärjestelmien osien toimittajia. Tässä selvityksessä keskityttiin kuitenkin pääasiallisesti euroopan alueeseen lyhyempien toimitusaikojen vuoksi. Toimittajille lähetettiin sähköpostiviestejä koskien Lempäälän aurinkovoimalaa. Tässä luvussa on lyhyesti esitelty kyselyn tulokset. Tarkemmat tiedot valmistajilta saaduista tarjouksista jätettiin pois yrityssalaisuuksien vuoksi. Vaikka tarjouskyselyjä lähetettiin suurelle määrälle eri valmistajia, jäi saatujen tarjousten lukumäärä kuitenkin pieneksi.

Projekti olisi tarkoitus toteuttaa siten, että paneelit asennetaan pystyasentoon, kahteen riviin ja rivien pituus olisi 9 paneelia. Asennuskulma olisi 30° ja paneelit olisivat JA-Solarin 330 watin 72 kennoisia paneeleita, joiden koko on 1960x991x40 millimetriä. Tarjouksia pyydetessä käytettiin näitä tietoja.

Tuloksia saatiin yhteensä kahdeksalta eri valmistajalta, noin puolet tarjouspyynnöistä hankki GEF:in Otto Tynys. Nämä tulokset koottiin yhteen taulukkoon josta on selkeä vertailla hintoja. Tarjousten hinnat vaihtelivat suuresti, mutta keskiarvoksi muodostui noin 190 000 euroa.

Suuri osa valmistajista oi valmis toimittamaan ja/tai asentamaan telineet. Asennuksen keskiarvoksi muodostui noin 75 000 euroa, kuljetuksen keskiarvoksi noin 15 000 euroa Muutama valmistaja tarjosi myös kahta erilaista vaihtoehtoa projektin toteutukseen.

## 7 SUOMESSA TOTEUTUNEITA HANKKEITA

### 7.1 Keravan aurinkovoimala, Keravan Energia Oy

Keravan Energian hankkiman aurinkovoimalan rakennustyöt aloitettiin 25.8.2015 ja se valmistui koekäyttöön 28.1.2016. Voimalaitos liitettiin valtakunnalliseen verkkoon 1.3.2016 ja normaali tuotanto käynnistyi. Keravan Energian internet-sivuilta löytyy lyhyt luettelo voimalaitoksen teknisistä tiedoista:

- 774 aurinkopaneelia kuudessatoista rivissä
- rivien väli 3607 mm
- asennus 38°-kulmassa
- suuntaus etelään 180°
- paneelien maa-asennus kierrepaaluilla
- kunkin paneelin teho 320 W
- piikkiteho 247,68 kWp
- paneelit kotimaisia (Areva Solar)
- maksimijännite 800 VDC
- neljä invertteriä (SMA, Tanska)
- voimalalla oma sääasema (Keravan Energia, Usein kysyttyä Keravan aurinkovoimalasta).



Kuva 5 Keravan aurinkovoimala (Keravan energia, Projektin kuulumiset).

Aikaväliltä maaliskuu-lokakuu 2016 kerättyjen tietojen mukaan aurinkovoimala tuotti kyseisellä aikavälillä yhteensä 204 MWh sähköä. Vuonna 2017 tuotanto koko vuodelta oli noin 197 MWh. Keravan Energia myös vuokraa paneeleita kuluttajille. Voimalan sijainti on Keravalla, vankilan läheisyydessä, Lahdentien ja Lahden moottoritien välissä (Keravan Energia, Keravan Aurinkovoimala)

Keravan aurinkovoimalasta kysyttiin Keravan Energia Oy:ltä sähköpostitse voimalaitoksen perustuksista ja lupa-asioista. Voimalaitoksessa käytettiin kierrepaaluja niiden helppouden ja edullisuuden vuoksi. Alue, jolle voimala tehtiin on vanha maankaatopaikka, jolle oli aiemmin läjitetty jätemaata 3-4 metrin kerros. Sen alla on paksu patja savea. Kierrepaalut paalutettiin parin metrin syvyyteen. Kaavoitusta voimalaitoksen alueella ei ole, mutta rakennuslupa piti voimalalle hakea. Voimalaitos on tehty kaupungin omistamalle maalle sopimuksella, ja jos kaupunki tarvitsee aluetta muuhun käyttöön, voidaan voimalaitos siirtää pois.

