



Mikhail Kurkin

Aurinkopaneelijärjestelmien ja sähköautojen latausjärjestelmien sähkösuunnittelu ja -urakointi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

30.11.2023

Tiivistelmä

Tekijä:	Mikhail Kurkin
Otsikko:	Aurinkopaneelijärjestelmien ja sähköautojen latausjärjestelmien sähkösuunnittelu ja -urakointi
Sivumäärä:	63 sivua
Aika:	30.11.2023
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine:	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat:	Toimitusjohtaja Tomi Suhonen, lehtori Vesa Sippola

Opinnäytetyö toteutettiin Tostek oy:lle. Opinnäytetyön tarkoituksena oli kartoittaa aurinkopaneelijärjestelmien ja sähköautojen latausjärjestelmien suunnittelun ja urakoinnin kannalta oleelliset asiat ja siten kehittää yrityksen valmiutta tarjota kannattavia ja kilpailukykyisiä palveluita. Tavoitteena oli laatia ohjeistus, jonka pohjalta voidaan suunnitella ja toteuttaa aurinkopaneelijärjestelmiä ja sähköautojen latausjärjestelmiä avaimet käteen -periaatteella.

Opinnäytetyössä tutustuttiin järjestelmien yleiseen toimintaan sekä eri toteutusvaihtoehtoihin ja niiden suunnitteluun. Työssä myös perehdyttiin järjestelmien kokoonpanoon ja laitteisiin, selvitettiin aurinkopaneelien tuotantoon vaikuttavia seikkoja sekä sähköautojen lataustapoja, latauslaitteiden älykkyyttä ja kuormanhallintaa. Työn oleellisena osana perehdyttiin lainsäädäntöön, standardeihin, määräyksiin sekä ohjeisiin. Työn pohjatietona käytettiin kirjallisuutta, verkkojulkaisuja sekä laitevalmistajien tuote-esitteitä. Työssä tutustuttiin järjestelmien kartoitukseen ja mitoitukseen sekä niiden pohjalta tehtävään tarjouslaskentaan. Työssä perehdyttiin myös yleisellä tasolla pääosin pienrakennusten järjestelmien asennukseen.

Työn tuloksena on koottu aineisto, johon perehtymällä saa kattavasti tietoa aurinkopaneelijärjestelmien ja sähköautojen latausjärjestelmien suunnitteluun ja toteutukseen liittyvistä asioista. Työn lopussa on käsitelty myös tarjouslaskennan tekeminen ja esitetty karkealla tasolla järjestelmien tämänhetkisiä investointikustannuksia.

Avainsanat: aurinkosähköjärjestelmä, aurinkosähkö, aurinkopaneeli, sähköauto, latausjärjestelmä

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author: Mikhail Kurkin
Title: Electrical Design and Contracting for Solar Panel Systems and Electric Vehicle Charging Systems
Number of Pages: 63 pages
Date: 30 November 2023

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Degree program in Electrical and Automation Engineering
Professional Major: Electrical Power Engineering
Supervisors: Tomi Suhonen, CEO,
Vesa Sippola, Senior Lecturer

The thesis work was carried out for Tostek oy. The purpose of the thesis work was to map the most essential aspects of the solar panel and electric vehicle charging system design and contracting from a business perspective, and thus enhance the company's ability to provide profitable and competitive services. The goal was to create guidelines, based on which the solar panel and electric vehicle charging systems can be designed and implemented on a "turnkey" basis.

The thesis work explored the general operation of the systems, as well as various implementation options and their design. The work also delved into the assembly and equipment of the systems, investigated factors affecting the production of solar panels, as well as electric vehicle charging methods, the intelligence of charging equipment, and load management. An essential part of the work was to familiarize with legislation, standards, regulations, and guidelines. As information sources, the work used literature, online publications, and equipment manufacturers' product brochures. The thesis discusses system survey and dimensioning, as well as the preparation of cost estimates based on them. It also provides a general overview of the installation of the systems, primarily for small buildings.

The result of the work is a compilation of material that provides comprehensive information on issues related to the design and implementation of the solar panel and electric vehicle charging systems. The thesis also briefly addresses the process of preparing cost estimates and presents an approximate overview of the current investment costs of the systems.

Keywords: photovoltaic system, solar electricity, solar panel, electric car, charging system

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu	1
2.1	Aurinkopaneelijärjestelmän päälaitteet ja niiden ryhmittely	2
2.1.1	Aurinkopaneelien rakenne	4
2.1.2	Aurinkopaneelien asennuspaikan valinta ja kiinnitys	5
2.1.3	Aurinkopaneelien kuljetus, käsittely ja huolto	7
2.1.4	Katon kantavuus ja kunto	8
2.1.5	Aurinkosähköjärjestelmän paneelien kallistus ja suuntaus	10
2.2	Vaihtosuuntaaja	11
2.3	Sähköenergian varastointi	13
2.4	Aurinkopaneelijärjestelmän kaapelointi	13
2.4.1	Liittimet	13
2.4.2	DC-kaapelointi	14
2.4.3	AC-kaapelointi	15
2.5	Sähköpaneelijärjestelmän maadoitus ja potentiaalintasaus	16
2.6	Suojausmenetelmät	16
2.6.1	Turvakytkimet	17
2.6.2	Ylivirtasuojaus	18
2.6.3	Ylijännitesuojaus	19
2.7	Aurinkosähköjärjestelmän tunnistaminen	19
2.8	Sähkökulutuksen analyysiin perustuva mitoitus	20
2.8.1	Off-Grid-aurinkosähköjärjestelmien mitoitus	20
2.8.2	On-Grid-aurinkosähköjärjestelmien mitoitus	22
2.9	Kohteen kartoitus	24
2.10	Laskelmat	24
2.11	Tekninen dokumentointi, luvat ja sopimukset	26
2.12	Liittäminen jakeluverkkoon	28
2.13	Aurinkosähköjärjestelmän asentaminen pienrakennuksen katolle	29
2.14	Aurinkosähköjärjestelmän asennuksen kustannus ja tuotteet	31
3	Sähköautojen latausjärjestelmien suunnittelu	33
3.1	Sähköautojen lataustyypit	33

3.2	Kuormanhallinta	35
3.3	Kuormanhallinnan taustajärjestelmä	37
3.4	Latausjärjestelmän mitoitus	38
3.4.1	Latausjärjestelmän tehontarve	38
3.4.2	Kohteen huipputeho	40
3.5	Kaapeloinnit ja laitteiston tekniset vaatimukset	41
3.6	Kohteen ja latausjärjestelmän vaatimusten kartoitus	43
3.7	Latausjärjestelmän toteutusvaihtoehdot	44
3.8	Luvat ja dokumentaatio	48
3.9	Asentaminen ja käyttöönotto	49
4	Tarjouslaskenta ja urakointi	50
4.1	Tarjouslaskennan perusteet	50
4.2	Järjestelmien käytännönläheinen tarjouslaskenta ja urakointi	52
5	Yhteenveto	54
	Lähteet	56

Lyhenteet

CCS: *Combined Charging System*. Saksalainen pikalatausstandardi, joka on yleisin Euroopassa valmistettujen autojen latausjärjestelmissä käytetty standardi.

CHAdeMO: *Charge de Move*. Japanilainen pikalatausstandardi, joka on yleisin japanilaisten autojen latausjärjestelmissä käytetty standardi.

kVA: *Kilovolttiampeeri*. Sähkölaitteen näennäistehon yksikkö.

MPPT: *Maximum Power Point Tracking*. MPPT-säädin on maksimitehopisteen seuraaja. MPPT-lataussäätimen avulla aurinkosähköjärjestelmästä saadaan käyttöön mahdollisimman suuri tuotantopotentiaali.

OCPP: *Open Charge Point Protocol*. Sähköajoneuvojen latauslaitteiston hallintajärjestelmissä käytettävä avoin protokolla, jossa on laajat ominaisuudet.

RFID: *Radio Frequency Identification*. Radiotaajuinen etätunnistus, jonka toiminta perustuu tiedon tallentamiseen RFID-tunnisteeseen ja sen langattoman lukemiseen RFID-lukijalla radioaaltojen avulla.

W_p : *Wattipiikki*. Aurinkopaneelin huipputeho standardiolosuhteissa.

1 Johdanto

Opinnäytetyö tehtiin Tostek oy:lle. Tostek oy on pieni sähkönjakeluverkkojen suunnitteluun, projektinhoitoon ja sijaintimittaukseen erikoistunut asiantuntijayritys.

Työn tavoitteena on laatia prosessiohjeistus, jonka pohjalta voidaan suunnitella ja toteuttaa aurinkopaneelijärjestelmiä ja sähköautojen latausjärjestelmiä avaimet käteen -periaatteella. Tarkoituksena on kartoittaa suunnittelun ja urakoinnin kannalta oleelliset asiat ja kehittää yritykselle valmiudet luoda ajankohtaiset, kannattavat ja kilpailukykyiset palvelut.

Opinnäytetyössä käsitellään aurinkopaneelijärjestelmien ja sähköautojen latausjärjestelmien perusteita, mitoitus- ja laskentamenetelmiä sekä kartoitus- ja asennusprosessia. Työssä perehdytään järjestelmien laitteistoon ja vaihtoehtoihin toteutusratkaisuihin, suojaus- ja käyttöönottomenetelmiin sekä tarjouslaskennan tekemiseen.

2 Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu

Aurinkosähköjärjestelmän tuotanto perustuu auringon säteilyenergian käyttöön. Auringon säteilyenergiaa kuljettavat fotonit, joista auringonsäteily koostuu. Fotonien osuessaan aurinkokennoon ala- ja yläpinnan välille syntyy jännite. Elektronit, jotka ovat saaneet energiaa fotoneilta, muodostavat sähkövirran aurinkokennon johtimiin. [1; 2.]

Auringon säteily sisältää valtavan määrän energiaa. Maan pinnalla auringon säteilyn teho on 170 000 TW, mutta teknisesti vain pieni osa säteilevästä energiasta voidaan käytännössä hyödyntää. [2.] Markkinoilla olevien aurinkopaneelien hyötysuhde on useimmiten 16–20 prosenttia. 17–22 prosentin hyötysuhde saavutetaan yksikiteisillä aurinkopaneeleilla [3]. Näin ollen

aurinkosähköjärjestelmien nykyisillä teknisillä ratkaisuilla saavutettava hyötysuhde on matala potentiaaliin nähden.

Aurinkopaneeli tuottaa sähköenergiaa parhaiten, kun auringonsäteily tulee kohtisuoraan sen pinnalle. Maan pinnalla kohtisuoran säteilyn voimakkuus Etelä-Suomessa on parhaimmillaan noin 1000 W/m^2 . Aurinkopaneelit tuottavat sähköä suoran säteilyn lisäksi myös pilvistä ja maasta heijastuvasta hajasäteilystä. Etelä-Suomessa vuotuisesta kokonaissäteilystä noin puolet on hajasäteilyä. Tästä syystä keskittäviä ja aurinkoa seuraavia aurinkosähköjärjestelmiä ei ole taloudellisesti järkevää rakentaa ja aurinkosähköjärjestelmät asennetaan kiinteästi. Aurinkosähköjärjestelmien mitoituksessa käytetään vuotuista auringonsäteilyn kokonaismäärää, joka koostuu suorasta säteilystä sekä hajasäteilystä. Suomessa vuotuinen keskimääräinen säteily määrä vaihtelee välillä 980 kWh/m^2 etelässä ja 750 kWh/m^2 pohjoisessa. [4; 5, s. 9–10.]

2.1 Aurinkopaneelijärjestelmän päälaitteet ja niiden ryhmittely

Aurinkopaneelijärjestelmä koostuu:

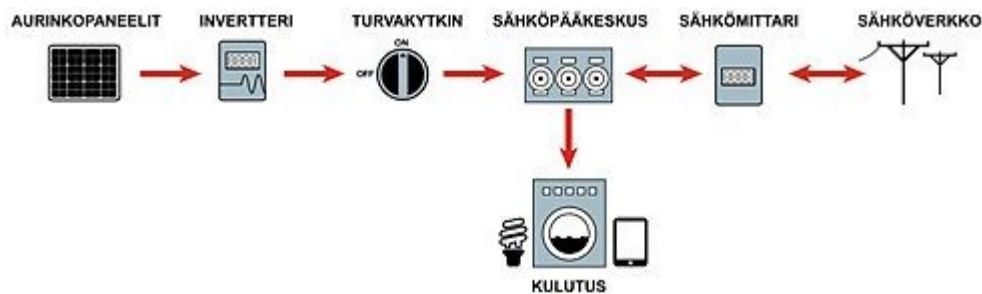
- paneeleista ja niiden kiinnitystelineistä ja -tarvikkeista
- DC-kaapeloinnista ja DC-erotuskytkimestä
- vaihtosuuntaajasta (järjestelmissä, joissa sähköön kulutus tapahtuu vaihtojännitteellä)
- AC-kaapeloinnista ja AC-turvaerotuskytkimestä riippuen järjestelmän tyyppistä
- kulutuskohteen sähkökeskuksesta, johon järjestelmä liitetään
- kaksisuuntaiseen mittaukseen kykenevästä sähkömittarista (On-Grid-järjestelmässä)

- mahdollisesta akustosta ja lataussäätimestä [6].

Aurinkopaneelijärjestelmät jaetaan tyypillisesti kahteen ryhmään:

- Off-Grid-järjestelmä eli itsenäisesti saarekekäytössä toimiva sähköjake-luverkkoon kytkemätön järjestelmä
- On-Grid-järjestelmä eli sähköjake-luverkkoon liitetty, verkon kanssa rin-nan toimiva järjestelmä [6].

Tämä luokittelu vaikuttaa merkittävimmin aurinkopaneelijärjestelmän rakentee-seen. Sähköverkkoon kytketty järjestelmä vaatii invertterin eli vaihtosuuntaajan asennusta kiinteistön sähköjärjestelmän ja aurinkopaneelijärjestelmän väliin. Kyseinen järjestelmä ei toimi itsenäisenä saarekkeena ilman lisätoimenpiteitä (kuva 1). [7.]



Kuva 1. Verkkoon kytketyn pientalon aurinkosähköjärjestelmän kokoonpano [7].

Verkkoon kytkemättömät aurinkopaneelijärjestelmät toteutetaan usein 12 V:n / 24 V:n tasasähköjärjestelminä, eikä invertteri ole näissä tapauksissa tarpeelli-nen. Käyttökohteet Off-Grid-järjestelmille ovat esimerkiksi kulkuneuvot ja kesä-mökit, joita ei voi helposti liittää sähköverkkoon. Mikäli sähköntuotanto ja -kulu-tus eivät kohdistu samaan hetkeen, kyseisiin kohteisiin liitetään usein akku tai akusto, mihin energiaa voidaan varastoida. Akustoa käyttäessä järjestelmään täytyy asentaa lataussäädin akuston ja aurinkopaneelien väliin. Aurinkopanee-lien tuottamaa energiaa on mahdollista hyödyntää myös kiinteistön ja käyttöve-den lämmittämiseen lämminvesivaraajassa. Mikäli Off-Grid-järjestelmään

halutaan kytkeä 230 V:lla toimivat vaihtovirtalaitteet, järjestelmään on lisättävä invertteri. [6.]

2.1.1 Aurinkopaneelien rakenne

Auringon säteilyn muuttaminen sähköenergiaksi tapahtuu aurinkokennojen avulla ja perustuu valosähköiseen ilmiöön. Aurinkopaneelit koostuvat sarjaan kytketyistä yksittäisistä aurinkokennoista, koska yhden kennon jännite on vain noin 0,5 voltia. Joissain tapauksissa yksittäiset aurinkokennot kytketään myös rinnan. Näin järjestelmästä saadaan halutun suuruinen jännite ja virta. Yksittäisistä aurinkokennoista rakennetut paneelit kootaan edelleen laajemmiksi paneelistoiksi. Aurinkopaneelit sijoitetaan paneelikehykseen ja suojataan auringonsäteilyä läpäisevällä suojalasilla. [2; 6.]

Aurinkopaneeleita on kehitetty useita erilaisia. Ne eroavat toisistaan pääasiassa koon, tehon, valmistusteknologian sekä hyötysuhteen osalta. Aurinkopaneeleita on yksikiteisiä, monikiteisiä ja ohutkalvoisia, joista ohutkalvoisten paneelien osuus markkinoilla on noin 10 %. Ohutkalvoinen paneeli on valmistuskustannukseltaan edullisin vaihtoehto, mutta sen hyötysuhde on heikompi ja käyttöikä on lyhyempi verrattuna yksikide- ja monikidepaneeleihin. [8.]

Monikidepaneelit ovat hinnaltaan hieman edullisempia kuin yksikidepaneelit ja kestävät varjostusta ja likaantumista paremmin, mutta niiden hyötysuhde on alhaisempi. Aurinkopaneeli on teholtaan tyypillisesti noin 350–500 W_p:ä tällä hetkellä, ja sen koko vaihtelee noin 1,6–2,5 m²:n välillä. [8.]

Oikein asennettuna ja teknisesti sopivissa olosuhteissa aurinkopaneelien käyttöikä on takaisinmaksuaikaan nähden pitkä ja voi ylittää 30 vuotta [8]. Aurinkopaneelien on täytettävä sähkölaitestandardien vaatimukset, esimerkiksi SFS-EN 61730-1, SFS-EN 61215 tai SFS-EN 61646 [9, s. 143].

2.1.2 Aurinkopaneelien asennuspaikan valinta ja kiinnitys

Yleensä paras paikka aurinkopaneelien sijoittumiselle kaupungeissa ja taajama-alueilla on rakennuksen katto. Asennus katolle on hyvä varjostuksen kannalta, koska varjostuksella on heikentävä vaikutus aurinkosähköjärjestelmän tuotantoon. Katolla paneelit eivät vie tilaa, jota voitaisiin hyödyntää muihin tarpeisiin. [10, s. 90–91.]

Haja-asutusalueella aurinkopaneelit on tarpeen vaatiessa mahdollista sijoittaa maanpinnan tasolle helpommin kuin taajama-alueella. Esimerkiksi avoin ranta tai pellon reuna voi olla paras paikka aurinkopaneeleille, jos sähköä kuluttava rakennus sijaitsee varjoisassa paikassa. Asennettaessa aurinkopaneeleita erillisen kohteesta, jossa niiden tuottama sähkö kulutetaan, pitää ottaa huomioon kohteen ja paneelien välinen etäisyys. Kaapelointi pitkälle välimatkalle aiheuttaa jännitehäviöitä, mikä vähentää aurinkosähköjärjestelmän tuotantoa. [10, s. 90–91.]

Aurinkopaneelit asennetaan tyypillisesti kiinteästi kiinnitystelineitä käyttäen tuotannon kannalta parhaaseen mahdolliseen paikkaan. Kiinteällä kiinnitystelineellä asennetut paneelit eivät vaadi merkittävää ylläpitoa, mikä yksinkertaistaa aurinkopaneelien käyttöä. [11.]