## 7.2 Sallilan aurinkopuisto, Loimaa, Sallilan Energia Oy

Sallilan aurinkopuisto on 28.7.2016 valmistunut aurinkosähköjärjestelmä Sallilan Energia Oy:lle Loimaan Hulmin teollisuusalueen vieressä. Aurinkopaneelit tuottivat vuonna 2017 yhteensä noin 708 MWh sähköä. (Sallilan Energia)

Voimalan teho on 760 kWp, ja siinä on asennettuna noin 2400 aurinkopaneelia yhteensä 2,4 hehtaarin alueelle. (Uusi Teknologia, Loimaa panostaa aurinkoenergiaan – 2400 paneelia 2017)

Sallilan Energia Oy vuokraa aurinkopaneeleita kuluttajille Loimaan laitoksessaan. Voimalaitoksen tuotantoa voi seurata suorana Sallila Energia Oy:n nettisivuilta. (Sallilan Energia, Paneelien vuokraus)



Kuva 6 Sallilan aurinkopuisto (Sallilan energia, Kuvia projektin varrelta).

### 7.3 Haminan Mäkelänkankaan aurinkovoimala, useita eri yhtiöitä

Haminan mäkelänkankaalle rakennettiin elokuussa 2016 aurinkosähköjärjestelmä, jota hallinnoi Suomen Voima Oy. Hankkeen kokonaistoimituksesta vastasi Etelä-Savon Energia Oy. Voimalaitoksen sähköä myyvät yhteensä kahdeksan eri yhtiötä, mukaan lukien Etelä-Savon Voima Oy sekä edellisissä luvuissa mainitut Keravan Energia Oy ja Sallila Energia Oy. Aurinkopaneeleita voimalaitoksessa on yhteensä 2784 kappaletta, joiden yhteisteho on noin noin 745 kWp. Voimalaitos tuottaa vuodessa noin 680 MWh energiaa. (Suomen Voima, Mäkelänkankaan aurinkovoimala).

Osalta yrityksistä löytyy myös paneelien vuokrauspalveluja aurinkovoimalalle.

### 7.4 Mikkeli, Pitkäjärvi, Etelä-Savon Energia Oy

Mikkelissä sijaitsevan Etelä Savon Energian valmistuttama aurinkovoimalan erikoisuutena ovat puusta valmistetut telineet ja painoina käytetyt kierrätetyt ratapölkkyt osassa voimalaitosta. Muualla osin

voimalaitosta on käytetty paalutuksia ja pienempiä betonipainoja. Voimalaitoksen teho on noin 300 kWp ja siihen on asennettu 1152 aurinkopaneelia, sekä vuosituotanto on noin 270 MWh. Mikkelin aurinkovoimalastakin voi vuokrata aurinkopaneeleja, joiden tuotannosta saadut varat ohjataan suoraan hyväntekeväisyyteen. Voimalan paneeleista kaksi kolmasosaa on mikkeliläisen Valoen suunnittelema, valmistama ja toimittama taustajohdinaurinkopaneeleita. Aurinkosähköjärjestelmä otettiin käyttöön kesällä 2017. (Etelä-Savon Energia, Sunmikkeli).

Aurinkovoimalan sähkötekniikan suunnittelijana ja mitoittajana toimi Rejlers Finland Oy, joka myös suunnitteli voimalaitoksen yleiseen jakeluverkkoon liittämisen. Rejlers suunnitteli myös osia voimalaitoksen tietoliikenteestä, valaistuksesta ja valvonnasta. (Rejlers Finland Oy, Sun Mikkeli -aurinkovoimala tuottaa hyvää 2017).