Harjakatolle asennettaessa aurinkopaneelien kiinnitystelineen alle ei yleensä ole tarvetta rakentaa tukirakenteita. Kaltevilla katolla paneeleita on mielekkäintä asentaa katon lappeen suuntaisesti, eikä poiketa katon kaltevuudesta. Katon alalappeesta täytyy jättää vähintään noin 30 cm:n verran etäisyyttä ylöspäin, mutta jos katolla on paljon tilaa, suositellaan jättämään paneelin pituuden verran etäisyyttä ylöspäin. Paneelit voidaan asentaa kaltevalle katolle pysty- tai vaaka-asennossa riippuen katon rakenteesta. [11.]

Harjakatolle tulevan kiinnitystelineen pääosat ovat aurinkopaneeleja kannattelevat alumiiniprofiilit tai kiskot, aurinkopaneelikiinnikkeet ja kattotyypin mukaiset kattokiinnikkeet. Kiinnikkeissä oltava CE-merkintä. Kiinnikkeiden materiaaleina käytetään yleensä alumiinia ja ruostumatonta terästä. On syytä tarkistaa

käytettävien kiinnitystarvikkeiden yhteensopivuus telineiden ja paneelikehysten kanssa. Tällä tavalla varmistetaan, että korroosio ei vaurioita kiinnitystarvikkeita asennuksen jälkeen. Aurinkopaneelien kiinnitysteline liitetään kattokiinnikkeiden avulla joko harjakaton tukirakenteisiin tai katemateriaaliin. Jokaiselle kattomateriaalille on kehitetty omat kiinnitysjärjestelmät. Kattokiinnikkeen rakenne mahdollistaa alumiiniprofiilin tai kiskon vaivattoman kiinnityksen kattoon. Profiilit ja kiskot täytyy asentaa suoraan toisiinsa nähden, ettei paneeleille aiheudu turhaa vääntömomenttia ja että järjestelmän rakenteet kestävätkä kuormat paremmin. [11.]

Paneelikiinnikkeillä aurinkopaneelit kiinnitetään profiileihin tai kiskoihin ylhäältä päin. Paneelikiinnike puristaa paneelin kehystä, ja tämä kiinnitystapa sallii paneelien lämpötilaeroista johtuvan pienen liikkeen. Aurinkopaneelien ja niiden takana olevien rakenteiden välissä on hyvä olla ilmarako tuuletusta varten, mikä parantaa paneelien jäähdytystä ja hyötysuhdetta, varsinkin kiteisen piin paneelien osalta. [11; 12.]

Teline kiinnitetään konesaumatussa peltikatossa ja lukkosaumakatossa peltikatton saumoihin. Profiilipeltikatossa, huopakatossa ja tiilikatossa profiilit kiinnitetään kattotuoleihin. Tiilikatolla teline kiinnitetään koukuilla, jotka laitetaan tiilien alareunan alle. Tiili hiotaan kiinnityspisteen kohdalla siten, ettei se painu koukun päälle. Profiilipeltikatolla kiinnitys on parasta toteuttaa ankkuripultilla kattotuolin ja ruodelaudan liitoskohtaan. Ankkuripultti on varustettu UV-suojatulla kumi-kauluksella, mikä tiivistää kiinnityskohdan. Pultti on mahdollisuuksien mukaan kohdistettavaa profiilin yläkaareen. Huopakaton katteen suojaamiseksi kiinnityspisteissä käytetään leveitä eristepaloja. Kiinnitys katteen läpi vaatii kiinnityskohdan tiivistämistä, mikä voidaan tehdä käyttämällä esimerkiksi EPDM-kumitiivisteitä. Kiinnitys on mahdollista toteuttaa myös ruoteisiin tai pelkkään kattopeltiin erikoistapauksissa. Aurinkopaneeleita ei saa asentaa asbestipinnoitteiselle katonlehdelle. [13, s. 9–10.]

Aurinkopaneelien kiinnitystelineet harjakatolla ovat tyypillisesti joko yksi- tai kaksoisrakenteisia. 2-kerrosteline on kalliimpi kuin 1-kerrosteline suuremman

asennustyö- ja materiaalmäärän takia, mutta on tukevampi rakenteeltaan ja kasvattaa aurinkopaneelien alle jäävää tuuletustilaa. Suurempi tuuletusväli jäädyttää paneeleita tehokkaammin, ja niiden sähköntuotanto paranee. Yleensä kaksikerrostelineitä käytetään, kun halutaan asentaa kiinnitysprofiilit haluttuihin kohtiin tai halutaan asentaa paneelit vaakasuoraan joko paneeliston koon tai ulkonäön takia. [11; 12.]

Jos aurinkopaneelit asennetaan muualle kuin harjakatolle, käytetään asennuspaikasta riippuen tasakatto-, seinä- ja maanelineitä. On myös mahdollista rakentaa yksi- tai kaksiakselinen aurinkoa seuraava teline, mutta Suomen olosuhteissa edullisemmaksi tulee rakentaa sen sijaan hieman laajempi kiinteä aurinkopaneelijärjestelmä. Tasakatto-, seinä- ja maanelineiden rakentamiseen käytetään tavallista tai galvanoitua terästä ja itse rakennettaessa myös puuta. Telineen kiinnitykseen tai perustukseen voidaan käyttää betonia tai kiviä. [11; 12.]









Tasakatolle telineet asennetaan yleensä loivaan kulmaan tai jopa katon suuntaisesti. Asennustelineitä on useita. Tavallisimmin telineet pystytetään tasakaton päälle ja pidetään paikallaan betoni- tai kivipainoilla. Tasaisella huopakatolla teline on mahdollista myös liimata huopaan. [11.]

Seinäkiinnityksessä telineen kiinnitys seinään vaihtelee, mutta muilta osin asennustapa on samanlainen kuin kattokiinnityksessä. Markkinoilta on saatavilla tehdasvalmisteisia metallitelineitä, muuta niitä voi haluttaessa rakentaa itse puusta tai metallista. Paneelien ja telineiden väliin suositellaan alumiiniprofiilien asennusta. [11; 12.]

2.1.3 Aurinkopaneelien kuljetus, käsittely ja huolto

Paneeleita täytyy kuljettaa ja käsitellä valmistajan ohjeiden mukaan. Yleisimmät ohjeet on esitetty kuvassa 2. Paneelit eivät kestä niihin väärin kohdistettuja voimia, ja niitä pitää käsitellä varoen. Paneeleita pitää nostaa molempia käsiä käyttäen, ja on turvallisinta kuljettaa niitä kahden henkilön voimin. Käsittelyssä

käytetään puhtaita viillonkestäviä käsineitä. Vaikka paneeli ei ole kytketty, on muistettava, että se on jännitteinen. [14.]

-  Älä astu paneelien päälle.
-  Älä pura tai tiputa paneeleja.
-  Keinotekoisesti keskitettyä auringon valoa ei saa suunnata paneelien pinnalle.
-  Vältä kaikkea kytkentäkoteloon ja -kaapeleihin kohdistuvaa mekaanista kuormitusta
-  Älä käytä teräväkärkisiä ja/tai teräviä objekteja paneelien kanssa.
-  Älä taivuta paneeleja. Käytä molempia käsiä nostaessasi paneeleja.
-  Älä koske paneelin pinnoitettuun lasipintaan paljain käsin.
-  Varmista, että liittimet pysyvät puhtaina ja kuivina.

Kuva 2. Aurinkopaneelien kuljetus- ja käsittelyohje [14].

Aurinkopaneeli on normaaleissa olosuhteissa huoltovapaa. Paneelien tuottavuutta voidaan kuitenkin pitää enimmäistasolla muutamalla huoltotoimenpiteillä. Paneelien lasipinnat voi puhdistaa tarpeen vaatiessa. Kuuden kuukauden välein on hyvä tarkasta silmämääräisesti maadoitukset, sähköiset ja mekaaniset liittämät. Mikäli niissä näkyy selviä kulumia, muutoksia, vikoja tai muuta epäilyttävää, tulee pyytää sähköalan ammattilaista käymään. Sähköiskun tai vahingon estämiseksi aurinkopaneelijärjestelmä tulee kytkeä pois päältä ennen huoltoa. Talven aikana paneelien päälle kertynyttä lunta ei kannata poistaa, koska riski vaurioittaa paneelit kyseisen toimenpiteen aikana on suuri. [14.]

2.1.4 Katon kantavuus ja kunto

Ennen aurinkopaneelien kattoasennusta on tarkistettava katon kunto ja kantavuus. Aurinkopaneelijärjestelmä tuo lisäkuormaa katolle. Rasituksen suuruuteen

vaikuttaa eniten asennuskohteen katon muoto. Esimerkiksi harjakatolle, jossa paneelit on asennettu ilman lisäpainoja, kuormitusta kohdistuu noin 15 kg/m^2 . Lisäpainoilla kiinnitetty aurinkopaneelijärjestelmä tasakatolla lisää katolle kuormitusta edelliseen kohteeseen verrattuna tuplasti eli on arviolta 30 kg/m^2 . [15.]

Tarkastelussa on hyvä ottaa huomioon myös katon kunnostamisen tarve ja ikä. Vanhojen rakennusten mitoitukset saattaa erota nykypäivän mitoituksista huomattavasti varsinkin rakennuksissa, joissa jänneväli on vähintään 12 metriä, ja ennen vuotta 1970 suunnitelluissa toimitilarakennuksissa. Silloin kantavuuslaskelmissa käytettiin pienempiä luonnonkuormia kuin nykyajan mitoituksissa. Vanhoille rakenteille on tehtävä uuden rakenteen kantavuuslaskelmat, jotta saadaan varmistettua vanhojen rakenteiden kestävyys. Rakennuksen kantavuuslaskennan tekeminen on lähtökohtaisesti kiinteistön omistajan vastuulla. Katon kantavuudesta voi myös kysyä rakennuksen rakennesuunnittelijalta, mikäli sellainen vaihtoehto on käytössä. [16.]

Aurinkopaneelijärjestelmän oman painon lisäksi merkittävimmin kattoa kuormittaa tuulikuorma. Tuulikuormaan vaikuttaa rakennuksen ympärillä oleva maaston pinnanmuoto, paneelien sijainti, rakennuksen korkeus ja muoto sekä tuulen suunta. Tuulikuorma voidaan määritellä puuskanopeuspaineen avulla. [17.]

Lumikuorma on tyypillisesti otettu huomioon rakennuksen suunnitteluvaiheessa. Ellei lumi pääse paneelien alle tai kinostu paneelien takia, kattoon kohdistuva lumikuorma ei tule kasvamaan. On kuitenkin otettava huomioon painon ja kauman muuttuminen. Jos lumikuorma kohdistuu paneelien päälle eikä alle, paneelitelteen kiinnityspisteisiin syntyy pistekuormaa, joka voi liiallisesti rasittaa kattorakenteita tai kiinnityskohteita. Itse paneelien tai kiinnitysjärjestelmien kestävyys lumikuorman alla on varmistettava niiden toimittajilta. Saatujen tietojen mukaan määritellään aurinkosähköjärjestelmän sijoittelu ja telteen profiilien tai kiskojen ja kattokiinnikkeiden määrä. [5, s. 149.]

2.1.5 Aurinkosähköjärjestelmän paneelien kallistus ja suuntaus

Aurinkopaneelien mitoituksessa on tärkeää ottaa huomioon paneelien suuntaukset riippuen asennuskohteen sijainnista ja kohteen suurimman kulutuksen ajankohdasta. Aurinkopaneelien vuotuisen tuotannon vaikuttaa paneelien deklinaatio eli kallistus suhteessa horisonttiin, jossa 0° on vaakataso ja 90° :n kulmassa paneeli on pystysuorassa. Kallistuskulman vaikutus näkyy aurinkopaneelijärjestelmän tuotannossa seuraavasti:

- $30 - 60^\circ$ on vuositulon kannalta paras väli.
- 30° :n kulmassa tai sen alle paras tuotto on kesäkuussa. Tämä sopii parhaiten kohteisiin, joissa huippukulutukset osuvat kesäaikaan, esimerkiksi kesämökille.
- Yli 60° :n kulmaan paneelit on hyvä asentaa talvisin, koska aurinko on silloin hyvin matalalla. [5, s. 19, 21.]

Vuorokauden tasolla aurinkopaneelijärjestelmän tuotannon vaikuttaa paneelien atsimuuttikulma eli astepoikkeama etelästä, jossa -90° on itä, 0° on etelä ja 90° on länsi. Atsimuuttikulma määritetään sähkön käyttöajan mukaisesti, ja atsimuuttikulman vaikutus aurinkopaneelijärjestelmän tuotannon näkyy seuraavasti:

- Tuotto on vuositilastollisesti suurin etelään suunnatuilla paneeleilla.
- Tuotto on parhaimmillaan itään suunnatuilla paneeleilla aamuisin.
- Tuotto on parhaimmillaan länteen suunnatuilla paneeleilla iltaisin. [5, s. 19, 21.]

2.2 Vaihtosuuntaaja

Vaihtosuuntaaja eli invertteri on tärkeä komponentti sähköverkkoon kytketyssä aurinkosähköjärjestelmässä. Invertteri muuntaa aurinkopaneelien tuottaman tasavirran vaihtovirraksi, mikä soveltuu kiinteistön sähköverkon käyttöön sekä jakeluverkon käyttöön, mikäli aurinkopaneelijärjestelmää kytketään jakeluverkkoon. [18.]

Invertterit ovat joko yksi- tai kolmivaiheisia. Yksivaiheisen invertterin kytkettyvyys rajoittaa aurinkosähkön suoraa hyödyntämistä, sillä vain invertterin kanssa samaan vaiheeseen kytketyt sähkölaitteet saavat aurinkopaneelilla tuotettua sähköä. Verkkoon kytkemisen eroavaisuus yksi- ja kolmivaiheisella invertterillä ei tule kuitenkaan vaikuttamaan kiinteistön asukkaan saaman taloudelliseen hyötyyn. Vuoden 2023 alussa sähköverkkoyhtiöiden tasejakson netotuksen malli muuttui sisäiseksi netotukseksi, minkä ansiosta sähkön kulutuksen laskennoissa otetaan nykyään huomioon kaikkien vaiheiden sähkönkulutus saman tasejakson aikana. [18.]

Pientalojen aurinkosähköjärjestelmissä käytetään yleisimmin keskitettyjä inverttereitä eli järjestelmässä on vain yksi invertteri. Harvemmin käytetään mikroinverttereitä, jotka kytketään paneelikohtaisesti. Keskitetyllä invertterillä varustettu järjestelmä on yleensä hankintakustannukseltaan edullisempi kuin järjestelmä, jossa on useampi mikroinvertteri asennettu paneelikohtaisesti. Sähkön tuotannon kannalta mikroinverttereillä toimivan järjestelmän tehontuotto on korkeampi, jos osa paneeleista jää varjoon. Keskitetyllä invertterillä varustettu järjestelmä kannattaa mitoittaa paneelien tehon mukaan, mikä rajoittaa aurinkosähköjärjestelmän laajennusta tulevaisuudessa. Mikroinverttereillä varustettuun järjestelmään on uusien paneelien lisääminen helpompaa. [18.]

Mikroinvertterien hyödyt voidaan kuitenkin saada keskitetyllä invertterillä varustettuun järjestelmään kytkemällä siihen tuotannon optimoijat. Tuotannon optimoijat joko asennetaan samalla tavalla kuin mikroinvertterit aurinkopaneelin yhteyteen paneelikohtaisesti tai hankitaan aurinkopaneeleja, joissa optimoija on

valmiiksi asennettu. Paneelikohtainen tuotannon seuranta auttaa myös vikatilanteessa. Jos paneeli jostain syystä lopettaa toiminnan, se huomataan ja löydetään vikaantunut paneeli tai liitos heti. [18.]

Aurinkosähköjärjestelmät, joihin on liitetty akusto, varustetaan lataussäätimellä. Lataussäätimistä MPPT-säädin on yksi parhaimmista. Se säätää paneelit tuottamaan sähköä maksimaalisella hyötysuhteella ja optimoi akuston latautumista. [19.]

Sarjaankytkentä on yleisin tapa kytkeä aurinkopaneelit invertteriin. Sarjaan kytkettyä aurinkopaneelien joukkoa kutsutaan paneeliketjuksi ja tässä yhteydessä käytettävää invertteriä kutsutaan ketjuinvertteriksi. Esimerkiksi kolmivaiheinvertterin kanssa kytketään sarjaan 3–9 aurinkopaneelia, joiden jännite on 600 V ja teho noin 3 kVA, 5–16 aurinkopaneelia, joiden jännite on 850 V ja teho 3–6 kVA tai 10–20 aurinkopaneelia, joiden jännite on 1000 V ja teho 8–10 kVA. Invertteri valitaan paneelien jännitetasolle sopivaksi. Jännitteen on oltava riittävän suuri invertterin käynnistämiseksi. Paneeliketjut voidaan kytkeä rinnakkain, jos paneelien määrä ketjuissa on sama ja paneelien sekä invertterin tekniikka sen sallii. Aurinkosähköjärjestelmä on helpointa laajentaa ketjuittain. Tehokkuudeltaan suurissa aurinkosähköjärjestelmissä, joissa paneeleita on paljon, käytetään joko useita ketjuinverttereitä tai teholtaan 100–1000 kW:n keskusinverttereitä. [20.]

Invertteri tulee kytkeä jakeluverkkoyhtiön sähkömittarin taakse kiinteistön kuluuslaitteiden rinnalle aurinkopaneelien ja talon sähkökeskuksen väliin. Invertteri on yleensä edullisinta ja yksinkertaisinta kytkeä sähkökeskukseen, joka on lähimpänä aurinkopaneelistoa. Tasavirtakaapeleiden tehohäviöiden minimoimiseksi invertteri tulee asentaa mahdollisimman lähelle paneelistoa. Asennuspaikan on hyvä olla tuuletettu, viileä ja tasalämpöinen. Invertteri kuuluu asentaa valmistajan ohjeiden mukaan. Invertteriä asennettaessa on tärkeää ottaa huomioon sen ympäristövaatimukset, suojalaitteet ja tarvittava tyhjä tila invertterin ympärille. [20.] Invertterien on täytettävä sähkölaitestandardien vaatimukset, esimerkiksi SFS-EN 62109-1 ja SFS-EN 62109-2 [9, s. 143].

2.3 Sähköenergian varastointi

Aurinkopaneelien tuottamaa sähköä voidaan hyödyntää tehokkaammin akuston avulla. Akustolla sähkö varastoidaan myöhempää käyttöä varten, esimerkiksi iltaisin ja öisin, kun paneelit eivät tuota sähköä. Näin voidaan pienentää sähköverkkoon myytävän sähkön osuutta verkkoon kytketyssä järjestelmässä. Yleensä akkuja ei kuitenkaan liitetä On-Grid-järjestelmään niiden korkean hinnan vuoksi. [18.]

Off-Grid-järjestelmiä käytetään yleensä paikoissa, joita ei voi helposti liittää sähköverkkoon. Tällaisiin järjestelmiin akusto on kustannustehokkaampi vaihtoehto kalliin jakeluverkkoon liittämisen sijaan. Verkkoon kytkemättömiin järjestelmiin voidaan varavoimalähteeksi liittää myös aggregaatti. [18.]

2.4 Aurinkopaneelijärjestelmän kaapelointi

2.4.1 Liittimet

Aurinkopaneelit on tyypillisesti varustettu kahdella noin yhden metrin mittaisella tasavirtakaapelilla, joiden päässä on DC-liitin. Liittimien on täytettävä standardien SFS-EN 62852 tai SFS-EN 50521 vaatimukset. Liittimet ovat yleensä MC4-liittimet tai näitä vastaavat kopiot. Aurinkopaneelit kytketään toisiinsa näitä valmiiksi kiinnitettyjä kaapeleita ja liittimiä käyttäen. [21; 22; 23.] Sähköturvallisuusstandardin [9, s. 145] mukaan liittimien täytyy olla saman valmistajan tekemät ja liitintyyppin on oltava sama liitoksen molemmilla puolilla. Aurinkopaneeliketjua varten on omat liittimet, esimerkiksi TE Connectivity PV4-S. Invertterin päähän liittimet tulevat yleensä invertterin mukana. [21; 22; 23.]

Liittimet ovat kertakäyttöisiä tiivisteiden kovettumisen takia. Liittimen asennusta varten tarvitaan asennettavalle liitintyypille ja koolle suunniteltu puristustyökalu, jolla puristetaan liittimen metalliholkki. Liittimiä on erikokoisia, jotta niitä voi asentaa eri kokoisille kaapeleille. Jos liitoksiin on pääsy muilla kuin opastetuilla

henkilöillä tai ammattihenkilöillä, niin liitokset täytyy lukita siten, että ne saa toisistaan irti vain työkalun tai avaimen avulla. [21; 22; 23.]

2.4.2 DC-kaapelointi

Tyypillisesti aurinkosähköjärjestelmässä käytettävien tasavirtakaapeleiden koko on 2,5–16 mm². Aurinkosähkökaapelit ovat erittäin hienolankaiset kaksoiseristetyt kaapelit esimerkiksi AJM, PV1-F tai H1Z2Z2-K1, joista yleisimmät ovat 6–10 mm²:n AJM- tai PV1-F-kaapelit. [21; 22; 23.]

Tasavirtakaapelien reitit kannattaa suunnitella hyvin, jotta kaapelit kestävät liikkumisesta aiheutuvan rasituksen, kulutuksen ja auringon säteilyn. Kaapeleille tehdään taitoskaaret mutkien kohdalla ja jätetään liikkumiselle ja liitoksille varaa siten, ettei kaapeliin aiheudu vetoa lämpötilan vaihtelun vuoksi. Kaapelit suojataan tai poistetaan kaikki terävät reunat kaapelien reiteiltä. DC-johtimien maa- ja oikosulun mahdollisuus tulee minimoida. Oiko- tai maasulkuun voi johtaa kaapeleiden liikkuminen, mikä aiheuttaa kaapelin eristeen kulumisen. Paneelit kiinnitetään siten, että kaapelit saadaan optimaalisen asentoon. Kaapelit eivät saa jäädä vetorasitukseen eivätkä roikkumaan kiinnittämättä. Suoraan aurinkopaneelien alle asennettavien kaapeleiden mitoituksessa on otettava huomioon vähintään 70°:n ympäristön lämpötila. [21; 22; 23.]

Tasavirtakaapeleita ei saa asentaa suoraan katon pintaan tai kiinnittää johdinsiteillä, ellei niiden käyttöikä ole pidempi tai vähintään yhtä pitkä kuin aurinkopaneelijärjestelmälle määritetty huoltojakson pituus tai koko järjestelmän käyttöikä. Tasavirtakaapeleiden kiinnikkeet, joita ei kannata käyttää, ovat valkoiset UV-säteilyä kestäättömät nippusiteet, teräväreunaiset metalliset nippusiteet ilman pehmustetta tai metallilanka ilman eristettä tai pehmustetta. Tasavirtakaapelit voi kiinnittää turvallisesti ja luotettavasi useammalla eri tavalla, esimerkiksi RST-nippusiteillä, joiden kulmat ovat pyöristettyjä, UV-kestävillä

kaapelikiinnikkeillä (kuva 3), UV- ja pakkasenkestävillä muovisilla nippusiteillä tai metallisella surrauslangalla, jossa on UV-kestävä eriste tai pehmuste. [21; 22; 23.]



Kuva 3. Kiinnitystelineeseen Schletter-tuotemerkin UV-säteilyä kestäväillä kiinnikkeillä kiinnitetty DC-kaapeli [23].

Vaihtoehtoisesti voidaan kiinnittää UV-kestävää suojaputkea kattoon tai telineeseen ja asentaa kaapeli putkeen. Alumiinisuojaputki on hyvä vaihtoehto mekaanisen suojauksen kannalta. [23.]

2.4.3 AC-kaapelointi

Aurinkosähköjärjestelmän AC-puoli kaapeloidaan invertteriltä AC-turvakytkimen kautta sähkökeskukselle, missä kaapeli kytketään johdonsuojakatkaisijan ja mahdollisen vikavirtasuojan kautta kiinteistön syöttökaapeleihin. Etäluettavan kaksisuuntaisen sähkömittarin kautta aurinkosähköä voidaan siirtää jakeluverkkoon. Tyypillisesti AC-puolella käytetään MMJ- tai MCMK-kuparikaapeleita. Jos paneelisto sijaitsee maanpinnan tasolla ja paneeliston ja sähkökeskuksen

väläinen matka on pitkä, voidaan käyttää esimerkiksi AMCMK-alumiinikaapelia. Kaapelien poikkipinnat valitaan kuormitettavuuden mukaan ja muu mitoitus tehdään standardin SFS 6000 mukaisesti. [9, s. 144–145; 21; 22; 23.]

2.5 Sähköpaneelijärjestelmän maadoitus ja potentiaalintasaus

Aurinkosähköpaneelistoon vaaditaan maadoitus, mikäli järjestelmässä käytetään salamasuojausta tai paneeliston suurin jännite on yli 60 V. Mikäli maadoitusta vaaditaan, yleensä se toteutetaan suojaavalla potentiaalintasauksella. Potentiaalintasaus on hyvä tehdä, vaikka sitä ei standardissa vaadita, koska se tehostaa aurinkopaneelijärjestelmän suojausta ja ehkäisee staattisen sähkön purkauksia. Potentiaalintasaukseen liitetään aurinkopaneelien metalliset tukirakenteet ja johtotiet. Potentiaalintasaus toteutetaan 6–16 mm²:n kuparijohtimella, joka kytketään soveltuvaan maadoituskiskoon tai -liittimeen. Paneeliston alumiinirakenteiden liitokset tehdään soveltuvilla kytkentätarvikkeilla. [9, s. 149–150; 21.]

Toiminnallista potentiaalintasausta ei pääsääntöisesti käytetä, mutta jotkut paneelitekniikat vaativat jännitteisten osien liittämisen maapotentiaaliin. Tämän tyyppinen liittäminen on sallittu tehoyksikön DC-puolella, jos invertterin sisäisessä tai sen ulkopuoleisessa muuntajassa on sähköisesti erilliset ensiö- ja toisiokäämit. Toiminnallinen potentiaalintasaus on liitettävä invertterin DC-osan yhteen pisteeseen ja kuparijohtimen poikkipinnan on oltava vähintään 4 mm². Potentiaalintasausjohtimet ja DC-kaapelit on mahdollisuuksien mukaan asennettava rinnakkain. [9, s. 149–150; 21.]

2.6 Suojausmenetelmät

Kotelointiluokan on oltava vähintään IP44 ja mekaanisen iskunkestävyyden on oltava vähintään IK07 ulos asennettavilla laitteilla [9, s. 143]. Aurinkosähköjärjestelmän DC-puolen sähkölaitteet kuuluu pitää jännitteisinä, vaikka invertteri on erotettu DC-puolesta tai AC-puoli on erottu jakeluverkosta. DC-puolella käytetään sähköiskulta suojaamiseen joko pienoistöjännitettä tai kaksois- tai

vahvistettua eristystä. [9, s. 138.] Aurinkopaneelien ja paneeliketjujen kaapelit on kytkettävä siten, että niistä muodostuu mahdollisimman vähän johdinsilmukoita. Tällä tavalla estetään salamoista johtuvan jännitteen liiallista indusoitumista ukkosilmalla [9, s. 145].

Toiminnallisen potentiaalintasausjohtimen automaattinen erotuslaite mitoitetaan paneeliston suurimman oikosulkuvirran, tyhjäkäyntijännitteen ja huipputehon mukaan. Erotuslaite kytketään sarjaan toiminnallisen potentiaalintasausjohtimen kanssa. [9, s. 149.]

2.6.1 Turvakytkimet

Aurinkopaneeliston on täytettävä kansalliset sekä paikalliset paloturvallisuusvaatimukset. DC-puolen erottaminen invertteristä sen huollon ja vaihtamisen mahdollistamiseksi ja suojaus erityisvivoilta toteutetaan turvakytkimellä, mikä voi olla joko sopiva kuormaerotin tai erottamiseen soveltuva katkaisija. DC-turvakytkin sijoitetaan aurinkopaneeliston ja invertterin väliin. Usein inverttereissä on integroitu turvakytkin, jolloin erillistä turvakytkintä ei tarvita. Yleensä inverttereihin on integroitu myös eristystilan valvontalaite (IMD), jonka avulla voidaan valvoa DC-puolen eristyksen tilaa. Eristystilan valvontalaite on asennettava erikseen, mikäli se ei ole sisäänrakennettu invertteriin. Jokainen kytkinlaite, jota on mahdollista käyttää DC-piirin avaamiseen ja jolla ei ole katkaisukykyä, on lukittava tai sijoitettava lukittavaan koteloon tai tilaan. [9, s. 139–149.]

AC-turvakytkimellä koko aurinkosähköjärjestelmä saadaan kytkettyä irti sähköverkosta. Jos kyseessä on On-Grid-järjestelmä, täytyy ottaa huomioon laitteen napaisuus, mikäli se on laitevalmistajalta saatujen tietojen mukaan tarpeellista. Kytchentä toteutetaan siten, että sähköjakeluverkko pidetään tehon lähteenä ja aurinkopaneelijärjestelmä kuormituksena. Turvakytkin tulee sijoittaa näkyvään paikkaan siten, että se on pelastuslaitoksen tai verkkoyhtiön helposti saavutettavissa. [9, s. 139–149.]

2.6.2 Ylivirtasuojaus

Jos aurinkosähköjärjestelmässä on yksi tai kaksi paneeliketjua, ylivirtasuojia ei vaadita. Mikäli rinnankytkettyjä paneeliketjuja on enemmän kuin kaksi, jokaiselle paneeliketjulle on asennettava ylivirtasuoja. Ylivirtasuojalaitteen on täytettävä standardin SFS 6000-7-712.533 ehdot. Erityisehdoin myös useampi paneeliketju voidaan suojata yhdellä ylivirtasuojalaitteella. Suojalaitteiden lämmönkestoisuuden on oltava sama kuin aurinkosähköpaneelilla. Ylivirtasuojalaitteilla suojataan paneeliketjun molemmat navat. Ylivirtasuojaukseen käytetään standardien mukaisia gPV-varokkeita, varokeykimiä tai katkaisijoita. Estodiodia ei saa käyttää ylivirtasuojaukseen. [9, s. 139–149.]

Paneelistossa, jossa on enintään kaksi rinnankytkettyä paneeliketjua, paneeliketjukaapelin jatkuvan kuormitettavuuden suurin virta, jolla johdinta voi kuormittaa määrätyissä olosuhteissa ilman, että johtimen lämpötila ylittää sallitun arvon, määräytyy paneeliketjun oikosulkuvirran mukaan. Jatkuvan kuormitettavuusvirran on oltava suurempi kuin paneeliketjun suurin oikosulkuvirta tai vähintään yhtä suuri. Jos paneeliketjuja on enemmän kuin kaksi, ylikuormitussuojaukseen käytetään standardin SFS 6000-7-712.433.101 mukaisia menettelyitä. Osapaneelistokaapelien ylikuormitussuojaukselle on omat vaatimukset, jotka suurimmalta osalta ovat samankaltaisia kuin paneeliketjukaapelien suojausvaatimukset. Paneelistokaapelin ylikuormitussuojauksen ehtona jatkuvan kuormitettavuuden suurimman virran on oltava suurempi kuin paneeliston suurin tasavirta tai vähintään yhtä suuri. [9, s. 139–149.]

Ylivirtasuojan mitoituksessa invertterin ja sähkökeskuksen väliselle kaapelille on otettava huomioon invertterin suunniteltu virta, joka on valmistajan ilmoittama AC-nimellislähtövirta. Mikäli valmistajan tieto AC-nimellislähtövirrasta on puutteellinen, käytetään mitoitusvaihtovirran arvoa kertoimella 1,1. AC-kaapelin oikosulkusuojaus toteutetaan asentamalla ylivirtasuojalaite sähkökeskukseen. [9, s. 141.]

2.6.3 Ylijännitesuojaus

Ylijännitesuojauksen tarpeellisuus arvioidaan tekemällä riskiarviointi standardin SFS 6000-7-712.443.102 mukaan. Ylijännitesuojauksen tarve riippuu asennuksen liitännäkohdan ja invertterin välisestä etäisyydestä sekä eri lähteistä kohdistuvista ylijännitteistä, kuten internetyhteyksistä ja puhelinlinjoista. Ylijännitesuojat asennetaan aurinkosähköjärjestelmän DC-puolella mahdollisimman lähelle invertteriä. Ylijännitesuojaus on toteutettava ulkoisilla ylijännitesuojilla, ellei ylijännitesuojia ole integroitu invertteriin. Invertteriin integroidut ylijännitesuojat ovat käyttökelpoisia vain, jos invertterin valmistaja on määritellyt niiden sopivuuden aurinkosähkökäyttöön. Yleensä käytetään tyyppin 2 ylijännitesuojia, mutta erikoistapauksissa voidaan käyttää myös tyyppin 1 ylijännitesuojia. [9, s. 140–148.]

Ylijännitesuojien mitoitus tehdään standardin SFS 6000-7-712.534 mukaan. Suojaustasoon vaikuttavat eniten laitteiden ja asennuksen liitännäkohdan väliset etäisyydet. Resonanssi-ilmiöstä johtuen jännite voi kaksinkertaistua yli 10 metrin etäisyyksillä, joten on suositeltavaa minimoida aurinkosähkölaitteiden ja sähkökeskusten väliset etäisyydet ja asentaa ylijännitesuojat vähintään 10 metrin välein, mikäli kaapeloinnit ovat pitkiä. Tyyppin 1 ylijännitesuojat liitetään päämaadoituskiskoon 16 mm²:n kuparijohtimilla ja tyyppin 2 ylijännitesuojat vähintään 6 mm²:n kuparijohtimilla. [9, s. 140–148.]

2.7 Aurinkosähköjärjestelmän tunnistaminen

Turvallisuuden varmistamiseksi kohteessa, jossa aurinkosähköjärjestelmä sijaitsee, on asennettava standardin mukaiset varoitusmerkit oikeisiin paikkoihin. Varoitusmerkeillä varustetaan sähkökeskus, johon on liitetty invertteri, sähköasennuksen liittymiskohta ja mittauskohta, mikäli se sijaitsee eri paikassa kuin asennuksen liittymiskohta. Näiden lisäksi sähkökeskukset ja liitännäkeskukset, joilla on yhteys aurinkosähköjärjestelmän DC-puoleen, on varustettava merkinnällä, joka ilmoittaa, että erottamisen jälkeen jännitteisissä osissa voi edelleen olla takajännite. Myös invertterissä on oltava opastus, että ennen toimenpiteitä

invertteri täytyy erottaa sekä järjestelmän DC-puolelta että järjestelmän AC-puolelta. [9, s. 144.]

2.8 Sähkönkulutuksen analyysiin perustuva mitoitus

Aurinkosähköjärjestelmän mitoitukseen käytetään erilaisia menetelmiä riippuen järjestelmän tyypistä, kokoonpanosta ja asennuspaikasta. Mitoitukseen vaikuttaa merkittävästi kohteen sähkönkulutus ja sähkön käyttötarpeet, käytettävissä oleva budjetti, sijoittajan asenne aurinkopaneelijärjestelmän kannattavuuteen ja ekologisuuteen sekä visuaaliset tavoitteet.

2.8.1 Off-Grid-aurinkosähköjärjestelmien mitoitus

Off-Grid-aurinkosähköjärjestelmä voi olla kannattava verkkoon liitetyissä kohteissa, joissa on suuri pohjakulutus. Tässä tapauksessa aurinkosähköjärjestelmä mitoitetaan pohjakulutuksen mukaan, jolloin järjestelmän tuottama sähkö kattaa pohjakulutuksen kokonaisuudessaan, eikä järjestelmää tarvitse liittää jakeluverkkoon. Pohjakulutus eli vähimmäiskulutus selvitetään hakemalla kohteen pienin tuntikohtainen kulutus siltä kuukaudelta, jolloin kokonaiskulutus oli pienin. [5, s. 96; 24.]

Off-Grid-järjestelmien mitoituksessa ensisijaisesti kartoitetaan kohteen päivittäinen sähköenergian tarve. Tyypillisesti verkkoon kytkemättömillä kohteilla ei ole valmista dataa sähköenergian kulutuksesta, joten sähkön käyttötarpeet mitoitetaan laitekohtaisesti. Käytännössä kerätään tiedot sähkölaitteiden tehosta ja ajasta, jolloin laitteet ovat käytössä. Tiedot laitteiden käytöstä on hyvä selvittää mahdollisimman tarkasti huomioon ottaen kohteen käyttöprofiili ja laitteiden käyttöjakso. Saatujen tietojen pohjalla voidaan mitoittaa kohteeseen soveltuva aurinkosähköjärjestelmä. Aurinkosähköjärjestelmän kokoonpano määrittää kuitenkin oleellisesti mitoitusta. [5, s. 96; 24.]

Verkkoon kytkemättömissä kohteissa aurinkosähköjärjestelmien kokoonpanoon aurinkopaneelien lisäksi kuuluu yleensä akusto, aggregaatti tai molemmat.

Mikäli järjestelmä koostuu pelkästään aurinkopaneeleista, sähkönkäyttö on mahdollista vain tuotannon aikana ja tässä tapauksessa järjestelmä mitoitetaan laitteiden sähkötekniisten ominaisuuksien mukaisesti. Paras hyöty aurinkoenergiasta saadaan, jos kuluttaja voi aina käyttää sähköä välittömästi ja sähköä kuluttava laite toimii osateholla. Näin saadaan myös pienennettyä järjestelmän kokoa. [5, s. 96; 24.]