Voimalaitos on rakennettu 7500 neliön maa-alalle, ja sen kustannusarvio oli 500 000 euroa. Voimalaitos on sijoitettu Mikkelin Pitkäjärvelle, lounaasta tulevan 5-tien varteen. (Jauhiainen, Mikkeliin nousee 7500 neliön aurinkovoimala – Lämmittää 20 omakotitaloa vuodessa 2017).



Kuva 7 Mikkelin aurinkovoimala rakennusvaiheessa (Sun Mikkeli)

## 8 YHTEENVETO

Vaikka maa-asenteisten aurinkovoimaloiden telineitä valmistavia yrityksiä on maailmalla jo reiluhkosti, ei vielä ole tämä ala juurikaan Suomeen rantautunut. Muutenkin ala on hyvin uusi koko maailmassa, tämän takia tietoa on vielä heikosti saatavilla. Maa-asenteiset aurinkovoimalat ovat asennustavoiltaan ja kuormituksiltaan niin erilaisia muihin rakenteisiin nähden joten muiden tekniikoiden soveltaminen on haastavaa. Suoria ohjeita ja tietoja telineiden asentamisesta ei vielä ole juuri saatavilla.

Myös suomalaiset lupa ja lainsäädännölliset asiat eivät oikein vielä käsittele maa-asenteisia aurinkovoimaloita. Lähes kaikkia tapauksia käsitelläänkin tapauskohtaisesti lupien hankinta-asioissa. Eri kunnilla on omat ohjeistuksensa lupa-asioissa.

Suomessa on toteutunut vasta muutamia suuremman kokoluokan hankkeita. Suurin vasta vireillä oleva hanke on Rauman aurinkopuisto kaavaillun 8,7MWp:n teholtaan, kun taas maailmalla suurimmat ovat jo gigawattiluokkaa. Suomessa on kuitenkin nyt meneillään kasvua aurinkoenergian alalla, joten Suomessakin tulee aurinkovoimaloiden koko kasvamaan entisestään.

Euroopan telinevalmistajilta kysyttiin tarjouksia Lempäälän projektiin ja vaikka viestejä paljon lähetettiin, jäi vastausprosentti silti aika pieneksi tämän työn tekemisen aikana. Onneksi kuitenkin vastauksia saatiin riittävän vertailupohjan tekemiseen. Valmistajien tarjoukset vaihtelivat paljonkin, ja osa tarjosi vielä useampaa erilaista vaihtoehtoa.

Tämän työn tuloksina saatiin koottua yleispiirteistä ohjeistusta ja huomioitavia asioita maa-asenteisten telineiden suunnittelussa ja toteutuksessa sekä maaperätutkimuksissa. Laskennalliset mitoitukset jätettiin tarkemmin pois. Työhön koottiin myös muutamia Suomessa toteutuneita hankkeita esimerkkitapauksiksi.

## LÄHTEET

Pickerel, K. 2017. What are the different types of ground-mount solar racking systems? Solar Power World [viitattu 26.1.2018]. Saatavissa: <https://www.solarpowerworldonline.com/2017/02/different-types-ground-mount-solar-racking-systems/>

Bushong, S. 2014. White Paper: Foundation Selection For Ground Mounted PV Solar Systems. Solar Power World [viitattu 16.2.2018]. Saatavissa: <https://www.solarpowerworldonline.com/2014/07/white-paper-foundation-selection-ground-mounted-pv-solar-systems/>

Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999

Finsolar. Toimenpideluvat [viitattu 31.1.2018]. Saatavissa: <http://www.finsolar.net/aurinkoenergian-hankintaohjeita/lait-ja-saadokset/toimenpideluvat/>

Geologian Tutkimuskeskus, Maaperäkartta  
Saatavissa: [http://www.gtk.fi/export/sites/fi/tietopalvelut/kartat/GTK\\_maaperakartan\\_kayttoopas.pdf](http://www.gtk.fi/export/sites/fi/tietopalvelut/kartat/GTK_maaperakartan_kayttoopas.pdf) 1.2.