Akustolla varustettu Off-Grid-aurinkosähköjärjestelmä voi olla toimiva vaihtoehto esimerkiksi mökkiin, joka ei ole käytössä talvisin, koska talven aikana vähäisen auringon säteilyn takia sellainen järjestelmä ei ole kustannustehokas. Akustolla varustetun aurinkosähköjärjestelmän mitoituksessa täytyy olla tarkkana, jotta järjestelmällä saavutetaan riittävä sähkön omavaraisuus. Laskennoissa kartoitetaan sähkön käyttöjaksot sekä käyttöprofiilit eri vuodenaikoina ja arvioidaan auringonsäteilyn vuorokausivaihtelut käyttöjaksojen aikana. Näiden lisäksi mitoitetaan kohteen kaikkien sähkölaitteiden tyypilliset käyttöprofiilit sekä huippukulutukset. Akuston kapasiteetti täytyy ylittää, koska yleisesti akkuja ei voi purkaa täysin tyhjiksi, varsinkaan lyijyakkuja. Akuston kapasiteetti myös pienenee luonnollisesti iän myötä. [5, s. 96; 24.]

Akustolla ja aggregaatilla varustetun Off-Grid-aurinkosähköjärjestelmän mitoituksessa on taloudellisesti kannattavinta löytää tasapaino, missä aurinkopaneelien määrä ja akkujen kapasiteetti riittävät kattamaan sähkön kulutustarpeet aurinkoisena kesäpäivänä vuorokauden yli ilman aggregaatin käyttöönottoa. Tällä mallilla mitoitettu aurinkosähköjärjestelmä vähentää aggregaatin polttoainekustannuksia rakentamiskustannuksiin nähden. [5, s. 96; 24.]

Aggregaatilla varustettu Off-Grid-aurinkosähköjärjestelmä ilman akustoa mitoitetaan kohteen pohjakulutuksen mukaan. Mikäli kohteessa on mahdollista hyödyntää aurinkopaneelien tuottama sähkö muihin tarpeisiin pohjakulutuksen lisäksi, tehdään mitoituslaskelmat ja käyttötarvearvio tämän kulutuksen osalta. [5, s. 96; 24.]

2.8.2 On-Grid-aurinkosähköjärjestelmien mitoitus

On-Grid-aurinkosähköjärjestelmän mitoituksessa pyritään tavallisesti saamaan suurin mahdollinen taloudellinen hyöty. Poikkeuksellisesti aurinkopaneelijärjestelmän kokoa rajoittavana tekijänä voi olla aurinkopaneelien asennukseen käytettävissä oleva pinta-ala tai järjestelmää varten käytettävissä oleva budjetti. Näissä tapauksissa ei välttämättä saavuteta järjestelmän taloudellisen kannattavuuden maksimiarvoja. Aurinkopaneelijärjestelmä voidaan myös ylimitoittaa, mikäli tavoitteena on maksimoida aurinkoenergian tuottoa esimerkiksi ekologisten arvojen tai estetiikan takia. [5, s. 94, 96; 25; 26.]

On-Grid-aurinkosähköjärjestelmän paras taloudellinen hyöty saadaan tilanteessa, jossa mahdollisimman suuri osuus järjestelmän tuottamasta sähköenergiasta käytetään kohteen omiin tarpeisiin ja siten minimoidaan myyntiä sähköverkkoon. Haastetta tuo hintaero omakotitalokokoluokan järjestelmissä, koska pienemmät järjestelmät ovat suhteellisesti kalliimpia kuin suuremmat ja usein pienen järjestelmän maltillinen ylimitoitus on kannattavaa. [5, s. 94, 96; 25; 26.]

Aurinkosähköjärjestelmän koko määritellään vaaditun tuotannon mukaan. Omalla tuotannolla pyritään korvaamaan sähköyhtiöiden tuottamaa sähköä mahdollisimman kattavasti, joten ensimmäiseksi täytyy selvittää kohteen kulutusprofiili. Olemassa olevien kohteiden sähkönkulutus mitataan kaikissa käyttöpaikoissa, ja tuntisarjat ovat saatavilla jakeluverkkoyhtiöiden verkkopalveluista. Uudiskohteen sähkönkulutuksen arvioinnissa hyödynnetään vastaavan tyyppisen kohteen käyttöprofiilia. Laskennassa otetaan huomioon poikkeamat uudiskohteen laitteiden sähkönkulutuksessa vertauskohteen laitteiden kulutukseen nähden. Mikäli tavoitteena on saada taloudellisesti paras lopputulos varsinkin suuremmissa kohteissa, mitoituksessa vertaillaan sähkönkulutus ja arvioitu tuotanto tuntitasolla. Tarkasteluun riittävät vuoden valoisien kuukausien tunnit. [5, s. 94, 96; 25; 26.]

Pienimmille kohteille On-Grid-järjestelmän mitoitus voidaan tehdä karkeammin. Esimerkiksi pohjakulutukseen perustuvan järjestelmän mitoituksessa

tarkastellaan kohteen maalisi-syyskuun sähkökulutuksen pohjakuormaa ajanjaksoilta, jolloin aurinkosähkön tuotto on mahdollista. Saadun tiedon avulla arvioidaan myytävän ylijäämäsähkön määrää. [5, s. 94, 96; 25; 26.]

Järjestelmän mitoitus voi pohjautua myös kohteen keskimääräiseen sähkön kuukausikulutukseen. Tässä tapauksessa järjestelmästä tulee suurempi kuin pohjakulutukseen perustuva ja sen taloudellinen hyöty tulee riippumaan enimmäkseen tuotantosähkön myyntihinnasta. Nykyään on entistä vaikeampi arvioida, tuleeko järjestelmästä kannattava vai kannattamaton pidemmällä aikavälillä, koska sähkön pörssihinnoissa on ollut mittavaa vaihtelua. [5, s. 94, 96; 25; 26.]

Mitoituksessa on hyvä ottaa huomioon myös automaation tarjoamat hyödyt. Ohjausten avulla aurinkosähkön tuotantoa voidaan käyttää kohteen omiin tarpeisiin tehokkaammin lisäämällä kulutusta hetkinä, jolloin tuotanto on suurimmillaan. Näin myytävän ylijäämäsähkön määrä pienenee, järjestelmän taloudellinen kannattavuus paranee ja tämä mahdollistaa aurinkopaneelien kapasiteetin kasvattamisen. Myytävän ylijäämäsähkön määrää voidaan vähentää myös lisäämällä aurinkosähkijärjestelmään akusto, mutta akustojen korkeat hinnat tekevät järjestelmästä kannattamattoman. [5, s. 94, 96; 25; 26.]

Sekä On-Grid- että Off-Grid-aurinkosähkijärjestelmien mitoituksessa on syytä selvittää mahdolliset lähiaikoina tulevat merkittävät muutokset sähkökulutukseen. Internetistä löytyy useita simulointityökaluja, joita voi käyttää aurinkosähkijärjestelmän suunnitteluun. Simulointityökalujen avulla voidaan karkeasti laskea järjestelmän kannattavuutta ja kartoittaa kokoa. Saatavilla on myös laskentaohjelmia, joilla pystyy arvioimaan suunniteltavan aurinkosähkijärjestelmän lukuisia yksityiskohtia fyysisen asennuksen kannalta ja selvittää paikkakuntakohtainen auringon säteily määrä tonttikohtaisesti. [5, s. 94, 96; 25; 26.]

2.9 Kohteen kartoitus

Sähkönkulutukseen pohjautuvan mitoituksen jälkeen aurinkosähköjärjestelmä on hyvä kartoittaa käymällä kohteessa. Käynnin aikana tarkennetaan asennuspaikka, jolloin selvitetään mahdolliset varjostuvat alueet, kaapelointietäisyydet ja muut asennuspaikan valintaan vaikuttavat tekijät. Samalla tarkistetaan liittymän pääsulakekoko, pääsulakkeiden kasvattamisvara ja vapaat sulakelähdöt.

Mikäli asennus suunnitellaan katolle, kerätään tiedot rakennuksesta ja kattorakenteista sekä arvioidaan katon kantavuus ja kunto. Suunnittelua varten tarvitaan tiedot kattomateriaalista ja -kaltevuudesta, räystäistä, kattotuolien määrästä ja jaosta, ruodelautojen jaosta, piipuista ja muista varjoistavista rakenteista ja mahdollisista kattoikkunoista. Harjakatolle tulee selvittää myös harjankorkeus ja -pituus. Tulee ottaa huomioon työturvallisuuteen liittyvät asiat ja mahdolliset asennustyön haasteet, kuten valjaiden tai nosturin tarpeellisuus ja käytön mahdollisuudet. Valitun asennuspaikan pohjalta mallinnetaan järjestelmän rakenne ja kartoitetaan järjestelmän komponenteille sijoitus- ja kiinnityspaikat sekä johdotusreitit. Valokuvaaminen on tehokas apuväline kartoituksessa, ja sitä kannattaa hyödyntää, mikäli se sopii kohteen omistajalle. Kartoituksen aikana kannattaa kirjata ylös kaikki saadut tarpeelliset tiedot, huomiot, lisäselvitystarpeet ja toteutusvaihtoehdot.

2.10 Laskelmat

Aurinkosähköjärjestelmän huipputeho riippuu kohteen sähkönkulutuksesta ja investoijan tarpeista sekä toiveista, joten se lasketaan aina tapauskohtaisesti. Huipputehon avulla voidaan laskea järjestelmän tuottotiedot ja koko. Mikäli pinta-ala paneelien asentamiselle on rajoitettu, järjestelmän huipputeho mallinnetaan käytettävissä olevan pinta-alan mukaan. Paneelijärjestelmän pinta-ala on tyypillisesti $5\text{--}7 \text{ m}^2 / 1 \text{ kW}_p$ riippuen yksittäisten paneelien pinta-alasta ja nimellistehosta. [27.]

Aurinkosähköjärjestelmän vuotuista tuottoa voidaan karkeasti laskea kertomalla järjestelmän huipputeho kohteen vuosisäteily määrällä. Tarkkojen tuottotietojen mallintamista varten tehokkain työkalu on PVGIS-laskuri. Laskuriin täytetään kohteen sijaintitiedot ja suuntauskulmat. Laskuriin pitää syöttää myös aurinkopaneelien tiedot ja asennuskulmat, aurinkosähköjärjestelmän huipputehoarvot ja oletettu tehoalenema, joka kattaa paneeliston elinkaaren tehohäviöt. Tuottotietojen laskennassa on myös hyvä ottaa huomioon aurinkopaneelien lämpötilan ja puhtauden vaikutus, mahdolliset varjostukset ja järjestelmän muiden komponenttien hyötysuhde. [27; 28.]

Suunnitteluvaiheessa on hyvä laskea aurinkopaneelijärjestelmän rakenteeltaan erilaiset toteutusvaihtoehdot tehon, asennuspaikan ja suuntauksen mukaan. Laskennoissa saatujen tietojen perusteella kohteeseen suunnitellaan sopiva järjestelmä. Suunnittelulle järjestelmälle tehdään tuuli- ja lumikuormalaskennat. Valmistajilta saatujen paneelien ja niiden kiinnitysrakenteiden kestävyystietojen perusteella tehdään kantavuus- ja lujuuslaskennat. [27; 28.]

Yksinkertaistettuna aurinkosähköjärjestelmän investointikustannukset esitetään hinnan ja järjestelmän nimellistehon suhteena. Kustannuksiin sisältyvät kaikki järjestelmän komponentit sekä suunnittelutyöt ja asennustyöt yksikköhinnoilla. Avaimet käteen -periaate on aurinkosähköjärjestelmien yleisin tilaustapa. [29.]

Aurinkosähköjärjestelmän kannattavuusarvion mallintamiseen on helpointa käyttää kannattavuuslaskuria [30], joka on saatavilla internetistä ilmaiseksi. Tarkkaa laskentaa varten tarvitaan tiedot sähköenergian osto- ja siirto hinnasta, sähköverosta ja huoltovarmuusmaksusta, ostosähkön ALV:sta ja arvio ostosähkön hinnan noususta. Laskentaan tarvitaan myös tiedot hankittavasta aurinkosähköjärjestelmästä, kuten teho (kW_p), vuosituotto (kWh/kW_p), tuotannon vuosittainen alenema, tuotantosähkön ylijäämän osuus ja sähkön myyntihinta verkkoon. Näiden lisäksi tarvitaan seuraavat tiedot aurinkosähköjärjestelmän hankinta-, ylläpito- sekä rahoituskustannuksista:

- investointikustannus, johon kuuluvat kaikki laitteet, tarvikkeet ja niiden asennus
- mahdollinen investointituki tai kotitalousvähennys
- oma mainos-, brändi- tai ympäristötuki investoinnille
- mahdollinen lainan tai ulkopuolisen rahoituksen määrä ja korko
- mahdollinen laina-aika tai rahoitussopimuksen pituus
- investoinnin tuottovaatimus
- invertterin vaihdon kustannus, joka oletetaan tapahtuvan yhden kerran 30 vuodessa
- vuotuiset ylläpitokustannukset.

Näillä tiedoilla kannattavuuslaskuri laskee arvion investoinnin nettokykyarvosta aurinkosähköjärjestelmän oletetulla käyttöiällä, joka on minimissään 30 vuotta. Tämän lisäksi selviää takaisinmaksuaika annetulla laskentakorolla. [27; 29; 30.]

2.11 Tekninen dokumentointi, luvat ja sopimukset

Aurinkopaneelijärjestelmän asennuksesta laaditaan rakennuspiirustukset, jotka pohjautuvat kohteen teknisiin piirustuksiin ja maastokäynnin kartoitukseen. Sen lisäksi tehdään runkokiinnikkeiden paikannus- ja määräkaaviot sekä kuvat paneelin sijoittelusta telineessä. [31, s. 440–448; 32.]

Aurinkosähköjärjestelmän komponenteista on hyvä tehdä kattava määräluettelo, jossa esitetään kaikkien aurinkosähköjärjestelmässä käytettävien laitteiden, materiaalien ja tarvikkeiden oleelliset ominaisuudet, määrät ja hinnat. Kaikki laskentatulokset, valokuvat, rahtikirjat ja muut toimitukseen ja

asennukseen liittyvät kirjalliset dokumentit ja todisteet on hyvä säilyttää ja arkistoida sähköisesti.

Pöytäkirjat tehdyistä sähköasennusten tarkastuksista ja mittauksista laaditaan sähköturvallisuuslain 1136/2016 edellyttämällä tavalla. Käyttöönototarkastus tehdään standardin SFS 6000-6:2017 luvun 6.4 mukaan. Mittauksissa käytetään standardissa EN 61557 esitetyjä mittalaitteita. Jännitetasoltaan alle 120 V:n tasasähköjärjestelmille käyttöönottopöytäkirjaa ei vaadita. Aurinkosähköjärjestelmän asennuksen jälkeen päivitetään kohteen sähköpiirustukset ja merkinnot tai laaditaan periaatteelliset kaaviot kiinteistön sähköverkon muutoksen osalta. [31, s. 440–448; 32.]

Tilaaajan ja urakoitsijan välillä kannattaa tehdä kirjallinen sopimus, jossa määritetään aurinkosähköjärjestelmän toimittamisen ja asentamisen yksityiskohdat. Sopimukseen on hyvä kirjata toimituksen etenemisen vaiheet ja asentamisen aikataulu ja ehdot. Sopimuksella rajataan vastuut ja velvollisuudet, määritetään vahingonkorvaukset ja muut mahdolliset ylimääräiset kulut sekä osoitetaan tilaaajan oikeudet, kuten sopimuksen peruuttamisoikeus ja sen mahdolliset kustannukset. [33.]

Kunnan rakennusvalvontaviranomaiselta selvitetään aurinkosähköjärjestelmän rakentamisen lupavaatimukset. Yleensä aurinkopaneelijärjestelmä ei vaadi rakennus- tai toimenpidelupaa, mutta vaatimukset vaihtelevat kunnittain. Poikkeuksena on tuotantojärjestelmät, joilla on merkittävä vaikutus ympäristöön tai kaupunkikuvaan, varsinkin asemakaava-alueilla ja rakentaminen suojelukohdeissa. Näissä poikkeustapauksissa kohteesta ja tuotantojärjestelmästä riippuen rakennusvalvonta esittää lupavaatimukset. Vaihtoehtoisesti rakennusvalvonta voi myös joko kieltää rakentamisen kokonaan tai myöntää luvan ilman vaatimuksia. [34.]

2.12 Liittäminen jakeluverkkoon

Ennen On-Grid-aurinkosähköjärjestelmän hankintaa verkonhaltijalle on hyvä toimittaa tiedot järjestelmän laitteistosta ja varmistaa samalla laitteiston soveltuvuus liittämiskohtaan. Aurinkosähköjärjestelmän liittäminen verkkoon saattaa edellyttää toimenpiteitä jakeluverkon puolelta, kuten verkon vahvistusta. Mikäli järjestelmän nimellisteho ylittää 100 kVA, siihen lisätään erillinen mittauslaite, joka laskee oman tuotannon kulutusta. Aurinkosähköjärjestelmän tekniset vaatimukset jakeluverkon kannalta ja laitteiston asetteluarvot on listattu standardissa SFS-EN 50549-1:2019. Verkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän tulee kokonaisuudessaan täyttää sille asetetut tekniset vaatimukset. On hyvä muistaa, että teholtaan 50 kW tai suuremmissa järjestelmissä tulee käyttää keskitettyä suojausta, johon kuuluu yksi suojarele ja kytkinlaite, joilla vikatilanteessa saadaan koko tuotantojärjestelmä irti verkosta. [34; 35; 36.]

Kun aurinkosähköjärjestelmä on asennettu, asentaja tekee sähköturvallisuuslain vaatiman käyttöönottotarkastuksen ja luovuttaa käyttöönottotarkastuspöytäkirjat järjestelmän haltijalle. Aurinkosähköjärjestelmän käyttöönottotarkastuksen yksityiskohdat on esitetty standardissa SFS-EN 62446-1. [34; 35.]

Ennen aurinkosähköjärjestelmän käyttöönottoa jakeluverkonhaltijan kanssa tehdään tuotannosta verkkopalvelusopimus. Yleensä tuotantojärjestelmän liittämisestä verkkoon tehdään myös tuotannon liittymissopimus, mutta sen tarve vaihtelee kohteittain. [34; 35.]

Kun sopimusasiat ovat kunnossa ja käyttöönottotarkastus on tehty, aurinkosähköjärjestelmän asentaja tai haltija täyttää pientuotannon yleistietolomakkeen ja lähettää sen jakeluverkonhaltijalle. Mikäli verkonhaltijalla ei ole huomautettavaa, se antaa järjestelmälle käyttöönottoluvan sekä kohteelle käyttöpaikkatunnuksen ja mahdollisesti verkkoon liittämistä koskevat ohjeet. [34; 35.]

Vaihtojännitteisten aurinkosähköjärjestelmien liittäminen verkkoon on sähkötyötä, jota voi tehdä vain S2-sähköasennusoikeudet omaava henkilö. Oikeutta sähkötöihin ei edellytä, jos aurinkopaneelijärjestelmän DC-puolen ylin jännite on

korkeintaan 120 V. Niissä tapauksissa myös ryhmäjohton ja erotuskytkimen asentamiseksi riittää S3-sähköasennusoikeus, jos sähkökeskukseen ei tehdä muutoksia. [34; 35; 36.] Ennen sähkönsiirtoa yleiseen jakeluverkkoon aurinkosähkön tuottajalla on oltava voimassa oleva sopimus ylijäämänsähkön myynnistä ostajan kanssa, joka toimii sähkömarkkinaosapuolena [34].

Yleensä On-Grid-aurinkosähköjärjestelmät ovat kolmivaiheisia, mutta verkkoon on mahdollista liittää myös yksivaiheisia järjestelmiä. Yksivaiheisen järjestelmän sulakesuojaus saa olla korkeintaan 16 A. [34; 35.]

2.13 Aurinkosähköjärjestelmän asentaminen pienrakennuksen katolle

Yleisin aurinkosähköjärjestelmien asennustapa on kattoasennus. Ennen kattoasennuksiin ryhtymistä täytyy perehtyä kattotyöskentelyyn liittyviin riskeihin sekä vaaroihin ja tehdä niiden arviointi. Katolla liikkuminen ja työskentely on vaarallista, joten turvallisuuteen kiinnitetään erityistä huomiota. Kattotyöskentelyn turvallisuuteen vaikuttaa merkittävästi lappeen kaltevuus, katemateriaali ja sääolosuhteet. Kattotyöskentelyä varten täytyy olla asianmukaiset kattoturvarusteet ja -välineet. Mikäli rakennus on korkea ja kiinteä putoamissuojaus puuttuu, on käytettävä turvavaljaita. [37.]

Kattoasennus saattaa erikoistapauksissa vaatia nosturin tai rakennustelineet. Näiden tarpeellisuus on hyvä arvioida järjestelmän kartoitusvaiheessa ja selvittää valmiiksi kustannukset sekä tarvittava logistiikka.

Telineiden asennus

Järjestelmän kokoaminen aloitetaan tavallisesti telineiden asentamisella. Ennen asennusta katolle on hyvä tehdä mahdollisesti tarvittavat huolto- ja korjaustoimenpiteet. Näiden toimenpiteiden tekeminen on kohteen omistajan vastuulla.

Tasakaton telineitä varten katolle nostetaan niitä paikallaan pitävät painot ja telineen rakenteet, minkä jälkeen teline kasataan ja kiinnitetään kattoon. Harjakatolle asennettaessa merkataan ensimmäiseksi telineen kiinnityskohdat. Sen

jälkeen varmistetaan, että telineen kiskojen suuntaukset ovat suorat ja kattokiinnikkeiden väliset etäisyydet ovat suunnitelman mukaiset. Tämän jälkeen asennetaan kattokiinnikkeet, säädetään niiden korkeus ja tiivistetään kattokiinnikkeiden paikat. Asennusmenetelmät vaihtelevat valmistajan, kattomateriaalin ja -rakenteen mukaan. Kattokiinnikkeisiin kiinnitetään asennuskiskot ja tarkistetaan suuntaukset ja etäisyydet eri mittaustekniikoilla sekä varmistetaan, että kaikki osat on kiinnitetty kunnolla ja että katto on tiivis.

Johdotus

Kun teline on valmis, siihen liitetään maadoitusjohtimet ja vedetään DC-johtimet tulevan paneeliston alle. Johtojen päihin asennetaan soveltuvat liittimet ja mahdolliset ohjaus- tai suojauslaitteet. DC-johtimet viedään katolta turvakytkimen kautta kohteen sähköverkkoon, jos kuluttajana on esimerkiksi 12 V:n / 24 V:n Off-Grid-tasasähköjärjestelmä, tai invertterille. Maadoitusjohtimet kytketään potentiaalintasaukseen. Yleensä johdotukset tehdään katon läpi ja asennuksessa käytetään JAPP-alumiiniputkia. Sen jälkeen kuin johdotukset katolla on tehty, voidaan asentaa paneelit. Paneeleja käsitellään valmistajan ohjeiden mukaan.

Aurinkopaneelien asennus

Aurinkopaneelien asennuksessa on kiinnitettävä erityistä huomiota niiden kuljetukseen ja nostamiseen katolle. Paneelit puretaan pakkauksesta ja nostetaan katolle. Katolla paneelit liitetään runkojohtimiin ja liitoskohdat kiinnitetään telineeseen. Tämän jälkeen paneeli voidaan kiinnittää telineeseen siihen soveltuvilla kiinnikkeillä valmistajan ohjeiden mukaan. Mahdollinen invertteri, ohjaus-, suojaus- ja varavoimalaitteet ja niiden kaapeloinnit voidaan asentaa valmiiksi ennen aurinkopaneeleiden asentamista tai heti sen jälkeen. Kun paneelit on asennettu, ne kytketään kohteen sähköverkkoon tai invertteriin.

Vaihtosähköpuolen kytkennät tehdään sen jälkeen kun tasasähköpuolen asennus on valmis. Uusista kytkennöistä tehdään uudet kytkentäkaaviot tai muutokset kohteen nykyisiin kaavioihin. Järjestelmästä laaditaan tarvittavat käyttö- ja huolto-ohjeet ja kiinnitetään tarrat. Uudet asennukset testataan ja täytetään

käyttöönottotarkastuspöytäkirja. Kun kaikki on asennettu, kytketty ja testattu, sähköverkonhaltijalta pyydetään lupa liittää aurinkopaneelijärjestelmä verkkoon, mikäli kyseessä on On-Grid-järjestelmä. Järjestelmä voidaan ottaa käyttöön heti kun lupa on myönnetty. Hyvään asennustapaan kuuluu myös omien jälkien siistiminen, vaikkei sitä olisikaan kirjattu esimerkiksi työselostukseen tai urakkasopimukseen.

Jos työskentely tapahtuu työmaa-alueella, noudatetaan työmaan järjestelyjä ja sääntöjä. Kattotyöskentelyä varten työmaalla kuuluu olla erillinen ohjeistus. [37.] Asennustöitä tehtäessä noudatetaan sähkötyöturvallisuusstandardin SFS 6002 määräyksiä.

2.14 Aurinkosähköjärjestelmän asennuksen kustannus ja tuotteet

Viime vuosina aurinkopaneelijärjestelmien hinnat ovat tasaantuneet ja suosio kasvaa jatkuvasti. Aurinkopaneelijärjestelmän asennuksen tarkka hinta avaimet käteen -periaatteella on aina tapauskohtainen. Tällä hetkellä teholtaan noin 3,18 kW_p:n pienikokoisen järjestelmän kustannus on noin 6500–7500 euroa ja yli 5 kW_p:n järjestelmän kustannus on noin 7000–9000 euroa. Kokonaiskustannuksista asennustyön osuus vaihtelee 900 ja 2000 euron väliltä. [38.]

Tuotteet

Yleensä aurinkosähköjärjestelmän komponenttien valmistajat eivät myy tuotteitansa suoraan, joten hankinta onnistuu vain jälleenmyyjien kautta. Tuotteet on helpointa vertailla keskenään sähkötukkuliikkeiden verkkokaupoissa. Valinta tehdään tarpeiden, hintatason ja tuotteen ominaisuuksien mukaan. Tilauksen yhteydessä kannattaa aina varmistaa, että aurinkosähköjärjestelmän laitteisto, asennustarvikkeet ja muut materiaalit täyttävät nykyiset standardit ja määräykset ja ne on suunniteltu toimimaan Suomessa vallitsevissa sääolosuhteissa. Aurinkopaneelijärjestelmän elinkaari suunnitellaan pitkäksi, ja sen takia on syytä valita laadukkaat tuotteet, joilla on pitkä takuu-aika. [39.]

Aurinkopaneeleja on mahdollista hankkia kappaleittain, tai vaihtoehtoisesti voi tilata kerralla lavan, johon mahtuu 30–36 kappaletta paneeleita. Markkinoilla on runsaasti erimallisia ja erityyppisiä paneeleita ja niitä saa useammalta eri valmistajalta. Paneelit vievät paljon tilaa, joten se täytyy ottaa huomioon niiden kuljetuksessa ja varastoinnissa. [39.]

Inverttereitä on erittäin laaja valikoima eri valmistajilta. Niiden hintahaarukka on myös laaja, koska teho ja sisäiset ominaisuudet vaihtelevat huomattavasti. Invertterihin on tyypillisemmin joko on sisäänrakennettu erilaiset lisäominaisuudet tai niissä on lisäosien kytkentämahdollisuus. Tarvittaessa voi hankkia invertterin, jossa on esimerkiksi sähkön kaksisuuntainen mittausta, kuormien älykäs ohjaus tai akuston sekä sähköauton lataussäädin. Invertterin valinnassa tulee ottaa huomioon sen vaihtotarve, koska invertterin käyttöikä on yleensä noin puolet lyhyempi kuin järjestelmän muilla komponenteilla. [39.]

Aurinkopaneelien kiinnitystelineiden osat ja tarvikkeet saa kappaleittain eri valmistajilta, mutta samassa asennuksessa kannattaa käyttää saman valmistajan tarvikkeita, jotta niiden yhteensopivuus on varma. Asennusta varten tarvitaan myös kaapelit ja niiden kiinnikkeet, liittimet, turvakytkimet, suojalaitteet, tarrat, putket ja mahdolliset kotelot. Markkinoilla on myös erikokoisia aurinkosähköjärjestelmien valmiita paketteja, joihin sisältyy AC-turvakytkin ja kaikki tarvittavat tasasähkökomponentit. [39.]

Toimitusajat ovat yleensä lyhyitä, ja pääasiassa tuote toimitetaan viikon sisällä tilauksen ajankohdasta, mutta saatavuus on kuitenkin tuotekohtainen ja epävarmassa tilanteessa se on varmistettava myyjältä. Toimitusajat tulee huomioida järjestelmän asennuksen aikataulutuksessa ja tarvittaessa tehdä tuotteiden tilaukset ennakkoon. Toimituskustannukset tulee huomioida investointikustannuslaskennassa. Yhteen kuljetukseen on hyvä saada mahdollisimman paljon tuotteita. [39.]

3 Sähköautojen latausjärjestelmien suunnittelu

Sähköautojen käyttäjien määrä kasvaa Suomessa nopeassa tahdissa. Täyssähköautojen ja hybridien osuus alkuvuoden 2023 kaikista ensirekisteröinneistä autoista oli 51,4 %. Viimeisten kolmen vuoden sisällä sähköautojen määrä on kymmenkertaistunut 6 400 autosta 64 000 autoon. Nousu johtuu pääosin Euroopan unionin asettamista hiilineutraalisuuden tavoitteista ja akkutekniikan ja -teknologian kehittymisestä, minkä seurauksena sähköautojen hinta laskee ja valikoima laajenee. Sähköautoilijan kannalta jatkuvasti paraneva latausinfra ja sähköautoilun kannattavuus saa monia ihmisiä miettimään sähköautojen hankkimista ja sen yhteydessä oman latausjärjestelmän hankintaa. [40; 41.]

Sähköautoilun yleistymiseen tulee vaikuttamaan myös lokakuussa 2020 voimaan tullut sähköajoneuvojen latauspisteitä koskeva laki. Laissa säädetään velvollisuuksista suunnitella ja asentaa sähköajoneuvojen latauspisteitä ja latauspistevalmiuksia asuin-, julki- ja liikekiinteistöissä sekä niihin liittyvissä pysäköintirakennuksissa. [40; 41.]

3.1 Sähköautojen lataustyypit

Sähköajoneuvot jaetaan kolmeen eri ryhmään: täyssähköautot, ladattavat hybridit ja kevyet sähköajoneuvot. Täyssähköautoissa on kapasiteetiltaan suuremmat akustot verrattuna hybrideihin, joissa akuston kapasiteetti harvoin ylittää 10 kWh. Sekä täyssähköautoissa että hybrideissä on sisäänrakennettu laturi, joka muuttaa tulevan vaihtovirran tasavirraksi ja toimii tyypillisesti yksi- tai kolmevaiheisesti. [42; 43; 44.]

Kevyiden sähköajoneuvojen maksimiteho on laissa rajoitettu yhteen kilowattiin, joten niitä ladataan pääsääntöisesti tavanomaisesta, useimmiten 10 A:n suojalaitteella suojatusta kotitalouspistorasiasta. Kevyiden sähköajoneuvojen latausta luokitellaan lataustapaan 1, jossa maksimivirta ja -teho on rajoitettu 16 ampeeriin ja 11 kilowattiin kolmivaiheisena. [42; 43; 44.]

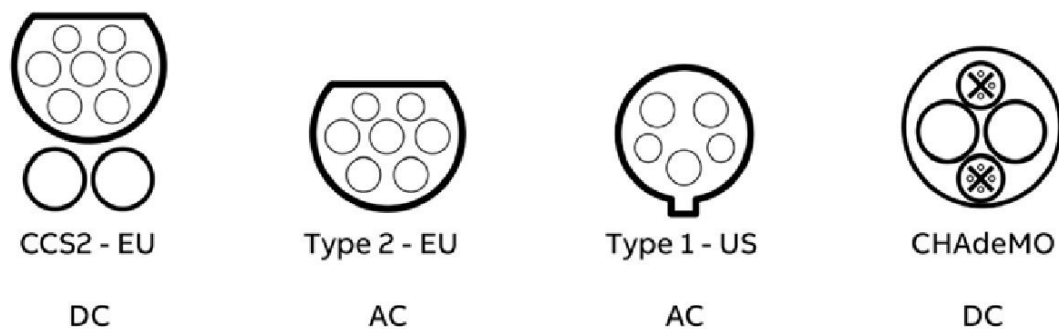
Täyssähköautoja ja lataushybridejä on myös mahdollista ladata kotitalouspistorasiasta, mutta se ei ole suositeltavaa, mikäli pitkäaikainen latausvirta ei ole rajoitettu 8 ampeeriin [42]. Vaihtoehtoisesti on mahdollista asentaa standardin SFS 6000-8-813.8 [9, s. 298] mukaisesti ja käyttää lataukseen kotitalouspistorasiaa, joka kestää jatkuvan rajoitetun 16 A:n latausvirran. Tällöin kyseessä on sähköauton lataustapa 2 eli hidaslataus, jolloin ei käytetä varsinaisia sähköautojen lataukseen tarkoitettuja sähkönsyöttöpisteitä, mutta käytetään standardien ja vaatimusten mukaisia latausjohtoja tai -asemia suojalaite- ja ohjausyksikköineen. Tähän lataustapaan kuuluu myös sähköautojen lataaminen teollisuuspistorasioista. Lataustavan 2 enimmäisvirran ja -tehon raja on asetettu 32 ampeeriin ja 22 kilowattiin asti kolmivaihelatauksella. [42; 43; 44.]

Latauslaitteen vähimmäisvirraksi standardi SFS-EN 62851 [45] on asettanut 6 A, mutta kaikissa automalleissa se ei välttämättä riitä latauksen käynnistykseen. Tämän takia mitoitus kuuluu tehdä vähintään 3,7 kW latauspistettä kohden ilman kuormanhallintaa ja 2 kW latauspistettä kohden älykkäällä latausominaisuudella [44].

Lataustavassa 3 eli peruslatauksessa käytetään yleisimmin tyyppin 2 AC-sähköautopistorasiaa, joka on asennettu kiinteään latauspisteeseen. Tällaisen latausjärjestelmän enimmäisvirta on 3 x 63 A ja enimmäisteho on 43 kW. Tyyppin 2 pistorasiasta sähköajoneuvoa ladataan siihen tarkoitettulla latausjohdolla tai käytetään latausaseman kiinteää latausjohtoa, joka on varustettu ajoneuvopistokkeella. Lataus tapahtuu sähköajoneuvon laturin kautta. Tyyppin 2 pistorasian on täytettävä standardin SFS EN 62196-2 vaatimukset ja sellainen on oltava julkisessa AC-latausasemassa. Peruslataus on suositeltavin ja turvallinen lataustapa, koska latausjärjestelmään integroidun tiedonsiirron avulla on mahdollista ohjata tehonsyöttöä ja tarkistaa pistokytkimien asianmukainen lukitus. Tyyppin 2 latauspistoke (kuva 4) sisältää 3 vaihejohtinta, nolla- ja maadoitusjohtimet sekä 2 tietoliikennejohtinta. [42; 43; 44.]

Sähköautojen tehokkain lataustapa on nimeltään teholataus eli lataustapa 4. Oleellisin ero edeltäviin lataustapoihin on syötettävän sähköntyyppi, lähde ja

kulkupiiri. Teholatauksessa käytetään DC-virtaa, joka kulkee auton sisäänrakennetun laturin ohi suoraan auton akkuihin ulkoisesta kiinteästä latauspisteestä. Latausjohto kuuluu kiinteästi latausaseman rakenteeseen, ja johdon päässä on rakenteeltaan joko FF eli CCS-latauspistoliitin tai AA eli CHAdeMO-pistoliitin (kuva 4). Yleisesti lataustapaa 4 sovelletaan pikalataukseen, jolloin latausteho on tyypillisesti 22 kW – 50 kW –120 kW ja paikoin on saavutettu jopa 350 kW:n latausteho. Pikalatauksen lisäksi kyseistä lataustapaa käytetään kaksisuuntaiseen lataukseen alle 50 kW:n tehoilla. [42; 43; 44.]



Kuva 4. Standardin mukaiset latauspistoliittimien tyypit [44].

Johdollisten latausjärjestelmien lisäksi on olemassa induktiivisia järjestelmiä, joissa energiaa siirtyy latausalustan ja ladattavan ajoneuvon käämien välillä [42].

3.2 Kuormanhallinta

Kuormanhallinnan eli älykkään latauksen avulla säädetään latauspisteen ja sähköajoneuvon välistä lataustehoa. Kuormanhallinnalla voidaan ottaa huomioon kohteen sähköliittymän koko ja liittymiskaapeleiden kuormitettavuus, joiden mukaan asetetaan rajat latausjärjestelmän käyttämälle teholle. Pientalon yksittäisen latauspisteen kuormanhallinnan avulla käyttäjä voi säätää latausta manuaalisesti itselle sopivaan ajankohtaan. [44; 46.]

Laajemmissa latausjärjestelmissä kuormanhallinnalla saadaan jaettua lataustehoja mahdollisimman tehokkaasti. Älykäs lataus on syytä toteuttaa kohteissa, joissa sähköliittymän maksimikuormitettavuuden ja todellisen huippukuorman arvot ovat lähellä toisistaan, eikä pääsulakekokoa ole mahdollista kasvattaa uusimatta sähkönsyöttöverkkoa. Tällaisessa tilanteessa kuormanhallinnasta tulee edullisempi vaihtoehto kuin vanhan syöttöverkon päivitys tai kokonaan uuden liittymän tilaaminen ja toteutus. [44; 46; 47, s. 73–78.]

Useamman latauspisteen järjestelmissä käytetään joko staattista tai dynaamista kuormanhallintaa. Staattinen kuormanhallinta toteutetaan rajoittamalla latausjärjestelmän käytössä oleva teho siihen määrään, mikä on mitoitettu liittymän kapasiteetin ja kohteen muun huippukuorman mukaan. Mitoituksessa on hyvä ottaa huomioon latausjärjestelmän kuormanohjauksen toimintaviive, varsinkin jos kohteen sähköverkkoon on kytketty laitteet suurella käynnistysvirralla. Järjestelmän niin sanotulle master-asemalle ohjelmoidaan tarvittavat parametrit. Master-asema ohjaa ja seuraa muiden latausasemien lataustehon jakoa ja valvoo, että asetettu tehon maksimirajaa ei ylitetä. Tietoliikenne on vain latauspisteiden välillä, joten kohteen muuta sähkönkulutusta ei tässä tapauksessa oteta huomioon. [44; 46; 47, s. 73–78.]