Donaldson, B., Brearley, D. 2015. Geotechnical Analysis and PV Foundation Design. Solar Pro [viitattu 5.2.2018]. Saatavissa: [http://solarprofessional.com/articles/design-installation/geotechnical-analysis-and-pv-foundation-design?v=disable\\_pagination&nopaging=1#.Wnwnf-jFKUk](http://solarprofessional.com/articles/design-installation/geotechnical-analysis-and-pv-foundation-design?v=disable_pagination&nopaging=1#.Wnwnf-jFKUk)

Laughlin, S., Reaugh, B., Morrison, B., Hamon, M., Beisner, K., Jacobs, S. 2016. Ground-Mounted Racking Considerations. Solar Pro [viitattu 6.2.2018]. Saatavissa: <http://solarprofessional.com/articles/design-installation/ground-mounted-racking-considerations#.WnlbvujFKUk>

Samani, Z. 2016. Wind Loading on Full-Scale Solar Panels. Western University, Civil and Environmental Engineering [viitattu 6.2.2018].



Opinnäytetyö. Saatavissa:

<https://ir.lib.uwo.ca/cgi/viewcontent.cgi?article=5167&context=etd>

Bray, C. 2010. Ground-Mounted PV. Solar Pro [viitattu 7.2.2018].

Saatavissa: [http://solarprofessional.com/articles/design-installation/ground-mounted-pv?v=disable\\_pagination&nopaging=1#.WnqWgUxuKAq](http://solarprofessional.com/articles/design-installation/ground-mounted-pv?v=disable_pagination&nopaging=1#.WnqWgUxuKAq)

Canada, S. 2012. Corrosion Impacts on Steel Piles. Solar Pro [viitattu

7.2.2018]. Saatavissa: [http://solarprofessional.com/articles/design-installation/corrosion-impacts-on-steel-piles?v=disable\\_pagination&nopaging=1#.WnrjhxuKAq](http://solarprofessional.com/articles/design-installation/corrosion-impacts-on-steel-piles?v=disable_pagination&nopaging=1#.WnrjhxuKAq)

URS Corporation. 2010. Preliminary Geotechnical Investigation for Proposed Solar Plant, Lost Hills, Kern County, California [viitattu

9.2.2018]. Saatavissa: [https://www.kerncounty.com/planning/pdfs/eirs/lost\\_hills/lost\\_hills\\_solar\\_appF.pdf](https://www.kerncounty.com/planning/pdfs/eirs/lost_hills/lost_hills_solar_appF.pdf)

Tiehallinto, Siltayksikkö. 1999. Teräspuutkipaalut [viitattu 12.2.2018].

Saatavissa: <https://julkaisut.liikennevirasto.fi/sillat/julkaisut/terasputkipaalut1999.pdf>

Sunlink. 2017. Is Your Foundation Design Winter-Proof? Four Steps to Protect Your Solar Investment [viitattu 12.2.2018]. Saatavissa:

<http://sunlink.com/foundation-design-winter-proof-four-steps-protect-solar-investment/>

Sunlink. 2017. Interpreting Geotechnical Results: What to Look For And How to Best Leverage the Data [viitattu 12.2.2018]. Saatavissa:

<http://sunlink.com/interpretinggeotechnicalreports/>

Nduuku, K. 2017. An Introduction to Soil Corrosion. Corrosionpedia [viitattu 13.2.2018]. Saatavissa: <https://www.corrosionpedia.com/an-introduction-to-soil-corrosion/2/1431>

Landau, C.R. 2017. Optimum Tilt of Solar Panels [viitattu 14.2.2018].