Dynaaminen kuormanhallinta optimoi latausjärjestelmän tehoja latauspistekohdista kohteen muun kuormituksen mukaan. Dynaaminen kuormanhallinta mittaa jatkuvasti kohteen sähkönkulutusta ja jakaa ylijäävän käytettävissä olevan tehon latausasemien kesken. Mittausta varten pääkeskukseen on asennettava energiamittari tai kuormanhallintayksikköön on liitettävä virta-anturi. Latausjärjestelmää suunniteltaessa syöttökaapelit kannattaa mitoittaa maksimikapasiteetille, jotta saadaan paras mahdollinen latausteho, kun sitä on tarjolla. [46; 47, s. 73–78.]

Kuormanhallinnan toiminnassa on joskus havaittu ongelmia, mikä täytyy ottaa huomioon latausjärjestelmien toimituksissa. Joissakin ajoneuvoissa dynaamisella kuormanhallinnalla ei voida säätää pieniä latausvirtoja tai pahemmassa tapauksessa ajoneuvoon integroitu laturi ei käynnisty ollenkaan pienellä virralla.

Tämän takia kuormanhallinnan ohjausta ohjelmoidaan vaaditulle vähimmäisteholle. Ongelmia voi esiintyä myös ajoneuvojen muista teknisistä poikkeamista tai käyttäjän vähäisestä ajoneuvon tai latausjärjestelmän käyttökokemuksesta johtuen. [44.]

Energiamittari on kuormanhallinnan kannalta keskeinen laite, minkä lisäksi järjestelmä voi mahdollisesti sisältää ohjausyksikön, kytkimen ja modeemin. Tiedonsiirto latausjärjestelmän eri laitteiden välillä toteutetaan joko tietoliikennekaapeleilla tai langattomasti. Tiedonsiirtoteknikoita on olemassa useampi vaihtoehto, ja toteutustapa riippuu ensisijaisesti laitteiston valmistajasta. Hallintajärjestelmä on joko fyysinen ohjausyksikkö kohteen omassa verkossa tai pilvipohjainen hallintapalvelu. Tarjolla olevat pilvipohjaiset hallintajärjestelmät tavallisemmin toteutetaan OCPP-protokollalla. [44; 47, s. 73–78.]

3.3 Kuormanhallinnan taustajärjestelmä

Lähtökohtaisesti latausjärjestelmän tilaaja määrittää hallintajärjestelmän toteutusratkaisun. Mikäli tilaajalla ei ole tarvetta seurata ja ohjata lataustapahtumia käyttäjäkohtaisesti, kyseessä on niin sanottu vapaa lataus ja toteutukseen yleensä riittää pelkästään energiamittaus- ja kuormanohjausyksiköt. [46.]

Jos lataustapahtumat pitää yksilöidä ja laskuttaa, toimivin ratkaisu on ottaa käyttöön OCPP-viestintään perustuva taustajärjestelmä. Tätä ratkaisua kutsutaan rajoitetuksi lataukseksi. Taustajärjestelmään liitetään kaikki latausjärjestelmän laitteet ja käyttäjät. Latausjärjestelmän käyttäjille luodaan henkilökohtaiset tunnisteet, joilla he pääsevät käyttämään kyseistä latausjärjestelmää. Käyttäjän tunnistus toteutetaan tyypillisemmin RFID-kortilla tai mobiilisovelluksella. [46; 48, s. 8.]

Mikäli kuormanhallinta toteutetaan langattomana, erillistä kuormanohjausyksikköä ei tarvita ja tiedonsiirto tapahtuu pilvipalvelun kautta. Tässä tapauksessa latausasemille luodaan internetyhteys, esimerkiksi WiFi- tai GSM-lähettimen avulla. Latausasemien täytyy olla varustettu käyttäjätunnistuksella,

kuormanhallinnalla ja energiamittauksella, jotta ne voidaan yhdistää OCPP-protokollan avulla latausoperaattorin verkkoon, mikä hallinnoi taustajärjestelmää. Tällä kokoonpanolla on mahdollista yhdistää eri valmistajien latausasemat minkä tahansa operaattorin järjestelmään ja näin kilpailuttaa operaattoreita ja latausjärjestelmiä tai molempia. [44; 46; 48.]

3.4 Latausjärjestelmän mitoitus

Lataustapa rajoittaa maksimilataustehon omalla teknisellä tehon maksimirajalla, mutta perus- ja teholatauksen rajat ovat niin korkeita, ettei niillä käytännössä ole vaikutusta mitoitukseen.

3.4.1 Latausjärjestelmän tehontarve

Autojen valmistajilta on saatavilla tieto niiden toimintasäteistä ja latauksen kes- toisuudesta. Myös internetistä löytyy käteviä työkaluja [49], joilla voi hakea kaikki mitoitukseen tarvittavat sähköautojen sähkötekniiset tiedot. Mikäli ladatta- vien autojen määrät ja mallit ovat tiedossa, mikä on kuitenkin hyvin harvinaista, mitoitus voidaan tehdä näiden tietojen pohjalla huomioiden myös sähköautojen akustojen jatkuva kehitys. Tällä hetkellä Suomen markkinoilla olevien myydyim- pien sähköautojen yleisin enimmäislatausteho on 11 kW ja keskimääräinen ajo- matka yhdellä lataustunnilla täysteholla on 69 km. [47, s. 85, 89–91; 48, s. 7; 49.]

Latauksessa siirretty energiamäärä on latauslaitteen tehon ja latausajan tulo. Keskimääräinen ajomatka vuorokautta kohden Suomessa on noin 47 km ja ST- Käsikirjan 41 [47, s. 85] mukaan täyssähköauton energiankulutus on 20 kWh 100 kilometria kohden. Tästä voidaan laskea, että keskimääräisesti energia- määrä 9,4 kWh sähköautoa kohden riittää kattamaan autoilijan päivittäiset ener- giatarpeet. Taajama-alueen latausjärjestelmän mitoituksessa suositellaan käyt- tämään latausenergian minimiarvona määrää, millä latauspisteestä saadaan 100 km:n kantamaa autoa kohden. [47, s. 85, 89–91; 48, s. 7; 49.]

Yksittäisen latauspisteen arvio tehontarpeesta voidaan laskea yksinkertaisella kaavalla 1:

$$P = \frac{S * \frac{0,2 \text{ kWh}}{\text{km}}}{t} \quad (1)$$

P on latauspisteen mitoitusteho

S on toivottu ajoneuvon kantama, mikä saadaan latauksen aikana (km)

$0,2 \text{ kWh/km}$ on sähköajoneuvojen keskimääräinen energiakulutus

t on keskimääräisen latausjakson kesto (h).

Kyseinen kaava on suuntaa antava eikä huomioi ajoneuvojen todellista energiakulutusta, mikä riippuu ajetusta kokonaismatkasta sekä ajoneuvon painosta ja sähköteknisistä ominaisuuksista. [47, s. 85, 89–91; 48, s. 7.]

Latausjärjestelmän tehontarvelaskennassa käytetään tasauskertoimia, joilla otetaan huomioon kuormanhallinta. Tasauskertoimille ei ole vielä kehittynyt vakiintuneita laskentakaavoja tai arvoja, joten ne määritetään tapauskohtaisesti. Mikäli latausjärjestelmä ei ole varustettu kuormanhallinnalla tai kuormanhallintaa ei käytetä, tasauseroin on 1. Arvio laajemman latausjärjestelmän teholle saadaan kaavalla 2:

$$P = \frac{S * n * 0,2 \frac{\text{kWh}}{\text{km}}}{t} \quad (2)$$

P on latausjärjestelmälle varattava kokonaisteho (kW)

S on toivottu ajoneuvon kantama, joka saadaan latauksen aikana (km)

n on latausjärjestelmää käytettävien autojen arvioitu lukumäärä (kpl)

$0,2 \text{ kWh/km}$ on sähköajoneuvojen keskimääräinen energiakulutus

t on keskimääräisen latausjakson kesto (h).

Tällä kaavalla on yksinkertaista laskea tehontarpeesta arvio latausjärjestelmälle, jonka komponentit ja tehot ovat samoja sekä kuormanhallinta on yhteinen. Mikäli lataustehoissa on eroja tai latausjärjestelmä sisältää erilaiset laitekonnaisuudet, lataustehot lasketaan jokaiselle muista poikkeavalle laitteelle tai

kokonaisuudelle erikseen ja latausjärjestelmän kokonaisteho lasketaan näiden summana. [47, s. 85, 89–91; 48, s. 7.]

Molemmilla kaavoilla lasketaan vähimmäislatauskapasiteettia. Latausjärjestelmän tehontarpeen mitoituksessa on otettava huomioon kohteen huipputeho, varsinkin jos latausjärjestelmässä ei käytetä älykästä latausta. Mikäli kuormanhallinnalla saadaan säädettyä lataustehot minimille kohteen huippukuorman aikana, on kuitenkin varmistettava, että ylijäämäteho riittää kattamaan latauspistekohtaisia tehon minimivaatimuksia. [47, s. 85, 89–91; 48, s. 7.]

3.4.2 Kohteen huipputeho

Kohteen huipputehon mitoituksessa kannattaa ensisijaisesti kiinnittää huomiota kohteen isoimpiin kulutuslaitteisiin, jotka saattavat aiheuttaa merkittäviä hetkellisiä huipputehopiikkejä. Mikäli sellaisia laitteita käytetään kohteessa ja tehopiikien mahdollisuus on suuri, on syytä tehdä tarkempia kulutustehon mittauksia ja tarvittaessa asettaa rajoja latausjärjestelmän maksimiteholle sekä käyttää kuormanhallintaa. Laskennoissa voidaan hyödyntää myös ST 13.31-kortin huipputehon mitoituskaavoja ja -menetelmiä erilaisille rakennustyypeille. [47, s. 74; 50.]

Kohteen kulutustehon mittaustiedot ovat saatavilla jakeluverkko- tai sähkönnmyyntiyhtiöiltä. Vuoden 2023 toukokuussa Suomessa siirryttiin 15 minuutin taseselvitysjaksoon tunnin jakson sijaan, joten nykyään sähköyhtiöiden mittaus-tietoja saadaan paremmalla tarkkuudella. [47, s. 74; 51.]

Kohteen kulutustehotietoja hyödyntämällä voidaan karkeasti määrittää sen huipputehoa. Huipputeholle ei välttämättä saada tarkkoja arvoja kulutustehon tietojen pohjalla, koska huipputehot voivat olla niin lyhytkestoisia, että niitä ei aina esiinny kulutustehon mittauksissa. Huipputehon arvoa käytetään kohteen huippuvirran laskennalliseen arviointiin, mikä voidaan laskea kaavalla 3:

$$I = \frac{P \cdot \alpha}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} \quad (3)$$

I on laskennallinen huippuvirta (A)
 P on mitattu huipputeho (kW)
 α on mitatun huipputehon korjauskerroin
 U on sähköjärjestelmän pääjännite (V)
 $\cos \varphi$ on tehokerroin.

Korjauskertoimella varmistetaan, että huipputehopiikkien aikana virran kulutus ei ylitä sähköjärjestelmän kuormitettavuuden rajoja. Korjauskertoimen arvo määritetään tapauskohtaisesti, mutta yleensä se pysyy välillä 1,2–1,5. Asuinrakennuksissa tehokertoimen arvot ovat tyypillisesti 0,96–0,98. [47, s. 74; 51.] Seuraavaksi verrataan laskennallisesti saatua huippuvirtaa kohteen pääsulakkeiden kokoon ja näistä lasketaan käytettävissä olevaa virran määrä ja teho [47, s. 74].

3.5 Kaapeloinnit ja laitteiston tekniset vaatimukset

Sähköajoneuvojen latausjärjestelmän suunnittelun ja rakentamisen aikana noudatetaan niitä koskevia määräyksiä ja vaatimuksia, jotta järjestelmästä saadaan turvallinen ja toimiva kokonaisuus. Suunnittelussa ja rakentamisessa on otettava huomioon standardisarjojen SFS 6000, SFS-EN 61439, SFS-EN 61851 ja SFS-EN 62196 vaatimukset.

Pienjänniteasennuksissa noudatetaan SFS-6000-standardisarjan yleisiä vaatimuksia, joiden lisäksi syöttöpiireihin sovelletaan standardin SFS 6000-7-722 vaatimuksia lukuun ottamatta induktiivista latausta. Kyseisen standardin vaatimuksia sovelletaan myös suojaukseen silloin kun latausjärjestelmässä on toteutettu sähkön syöttömahdollisuus ajoneuvosta sähköverkkoon. Näiden lisäksi pistokytkimien standardivaatimuksista on tehty erillinen kooste SFS 6000-8-813. SFS-6000-standardisarjan tärkeimmät tekniset vaatimukset on listattu Sesko Ry:n sähköajoneuvojen lataussuosituksessa. [42.]

Syöttökaapeleiden poikkipinta-ala määritetään latausjärjestelmän käytettävän maksimivirran mukaan. Kaapelointimatka, älykkään latauksen vaikutus sekä

tulevaisuuden laajentamistarpeet on otettava huomioon mitoituksessa. Yleisemmin syötön asennuksissa käytetään MCMK-kuparikaapeleita ja AMCMK-alumiinikaapeleita. Maanalaisissa pysäköintihalleissa kuuluu käyttää paloturvallisuuden kannalta sopivia kaapeleita.

Vinokuorman estämiseksi latausjärjestelmän syöttökaapeloinnin on oltava säteittäinen ja keskuksella on toteutettava vaiheiden vuorottelu. Laajemman latausjärjestelmän latauspisteitä voi joko ketjuttaa yhdestä lähdöstä tai toteuttaa kaapeloinnit latauspistekohtaisesti. Latausjärjestelmän syöttö ryhmitellään omaan virtapiiriin, johon voi tarvittaessa liittää autolämmitysjärjestelmän. [42; 44; 48, s. 1.] Ryhmittelyä erikokoisissa latausjärjestelmissä havainnollistetaan kattavasti ST-kortissa 51.90 [48, s. 1]. TN-järjestelmässä kytkentä tehdään TN-S-järjestelmän mukaisella tavalla [9, s. 201].

Pysäköintihalleja varten joillain valmistajilla on tarjolla virtakiskojärjestelmä kaapeloinnin rinnalle. Virtakiskojärjestelmällä luodaan joustavuutta laajemman latausjärjestelmän tuleville muutoksille, sillä uuden latauspisteen lisääminen virtakiskojärjestelmään on perinteisen järjestelmään verrattuna huomattavasti helpompaa ja edullisempaa. Käytännössä virtakiskolle asennetaan virranotin, johon kytketään latauspistettä syöttävä kaapeli ja sen suojalaitteet, sekä viedään ja kytketään uusi kaapeli latausasemaan. [52.]

Latausjärjestelmän tietoturvan ja tiedonsiirron vaatimukset ovat esitetty standardeissa IEC 15118-1 – IEC 15118-5, IEC 15118-8, IEC 15118-20 ja IEC 61850-7-420. Langallinen tiedonsiirto yleisimmin toteutetaan Modbus-väyläliitännän avulla, joten tietoliikennekaapelina voi käyttää CAT 6-kaapelia ja RJ45-liittimiä. Tietoliikennekaapelointia suunniteltaessa ja asennettaessa on otettava huomioon häiriönsuojauksen vaatimukset. Tarpeen mukaan latausjärjestelmä voidaan liittää kohteen automaatio- tai turvajärjestelmiin. [44.]

3.6 Kohteen ja latausjärjestelmän vaatimusten kartoitus

Sähköajoneuvojen latausjärjestelmän suunnittelussa aluksi määritetään sen käyttötarkoitus ja kohteen sähköteknilliset ja maastolliset ominaisuudet. Alkuseiselyksen apuvälineinä voidaan käyttää ST-korttien 51.93 ja 51.94 lomakkeet: ”Sähköajoneuvojen latausjärjestelmän tarvekartoitus” ja ”Sähköajoneuvojen latausjärjestelmän- ja kiinteistön esiselvitys”. [53; 54.]

Ensin selvitetään lataukseen vaadittu kapasiteetti. Siihen tekniikan osalta merkittävimmin vaikuttaa ladattavien autojen lukumäärä, niiden latausteho ja -tapa sekä latauksen tyypillisin ajankohta ja kesto. Kartoituksessa on otettava huomioon tilaajan tarpeet ja toiveet, joilla voi tapauskohtaisesti olla ratkaiseva vaikutus latausjärjestelmän toteutuksen valintaan. Esiselvityksessä yritetään saada tilaajalta mahdollisimman monipuoliset tiedot tarpeista ja toiveista. On hyvä selvittää tulevaisuuden sähkökulutustarpeita, latausjärjestelmän käyttäjämäärää, päivittäistä keskimääräistä ajomatkaa ja latauksen laskutusmuotoa. [42; 44; 53; 54.]

Tämän jälkeen sähköverkkoyhtiöltä selvitetään kohteen sähköliittymän ja liittymiskaapelin kapasiteetti sekä huippukuormat. Mikäli kyseessä on uudiskohde, tehokaskeinta tehdään suunnitellun liittymäkoon ja arvioidun huippukuorman perusteella. Kun kohteen huipputeho ja latausjärjestelmän tehontarve on tiedossa, selvitetään, voidaanko latausjärjestelmää liittää kohteen sähköverkkoon ilman lisätoimenpiteitä vai ei. Tässä vaiheessa on hyvä lähteä kartoittamaan kohdetta paikan päällä. [42; 44; 53; 54.]

Kohteen haltijalta tai suunnittelijalta pyydetään kiinteistön sähköpiirustuksia, joita kannattaa muuttaa sähköiseen muotoon esimerkiksi valokuvaamalla tai skannaamalla myöhempää käyttöä varten. Asema- ja tasopiirustuksia voi hyödyntää kaapelointireittien suunnittelussa. Sähköpiirustuksia on hyvä käyttää kartoituksen pohjana. Nousu- ja pääkeskuskaavioita sekä -kuvia voi hyödyntää latausjärjestelmän laitteiston ja kytkeytyvyyden mitoituksessa ja suunnittelussa. [42; 44; 53; 54.]

Käynnin aikana kartoitetaan kohteen nykyisen sähköverkon kunto lähes kokonaisuudessaan, liittymisjohdon ja pääsulakkeiden koko, keskuksien tilavara ja mitoitusvirta sekä latausasemien sijoituspisteet, kaapelointireitit sekä pysäköinti-alueen mahdolliset rajoitukset ja järjestelyt. Jos kohteessa on autolämmitysjärjestelmä, tarkastetaan myös sen kunto sekä kytkeytyvyys päärakennuksen sähköjärjestelmään ja sähkömittaukseen. Samalla tutkitaan lämmitysrasioiden ryhmittelyä pääkeskuksella sekä suojauksen ja kaapeleiden kuntoa, kokoa ja tyyppiä. On myös hyvä varmistaa, että sähköpiirustuksissa esitetyt tiedot vastaavat todellisuutta. Mikäli pääsy johonkin rakenteeseen tai tilaan on estetty eikä fyysistä tarkastelua ole mahdollista tehdä, käytetään sähköpiirustuksien ja jakeluverkkoyhtiön antamia tietoja. Kohteen sähköjärjestelmän kuntoa on hyvä selvittää mittauksin ja samalla on hyvä tehdä keskuksen lämpökuvaaminen. [42; 44; 53; 54.]

Kaapelointireittien kartoituksessa kiinnitetään huomiota nykyisiin johdotusten reitteihin ja ensisijaisesti tutkitaan niiden käyttömahdollisuutta. Suunnittelussa hyödynnetään olemassa olevat putket, läpiviennit, kaapelihyllyt ja muut reitit, mikäli niitä voidaan käyttää. Tämän lisäksi on hyvä kartoittaa kaikki vaihtoehtoiset reitit ja mahdolliset potentiaaliset ongelmakohdat. Samalla selvitetään kaapelointireitin asennustyyppiä sekä läpivientien asennustyyppiä ja paloluokitusta ja mitataan syöttöpisteen ja latauspisteiden välinen etäisyys. Tavoitteena on saada reitistä mahdollisimman kustannustehokas ja sähkötekniisesti sekä mekaanisesti toimiva, joten reitti suunnitellaan mahdollisimman lyhyeksi. Kaapeloinnilla on merkittävä vaikutus investointikustannuksiin varsinkin jos siihen sisältyy maanrakennustyötä, mikä on hyvin yleistä kiinteistöjen ulkopuolisilla pysäköintialueilla. [42; 44; 53; 54.]

3.7 Latausjärjestelmän toteutusvaihtoehdot

Ensisijaisesti eri latausratkaisujen suunnittelussa pyritään pysymään tilaajan asettamisissa kustannustavoitteissa ja lataustehontarpeissa. Kustannusarvion laskennassa on otettava huomioon Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskuksen myöntämät tuet, mikäli niitä voidaan hyödyntää. Esi- ja lisäselvityksissä sekä

kartoituksen aikana kerättyjen tietojen avulla pystytään määrittämään kohteeseen sopivia ratkaisuja ja arvioimaan niiden investointikustannuksia. [42; 48; 53; 54.]

Latausjärjestelmän arvioitu tehontarve asettaa kohteen nykyiselle sähköverkolle kuormitettavuusvaatimuksia, ja suunnittelussa on tarkastettava, riittääkö verkon kapasiteetti kattamaan tarpeet vai onko ryhdyttävä muutostoimenpiteisiin. Jos kohteen sähköverkon kapasiteetti on kaikin puolin riittävä, toteutuksen investointikustannukset pysyvät pienempinä ja latausjärjestelmän suunnittelu yksinkertaisempina. [53; 54.]

Mikäli tehty kartoitus osoittaa, että kohteen tehon ylijäämä ei riitä haluttuun lataustehontarpeeseen, selvitetään ratkaisut, joilla teho saadaan riittämään. Ensimmäisessä sovelletaan kuormanhallintaa, jolla rajoitetaan latausjärjestelmän ottama teho tapauskohtaisesti. Mikäli kuormanhallinnan lisääminen ei auta tarpeeksi, harkitaan pääsulakekoon kasvattamista, jos syöttökaapeli poikkipinta-ala, pääkeskuksen nimellisvirta sekä tilaajan budjetti antavat siihen mahdollisuuden. Mikäli syöttökaapelin kuormitettavuus ylittyy josta tapauksessa, täytyy joko uusia liittymän syöttörakenteet tai hankkia uusi liittymä pelkästään sähköautojen latausjärjestelmää varten. [44; 48; 53; 54.]

Usein tulee vastaan myös pääkeskuksen tilavarauksen ongelma, varsinkin jos kyseessä on laajan latausjärjestelmän liittäminen, koska sen edellyttämä säteittäinen syöttökaapelointi vie paljon tilaa. Mikäli pääkeskuksen tila ei ole riittävä, voidaan vaihtoehtoisesti suunnitella joko keskuksen laajennusta tai kokonaan uutta alakeskusta, mikä on suositeltavin ratkaisu. Alakeskus on hyvä sijoittaa latauspaikan läheisyyteen. Jos kohteen sähköverkon kapasiteetti mahdollistaa, sähkönsyöttö alakeskukselle kaapeloidaan suoraan pääkeskukselta ja lataukselle voidaan toteuttaa oma sähkömittauksen käyttöpaikka. Jos kapasiteettia ei riitä, voidaan vaihtoehtoisesti tuoda alakeskukselle kokonaan uusi syöttökaapeli suoraan jakeluverkosta, jolloin latauskeskus toimii oman sähköliittymän ja energiamittauksen takana. [48; 53; 54.]

Uuden liittymän tilaaminen voi tietyissä tapauksissa olla paras ratkaisu, jos esimerkiksi pääkeskuksen ja latauspaikan välinen etäisyys on pitkä ja reitti on maastollisesti hankala. Tällä ratkaisulla myös rakennuksen nykyisen sähköverkon kapasiteetti ja rakenteet pysyvät muuttumattomina. [48; 53; 54.]

Tilanteessa, jossa pitää uusia pääkeskus tai kasvattaa sulakekokoa, on tarkastettava energiamittauksen toimintatapaa. 63 A:n sulakkeilla ja sitä pienimmillä mittaustapa on suoramittaus, ja sitä suuremmilla sulakkeilla energiamittaukseen käytetään virtamuuntajia, joten muutoksen yhteydessä myös mittarin tai mittaustavan vaihto saattaa tulla vastaan. [55.]

Kustannuslaskennassa täytyy ottaa huomioon pääsulakekoon kasvattamisen tai uuden sähköliittymän tilaamisen seurauksena syntyvät kulut. Liittymisoikeusmaksu veloitetaan kuukausittain, ja mainittujen toimenpiteiden seurauksena kuukausimaksu kasvaa. [55.]

Latauspisteiden asennustavaksi kannattaa mahdollisuuksien mukaan valita seinäasennus maa-asennuksen sijaan, koska se on edullisempi ja helpompi toteuttaa. Seinäasennus on myös turvallisempi käytön kannalta, koska se ei ole altis ylijolle. [44; 48.]

Teholatausjärjestelmien suunnittelu poikkeaa vaihtosähkölatausjärjestelmien suunnittelusta. Yksittäisiä teholatausasemia käytetään vaihtosähkölatausasemien kanssa samassa järjestelmässä saman kuormanhallinnan ohella, jos halutaan tarjota nopeita latauksia tarpeen vaatiessa. Yleensä kyseiset teholatauspisteet eivät ole kovin tehokkaita verrattuna kunnan teholatausjärjestelmiin. Useimmiten teholatausjärjestelmä edellyttää uutta sähköliittymää, jolloin kohteen muita kulutuksia ei tarvitse laskea. Teholatausjärjestelmät voidaan karkeasti jakaa kolmeen ryhmään: pikalatauspalveluasemat, HP-latausasemat (High Power) ja HVC-latausasemat (Heavy Vehicle Charging). [42; 44; 48.]

Pikalatausasema on rakenteeltaan joko suurehko seinään kiinnitettävä kotelo tai perustuksiin rakennettu kaappi, joka on mitoiltaan ison laitekaapin kokoinen. Teholatausjärjestelmien sijoittelu suunnitellaan siten, että käyttäjillä on sujuva

kulkuyhteys asemien luokse. Läpiajo on paras vaihtoehto teholatausaseman liikennejärjestelyille. Liikennejärjestelyjen lisäksi on otettava huomioon aseman laajennusvara ja valvonta sekä käyttöohjeet. Rakentamisen suunnittelussa on merkittävä vaikutus laitteiston perustuksilla, kaapeloinneilla sekä laitteiston massalla, mikä vaatii nostokalustoa asentamiseen. Teholatausasemien käyttäjille mahdollisista tietoliikenteen katkoksista aiheutuvaa haittaa on hyvä minimoida ohjaamalla asemat palvelemaan käyttäjiä itsenäisesti esimerkiksi paikallisella käyttäjätunnisteella tai maksuvapaassa tilassa. [44.]

HP-latausaseman oleellimmat erot verrattuna pikalatausasemaan ovat korkea latausteho ja laitteiston rakenne. Pikalatausasemilla latauspiste on koottu yhden rakenteen sisälle. HP-asemilla tehoelektroniikka on omassa latauskeskuksessa ja jakelulaitteet pistoliittimiin asennettu niistä erikseen etäisyydelle, mikä mahdollistaa sujuvan liikennöinnin (kuva 5). Latauskeskuksessa on oltava monta virtalähdettä, jotta voidaan toteuttaa lataamisen osateholla. [44.]



Kuva 5. HP-latausaseman rakenne. DC-latauskeskus (DC cabinets) ja mahdollinen muuntaja (transformer) on asennettu erilleen jakelulaitteesta (HPC posts) [44].

HVC-latausasemia käytetään raskaiden hyötyajoneuvojen lataamiseen. HVC-latausaseman asennuspaikka valitaan ajoneuvon tyyppillisen reitin ja syöttömuuntajan sijainnin mukaan, esimerkiksi busseilla se voi olla päätepysäkki tai pysäkki, joka on muuntajan läheisyydessä. Rakenteeltaan HP- ja HVC-asemat ovat suuremmalta osin samankaltaisia. [44.]

3.8 Luvat ja dokumentaatio

Suunnittelussa täytyy ottaa huomioon taloyhtiöiden autopaikkojen hallintamuoto, koska taloyhtiöillä päätöksentekomenettely ja kustannusjako riippuu siitä. Suunnittelussa varmistetaan, kenen hallinnassa autopaikat ovat, taloyhtiön vai sen osakkaiden, jonka jälkeen osakkaille esitetään yhdenvertaisuusperiaatteeseen perustuvat toteutusvaihtoehdot ja kustannusarviot, joista osakkaat sopivat keskenään yhtiökokouksessa. [56.]

Uudiskohteissa rakennuslupatehtävät ovat arkkitehdin vastuulla. Muissa kohteissa lupaprosessi on tapauskohtainen ja yleensä latausjärjestelmille ei vaadita rakennuslupaa. [46.] Sopimusasioissa voidaan käyttää samanlaista pohjaa kuin mitä käytetään aurinkosähköjärjestelmien toteutuksen sopimiseen.

Suunnittelussa piirretään sähkötekniset kuvat, kuten asemapiirroksen pistesijoituspiirustukset ja mallipääkaavio. Kohteesta ja toteutuksesta riippuen voi olla tarve myös yleiskaapeloinnin, rakennusautomaation ja energiamittauksen periaatekaavioille. Toteutetaan latauspisteen toimintaa kuvaava periaatekaavio tai laajempien latausjärjestelmien järjestelmäkaavio. Järjestelmän asennuksen jälkeen päivitetään kohteen sähköpiirustukset ja merkinnät. [46.]

Sähkötekniikan ja mekaanisen suunnittelun ohella rakennettavasta järjestelmästä laaditaan huipputeholaskelma, investointikustannuslaskelma, sähkörakennustapaselostus ja sähkötyöselostus. Isoimmista hankkeista tilaaja voi vaatia myös energian tavoitekulutuslaskelman, elinkaarikustannuslaskelman ja ympäristövaikutuslaskelman. Kohteen valmistuttua tilaajalle toimitetaan myös latausjärjestelmän käyttäjän opas sekä asennetaan käytön opastus ja opastetaan mahdollinen tilaajalle kuuluva ylläpito. [46.] Latauspisteen kunnossapitoon tulee olla suunnitelma, jossa määritellään ennakoiva kunnossapito- ja huoltoväli päivittäisten latauskertojen määrän mukaan [44].

3.9 Asentaminen ja käyttöönotto

Vain sähköalan henkilö voi suorittaa kiinteästi asennettavan laitteiston sähköasennuksen. Latausjärjestelmän komponentit asennetaan valmistajan ohjeiden mukaisesti. Tähän on koottu karkea asentamistyön kulku yksinkertaiselle toteutukselle. Laitteisto on kiinnitettävä tukevasti. Maa-asennuksissa tuenta toteutetaan maahan upotetulla asennuskehikolla, johon laitteisto kiinnitetään esimerkiksi pulteilla. Kaapeleille kaivetaan oja, johon kaapelit asennetaan suojaputkessa. Suojaputken asennus ei ole pakollinen, mutta suositeltava. [44; 57.]

Laitteiston kiinnitys valettuun alustaan onnistuu monella eri tavalla. Kiinnitystapa riippuu valun syvyydestä ja rakenteellisista ominaisuuksista. Kaapeloinnit tehdään joko putkituksen avulla tai läpiviennillä alemmasta kerroksesta. Latauslaitteiston seinäasennus tehdään joko telineen avulla tai muulla laitteiston valmistajan määrittämällä tavalla. Seinäasennuksissa kaapelit suojataan asianmukaisilla kouruilla tai putkilla niiltä osin, mitä standardit vaativat. Tilanteesta riippuen käytetään kaapelihyllyjä. Läpivienteihin on kiinnitettävä erityistä huomiota. [44; 57.]

Toteutetaan standardien mukainen maadoitus ja potentiaalintasaus. Asennetaan tarvittavat suojalaitteet, kuten vikavirtasuoja sekä tarvittaessa johdonsuojakatkaisija, ja tehdään kaapelikytkennät. Tarvittaessa asennetaan tietoliikennekaapelit, ohjauslaitteet ja energiamittarit. Kun asennukset ja tarkastukset on tehty, ohjelmoidaan järjestelmän mahdollinen kuormanhallinta ja liitetään käyttöjärjestelmä mahdolliseen viestintäpalveluun. [44; 57.]

Käyttöönottotarkastus tehdään standardin SFS 6000-6:2017 luvun 6.4 mukaan. Mittauksissa käytetään standardissa EN 61557 esitettyjä mittalaitteita. Käyttöönottotarkastuksessa tarkastetaan, että kaapelireittien asennusolosuhteet on huomioitu ja asennus tehty oikein, sekä tehdään kaapeleiden ja laitteiden aistinvaraiset tarkastukset. Todetaan vikasuojauksen toimivuus sekä mitataan resistanssi ja suojamaadoitusjohtimen jatkuvuus. Latausjärjestelmän toimintatarkastuksessa noudatetaan laitevalmistajan ohjeita. Käyttöönottotarkastuksesta laaditaan pöytäkirja. [42.]

4 Tarjouslaskenta ja urakointi

Kartoituksen ja mitoituksen tuloksena muodostetaan kirjallinen ja visuaalinen kokonaisuus, mihin kerättyjen ja laskettujen tietojen avulla laaditaan järjestelmän vaihtoehtoiset toteutusratkaisut. Yhteenvedossa esitetään myös kohteeseen tarvittavat muutokset, mitä erilaiset toteutusratkaisut voivat edellyttää. Tämän kokonaisuuden yhteenvetona laaditaan selkeä kartoitusraportti, jonka pohjalta muodostetaan tilaajalle tarjous. Tarjouksen sisältöä on syytä miettiä tarkkaan, eikä luovuttaa eteenpäin tietoja, joita muut henkilöt tai yritykset voivat käyttää hyväksi.

4.1 Tarjouslaskennan perusteet

Tarjouslaskennalla on tärkeä rooli yrityksen palvelutarjonnassa, koska palvelun oikein lasketun hinnan on oltava sekä kilpailukykyinen että vähintään kustannukset kattava.

Toteutuksen kustannukset koostuvat työ- ja tarvikemäärästä sekä erilliskustannuksista. Tarvikkeiden kustannusmäärälaskenta on helppo, koska tarvikemäärät ja niiden hinnat ovat yleensä enimmiltä osin tiedossa. Tarvikkeiden kustannusmäärälaskentaa varten on olemassa erilaisia laskentaohjelmia. Käyttämällä niitä laskentatehokkuus ja virheettömyys pysyy korkealla tasolla. Useimmat ohjelmistot sisältävät valmiita tuotepaketteja ja myös tarjoavat pakettien muokausmahdollisuuden, minkä avulla voidaan luoda paketteja tarjouskohtaisesti. Tarvikkeiden määrälaskenta voidaan vaihtoehtoisesti tehdä käsin, mikä on yleensä hitaampaa, mutta edullisempi ja kattavampi laskentatapa. [58, s. 6–7, 16–17, 34–40.]

Työn kustannusmäärälaskenta on haastavampi, koska kohteet ja tehtävät työt ovat useimmiten erilaisia ja työmäärä joudutaan arvioimaan. Tässä tilanteessa on hyvä luoda kokemukseen perustuvat keskimääräiset yksikköhinnat jokaiselle työvaiheelle. Yksikköhinta saadaan kertomalla työvaiheeseen käytetty tuntimäärä halutulla tuntihinnalla. Erilliskustannukset ovat työt ja muut kulut, jotka

kuuluvat urakkaan, mutta joita ei voida sisällyttää urakkahinnoitteluun. Erilliskustannusten tarkkoja laskentamenetelmiä ei myöskään ole, vaan arvioimalla saadaan niille hinta. Erilliskustannuksiin kuuluu muun muassa:

- purku-, yli-, jälki- ja takuutyöt
- alihankinta
- suunnittelu
- kuljetus ja varastointi
- laitevuokrat
- olosuhteista johtuva lisäkustannus
- laitteiston käytön opastaminen
- vakuutukset
- käyttöönotto- ja muut tarkastukset
- kärkimieslisät
- työnjohto- ja sosiaalikulut
- urakointikohteen sijainnista aiheutuneet kulut, kuten päiväraha, ateriat- ja kilometrikorvaukset.

Työ-, tarvike-, ja erilliskustannuksiin lisätään haluttu kate sekä mahdolliset kustannusnousu- ja niin sanotut hävikkivaraukset. Näiden summasta muodostuu lopullinen tarjoushintaa. [58, s. 6–7, 16–17, 34–40.]

4.2 Järjestelmien käytännönläheinen tarjouslaskenta ja urakointi

Sekä aurinkopaneelijärjestelmän että sähköauton latausjärjestelmän toteutuksen kustannukset ovat riippuvaisia tilaajan tarpeista, kohteen kunnosta ja muista tässä työssä aiemmin selostetuista seikoista. Kattava ja perusteellinen kartoitus on keskeinen osa laadukkaan tarjouslaskennan luomisessa, koska hyvin kartoitetulle kohteelle saadaan tarkemmat kustannusarviot. Esimerkiksi sellaiset toimenpiteet kuin maanrakennustyöt tai katon rakenteen vahvistaminen korottavat investointikustannuksia huomattavasti, joten ne täytyy kartoittaa tarpeeksi kattavasti jo ennen tarjouslaskentaa. [58, s. 51; 59.]