Saatavissa: <http://www.solarpaneltilt.com/>

Kibriya, T., Tahir, L. 2015. Adfreeze Forces on Lightly Loaded Pile

Foundations of Solar PV Farms in Cold Regions. Science and Education

Publishing [viitattu 14.2.2018]. Saatavissa:

<http://pubs.sciepub.com/ajcea/3/4/1/index.html>

International Finance Group. Utility-Scale Solar Photovoltaic Power Plants

[viitattu 15.2.2018]. Saatavissa:

[https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/f05d3e00498e0841bb6fbbe54d141794/IFC+Solar+Report\\_Web+08+05.pdf?MOD=AJPERES](https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/f05d3e00498e0841bb6fbbe54d141794/IFC+Solar+Report_Web+08+05.pdf?MOD=AJPERES)

Mehalic, B. 2012. Interrow Spacing. Home Power [viitattu 15.2.2018].

Saatavissa: <https://www.homepower.com/articles/solar-electricity/design-installation/interrow-spacing>

Sallilan Energia. Aurinkoenergia [viitattu 20.2.2018]. Saatavissa:

<https://www.sallila.fi/palvelut/aurinkoenergia/>

Uusiteknologia.fi. 2016. Loimaa panostaa aurinkoenergiaan – 2400

paneelia [viitattu 20.2.2018]. Saatavissa:

<https://www.uusiteknologia.fi/2016/08/25/loimaa-panostaa-aurinkoenergiaan-2400-paneelia/>

Jauhiainen, R. 2017. Mikkeliin nousee 7500 neliön aurinkovoimala –

Lämmittää 20 omakotitaloa vuodessa [viitattu 20.2.2018]. Saatavissa:

<https://yle.fi/uutiset/3-9406776>

Rejlers Finland Oy. 2017. Sun Mikkeli -aurinkovoimala tuottaa hyvää

[viitattu 20.2.2018] Saatavissa: [https://www.rejlers.fi/Ajankohtaista/sun-](https://www.rejlers.fi/Ajankohtaista/sun-mikkeli-aurinkovoimala-tuottaa-hyvaa/)

[mikkeli-aurinkovoimala-tuottaa-hyvaa/](https://www.rejlers.fi/Ajankohtaista/sun-mikkeli-aurinkovoimala-tuottaa-hyvaa/)

Etelä-Savon Energia Oy. Sun Mikkeli [viitattu 20.2.2018]. Saatavissa:

<http://www.sunmikkeli.fi/>

Keravan Energia. Keravan aurinkovoimala [viitattu 20.2.2018]. Saatavissa: <https://www.keravanaurinkovoimala.fi/fi/>

Suomen Voima Oy. Mäkelänkankaan aurinkovoimala [viitattu 20.2.2018]. Saatavissa: <http://www.suomenvoima.fi/fi/tuotanto/aurinkovoimala>

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. Paalutusohje 2011. Kustantaja Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Sitharam, T.G. 2013. Advanced Foundation Engineering, Chapter 7: Pile Foundation [viitattu 26.2.2018]. Saatavissa: <http://nptel.ac.in/courses/105108069/mod07/lec07.pdf>

Suomen Standardisointiliitto SFS ry. 2009 SFS Käsikirja 207, Eurokoodi 7. Geotekninen suunnittelu. Standardi SFS-EN 1997-2. s. 23. 1. painos 2009-9. Helsinki.

Roth, R. 2017. Lempäälään nousee aurinkopaneelien jättikenttä – tuottaa sähköä jopa 720 kerrostalon tarpeisiin. Aamulehti [viitattu 9.3.2018] Saatavilla: <https://www.aamulehti.fi/uutiset/lempaalaan-nousee-aurinkopaneelien-jattikentta-tuottaa-sahkoa-jopa-720-kerrostalon-tarpeisiin-200314437/>

Lempäälän Energia Oy. 2017. Energiaomavarainen Lempäälä [viitattu 9.3.2018] Saatavissa: <http://www.lempaala.fi/kuntainfo/energiaomavarainen-lempaala/>

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. RIL 230-2007, Pienpaalutusohje PPO-2007. Helsinki: Kustantaja Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Paalupiste Oy. 2012. Ruuvipaalu - nopea perustusmenetelmä [viitattu 14.3.2018] Saatavissa: <http://paalupiste.com/fi/ruuvipaalu-nopea-perustusmenetelma>

## LIITTEET