Laitteiden kustannusmäärään vaikuttavat järjestelmien kokoonpano, teho, tyyppi ja muut ominaisuudet. Asuin- ja liikerakennusten aurinkopaneelijärjestelmän valmiin laitteistopakettin hinta vaihtelee välillä 2 500 € – 13 000 € ja latausjärjestelmän laitteiden hinta välillä 200 € – 1500 €. Aurinkopaneelijärjestelmiin ei lisätä lisälaitteita niin paljon kuin latausjärjestelmiin, mutta jos niitä lisätään, niiden vaikutus kustannuksiin on huomattavasti isompi. Tarjouslaskennassa täytyy arvioida myös asennukseen liittyvien tarvikkeiden kustannukset. [39; 58, s. 51; 60.]

Aurinkopaneelijärjestelmän asennus ei yleensä vaadi pääkeskuksen uusimista, mutta latausjärjestelmän toteutuksen kannalta tilanne on eri. Pääkeskuksen muutostyö tai uusiminen voi tulla huomattavan kalliiksi suhteessa rakennettavaan järjestelmään. Mikäli rakennetaan kokonaan uusi alalatauskeskus vähintään 125 A:n virrankestoisuudella, hinta-arvioksi annetaan noin 5 000 €, minkä lisäksi tulee kustannuksia asennusmateriaaleista, -tarvikkeista ja -työstä sekä suojalaitteista. [60.]

Aurinkopaneelijärjestelmän toteutus ei useimmiten myöskään edellytä sähköliittymän korotusta. Latausjärjestelmän hankkijalle se voi tosin olla yksi edullisimmista vaihtoehtoista liittää latausjärjestelmää sähköverkkoon, mikäli syöttöjohdolla on tarpeeksi kapasiteettia. Pääsulakekoon suurentamisesta maksetaan verkkoyhtiön vyöhykehinnottelun mukaan vanhan ja uuden sulakekoon

liittymismaksujen erotusta, mikä on yleensä hintaluokkaa 600 € – 2920 €. Mikäli liittymispiste on vyöhykehinnittelun ulkopuolella, maksetaan kapasiteettivarausmaksu kaavalla: liittymätehon muutos · 28,6 €. Mahdollinen mittarin vaihto tai mittaustavan muutos myös kasvattaa kustannuksia. [61.]

Työmäärän hinnoittelulle on esitetty malli luvussa 4.1. Sen lisäksi on olemassa sähköistysalan urakkahinnittelutaulukko, jota voi käyttää referenssinä. Aurinkopaneelijärjestelmien asennustyön ja vakiopakettikokonaisuuksien hinta-arvio on esitetty luvussa 2.14.

Erilliskustannusten laskenta on usein monimutkaista ja saattaa olla hankalaa. Kustannusarvio perustetaan kokemusperäiseen tietoon ja saatavilla oleviin lähteisiin. Erilliskustannuksien osuus voi jossain tapauksissa olla suurempi kuin muiden kustannusten osuus yhteensä. Esimerkiksi jos aurinkopaneelijärjestelmä edellyttää katon rakenteiden vahvistamista tai päivittämistä, alihankintana toteutettu remontti voi maksaa useita tuhansia euroja. Maanrakennustyöt voivat myös tulla kalliiksi. Erilliskustannuslaskennassa pyritään huomioimaan kaikki mahdolliset lisätyöt ja kulut. [59; 60.]

Lopuksi kustannusmäärät ja kulut lasketaan yhteen, lisätään haluttu kate ja muodostetaan lopullinen hinta. Tarjouksessa ilmoitetaan hinta arvonlisäveroineen ja muut pakolliset tiedot, kuten tarjouksen voimassaoloaika ja yksilöity kohde, mihin tarjous perustuu ja kenelle se on osoitettu, mahdolliset sopimus-kumppanit ja poikkeamat, sopimus- ja maksuehdot sekä yhteyshenkilöt. Kun tarjous saadaan valmiiksi, voidaan esittää tilaajalle luvun 4 mukaan laadittu kar-toitusraportti. [58, s. 51; 60.]

Mikäli tilaaja hyväksyy tarjouksen, siirrytään varsinaiseen suunnitteluvaiheeseen, jolloin aikataulutetaan työvaiheet, toteutuksesta laaditaan tarkat suunnitelmat ja laskelmat, täsmäytetään määräluettelot ja tilataan tarvittavat materiaalit, haetaan tarvittavat luvat sekä järjestetään yhteistyö mahdollisten alihankkijoiden kanssa. Työkulun seurannan ja urakan järjestämisen helpottamiseksi urakointiprosessista on hyvä laatia yleinen urakkaohjelma, jolla on mahdollista kattaa

erilaiset toteutusvaihtoehdot. Suunnitteluvaiheen lopussa varmistetaan, että materiaalitoimitukset, mahdolliset erikoiskaluston vuokraukset sekä asennustöiden aikataulut täsmäävät ja siirrytään rakentamisvaiheeseen.

5 Yhteenveto

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutustua aurinkopaneelijärjestelmiin ja sähköautojen latausjärjestelmiin, perehtyä niiden suunnitteluun ja urakointiin sekä tehdä ohjeistus, jonka pohjalta voidaan suunnitella ja toteuttaa järjestelmiä avaimet käteen -periaatteella.

Työtä tehdessäni tuli ilmi, että aihealue on todella laaja ja siihen liittyy tietoa eri lähteistä, säädöksistä ja standardeista. Tämän takia aiheen rajaus oli hankala ja siten työssä on keskitetty pääosin pienkokoisten järjestelmien suunnittelu- ja toteutusprosessiin. Tavoitteena oli esittää aurinkopaneelijärjestelmien ja sähköautojen latausjärjestelmien sähkösuunnitteluun ja -urakointiin liittyvät asiat kuitenkin monipuolisesti ja kattavasti, jotta näiden palveluiden tarjoamiseen saadaan riittävästi tietoa.

Sekä aurinkopaneelijärjestelmien että sähköautojen latausjärjestelmien suunnitteluprosessin kulku osoittautui työn kuluessa samankaltaiseksi. Molemmissa prosesseissa korostuu kiinteistöjen nykyisten sähköjärjestelmien tarkastelu sekä niiden käytön rajat. Tämä antaa kartoitukseen ja suunnitteluun synergiaa, mikä kannattaa kyseessä olevia asiantuntijapalveluita tarjoavan yrityksen hyödyntää.

Urakoinnin kannalta pienkokoisten aurinkopaneelijärjestelmien asennus osoittautui monimutkaisemmaksi kuin sähköautojen latausjärjestelmien asennus, koska aurinkopaneelijärjestelmän kiinnitystelineiden rakentaminen ja paneelien kiinnittäminen niihin osoittautui laajaa kokemusta ja erityisosaamista vaativaksi työksi. Tämän takia etenkin aluksi on syytä harkita kokeneen alihankkijan käyttöä aurinkopaneelien asennuksissa. Mikäli tulevaisuudessa on tavoitteena tehdä asennustyöt yrityksen omin voimin, on hyvä päästä seuraamaan kokeneen

alihankkijan työnkulkua sekä asennuksen yksityiskohtia ja tätä kautta saada kerättyä kokemusta asennuksesta.

Tutkimusta tehdessäni tuli selväksi, että järjestelmien suunnittelussa on lukuisia yksityiskohtia, mitkä vaikuttavat sekä aurinkosähköjärjestelmien että sähköautojen latausjärjestelmien kapasiteettiin, kokoonpanoon ja tarvittaviin investointeihin. Tästä syystä avaimet käteen -periaatteella toimivan palvelun täytyy olla aina tapauskohtaisesti suunniteltu sekä laskettu ja tilaajalle tehdyn tarjouksen pitää perustua kohteen rajaamiin mahdollisuuksiin sekä tilaajan tarpeisiin. Niin sanottuja valmiita paketteja asiakkaille ei ole mahdollista tarjota kuin hyvin harvoin, mikä ei ole taloudellisesti kannattavaa.

Lähteet

- 1 Auringosta sähköä. 2022. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringosta_sahkoa/>. Päivitetty 22.8.2022. Luettu 8.10.2022.
- 2 Aurinkoenergia. Verkkoaineisto. Energiamaailma. Energiateollisuus ry. <<https://energiamaailma.fi/energiasta/energiantuotanto/aurinkovoima/>>. Luettu 7.4.2023.
- 3 Tietoja aurinkosähköstä. 2021. Verkkoaineisto. Maysun Solar. <<https://www.solarpanelsfi.com/blog/yksikiteisten-aurinkopaneelien-hyotysuhde-onko-hyotysuhteella-todella-valia/>>. 2.11.2021. Luettu 8.10.2022.
- 4 Auringonsäteilyn määrä Suomessa. 2022. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa/>. Päivitetty 22.8.2022. Luettu 8.10.2022.
- 5 Lehto, Ina; Orrberg, Matti; Ylinen, Marko & Andersén, Markus. 2021. Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu ja toteutus. Espoo: Sähkötieto ry.
- 6 Aurinkosähköjärjestelmät. Verkkoaineisto. Tukes. <<https://tukes.fi/sahko/sahkotyot-ja-urakointi/aurinkosahkojarjestelmat/>>. Luettu 7.4.2023.
- 7 Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä. 2023. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/tarvittava_laitteisto/verkkoon_liitetty_aurinkosahkojarjestelma/>. Päivitetty 20.3.2023. Luettu 7.4.2023.

- 8 Aurinkosähköjärjestelmään kuuluvat laitteet. Verkkoaineisto. Aurinkosähkökotiin, Motiva. <<https://aurinkosahkoakotiin.fi/laitteet/>>. Luettu 7.4.2023.
- 9 SFS 6000–1–2. 2017. Pienjännitesähköasennukset. Osa 1–2: Erikoistilojen ja täydentävät vaatimukset. Suomen Standardisoimisliitto.
- 10 Perälä, Rae; Perälä, Osmo. 2017. Aurinkosähköä. Helsinki: Alfamer / Karisto Oy.
- 11 Kiinnitysteline. Verkkoaineisto. Aurinkovirta. <<https://aurinkovirta.fi/aurinkosahko/aurinkovoimala/kiinnitysteline/>>. Luettu 9.4.2023.
- 12 Aurinkopaneelien asentaminen. 2023. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/hankinta_ja_asennus/aurinkopaneelien_asentaminen/>. Päivitetty 11.1.2023. Luettu 9.4.2023.
- 13 Verkkoon kytketyt aurinkosähköjärjestelmät, RT 103076. 2019. Rakennustieto.
- 14 SALO – Solar Panels asennus ja käyttöohje. 2022. Verkkoaineisto. Salo Tech Oy. <https://www.tuontitukku.fi/storage/product_files/2/6438056287252-salosolar-asennusohje-tuontitukku_0aebfc49cf47019ef8044755a1e0c8ff.pdf>. Päivitetty 10.3.2022. Luettu 29.4.2023.
- 15 Murtomäki, Irene. 2021. Aurinkovoimala ja kattoremontti sopivat yhteen. Verkkoaineisto. Kiinteistöposti. <<https://www.kiinteistoposti.fi/aurinkovoimala-ja-kattoremontti-sopivat-yhteen/>>. Päivitetty 15.2.2021. Luettu 29.4.2023.
- 16 Auvinen, Karoliina. 2017. Kestääkö katto aurinkovoimalan? – katso tarkistuslista. Verkkoaineisto. Finsolar. <<https://finsolar.net/kestaako-katto-aurinkovoimalan/>>. Päivitetty 25.4.2017. Luettu 29.4.2023.

- 17 RIL 201-1-2017. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto ry.
- 18 Laitteet. Verkkoaineisto. Aurinkosähkökotiin, Motiva. <<https://aurinkosahkoakotiin.fi/laitteet/>>. Luettu 13.5.2023.
- 19 Verkkoon kytkemätön aurinkosähköjärjestelmä. 2022. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/tarvittava_laitteisto/verkkoon_kytkeaton_aurinkosahkojarjestelma/>. Päivitetty 12.10.2022. Luettu 13.5.2023.
- 20 Invertteri. 2023. Verkkoaineisto. Aurinkovirta. <<https://aurinkovirta.fi/aurinkosahko/aurinkovoimala/invertteri/>>. Päivitetty 8.1.2023. Luettu 13.5.2023.
- 21 Aurinkovoimala. 2022. Verkkoaineisto. Aurinkovirta. <<https://aurinkovirta.fi/aurinkosahko/aurinkovoimala/>>. Päivitetty 20.1.2022. Luettu 14.5.2023.
- 22 Paneelien fyysinen asennus. Verkkoaineisto. Aurinkovirta. <<https://aurinkovirta.fi/paneelien-fyysinen-asennus/>>. Luettu 14.5.2023.
- 23 Puro, Vesa-Matti. 2020. Aurinkopaneelien johdinten kiinnityksestä – kaapelikiinnikkeet. Verkkoaineisto. Aurinkovirta. <<https://aurinkovirta.fi/rakentaminen/johdotus/aurinkopaneelien-johdinten-kiinnityksesta-kaapelikiinnikkeet/>>. Päivitetty 20.8.2020. Luettu 14.5.2023.
- 24 Verkkoon kytkemättömien järjestelmien mitoitus. 2022. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/hankinta_ja_asennus/verkkoon_kytkeattomien_jarjestelmien_mitoitus/>. Päivitetty 2.8.2022. Luettu 27.5.2023.
- 25 Sähköverkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän mitoitus. 2022. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/hankinta_ja_asennus/aurinkosahkojarjestelman_mitoitus/>. Päivitetty 2.8.2022. Luettu 27.5.2023.

- 26 Mitoitusmenetelmiä. 2022. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/hankinta_ja_asennus/aurinkosahkojarjestelman_mitoitus/mitoitusmenetelmia/>. Päivitetty 2.8.2022. Luettu 27.5.2023.
- 27 Sijoittaminen ja tuotto. Verkkoaineisto. Aurinkosähkökotiin, Motiva. <<https://aurinkosahkoakotiin.fi/sijoittaminen-ja-tuotto/>>. Luettu 27.6.2023.
- 28 Photovoltaic geographical information system. PVGIS Interactive tool. 2022. Verkkoaineisto. European Commission. <https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#PVP>. Päivitetty 1.3.2022. Luettu 27.6.2023.
- 29 Aurinkosähköjärjestelmien hinta. 2022. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/aurinkosahkojarjestelmien_hinta/>. Päivitetty 2.8.2022. Luettu 27.6.2023.
- 30 Kannattavuuslaskurit. Verkkoaineisto. FinSolar. <<https://finsolar.net/kannattavuus/kannattavuuslaskurit/>>. Luettu 27.6.2023.
- 31 SFS 6000–1–1. 2017. Pienjännitesähköasennukset. Osa 1–1: Yleisvaatimukset. Suomen Standardisoimisliitto.
- 32 Sähköturvallisuuslaki. 2016. 1135/16.12.2016.
- 33 Aurinkosähköjärjestelmän sopimusehdot. Verkkoaineisto. Väre Oy. <<https://vare.fi/sopimusehdot-aurinkopaneelit/>>. Luettu 27.6.2023.
- 34 Sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon. 2021. Verkkoaineisto. Energiateollisuus. <https://energia.fi/files/6065/Ohje_tuotannon_liittamisesta_asiakasviestintaan_PAIVITETTY_20210614.pdf>. Päivitetty 14.06.2021. Luettu 29.6.2023.

- 35 Hajautettua sähkön pientuotantoa. Verkkoaineisto. Energiateollisuus. <https://energia.fi/energiasta/asiakkaat/sahkoasiakkuus/sahkon_pientuotanto/>. Luettu 29.6.2023.
- 36 Lupa-asiat. 2022. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/ennen_jarjestelman_hankintaa/lupa-asiat/>. Päivitetty 2.8.2022. Luettu 29.6.2023.
- 37 Neljä askelta turvalliseen katolla työskentelyyn. 2023. Verkkoaineisto. Rakentaja. <<https://rakentaja.fi/artikkelit/nelj%C3%A4-askelta-turvalliseen-katolla-ty%C3%B6skentelyyn/>>. Päivitetty 19.1.2023. Luettu 30.6.2023.
- 38 Aurinkopaneeli – Aurinkopaneelien hinta asennettuna. 2023. Verkkoaineisto. Urakkamaailma. <<https://www.urakkamaailma.fi/aurinkopaneeli/>>. Päivitetty 17.10.2023. Luettu 21.10.2023.
- 39 Pohjolan Aurinkosähkötukku. Verkkoaineisto. Pohjolan Ekolämpö Oy. <<https://aurinkosahkotukku.fi/>>. Luettu 21.10.2023.
- 40 Pennanen, Jussi. 2023. Sähköautojen määrä on kymmenkertaistunut, mutta tahti hidastunee syksyllä – Tilauskanta kuin lamavuosina. Verkkoaineisto. Kauppalehti. <<https://www.kauppalehti.fi/uutiset/sahkoautojen-maara-on-kymmenkertaistunut-mutta-tahti-hidastunee-syksylla-tilauskanta-kuin-lamavuosina/a38e7500-22fc-4cbf-8876-d3a305415965>>. Päivitetty 22.7.2023. Luettu 9.9.2023.
- 41 Laki rakennusten varustamisesta sähköajoneuvojen latauspisteillä ja latauspistevalmiuksilla sekä automaatio- ja ohjausjärjestelmillä. 2020. 733/11.11.2020.
- 42 Sähköajoneuvojen lataussuositus. 2023. Verkkoaineisto. SESKO. <<https://sesko.fi/standardointi/sahkoautot-ja-latausjarjestelmat/lataussuositus/>> Päivitetty 18.05.2023. Luettu 9.9.2023.

- 43 Sähköisiin liikkumisvälineisiin sovellettava lainsäädäntö. Verkkoaineisto. Tukes. <<https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/koneet/sahkoiset-liikkumisvali-neet>>. Luettu 9.9.2023.
- 44 Mäkinen, Jukka. 2019. Sähkö liikenteen käyttövoimana osana energiamur-rosta – EV-latausjärjestelmän suunnittelijan opas. Verkkoaineisto. ABB Oy. <[https://library.e.abb.com/pub-lic/2d06de340f194cddb450624abdc55eaa/EV_latausjarjestelman_suunnit-telijan_opas_9AKK107492A1741.pdf?x-sign=Cq5qQNRD6sjOYvB7PEBFKyHj1UWGzVHhs76GTMEIcY9WQuNF05wLZkm/xB9ynOjs](https://library.e.abb.com/public/2d06de340f194cddb450624abdc55eaa/EV_latausjarjestelman_suunnit-telijan_opas_9AKK107492A1741.pdf?x-sign=Cq5qQNRD6sjOYvB7PEBFKyHj1UWGzVHhs76GTMEIcY9WQuNF05wLZkm/xB9ynOjs)>. Päivitetty 20.2.2019. Luettu 15.10.2023.
- 45 SFS-EN IEC 61851-1:2019. Electric vehicle conductive charging system – Part 1: General requirements. 2019. Suomen Standardisoimisliitto.
- 46 Sähköautojen latausjärjestelmien huomioiminen kiinteistöjen sähkösuun-nittelussa. Suunnittelijan opas. 2021. Verkkoaineisto. Ensto Chago Oy. <<https://www.ensto.com/globalassets/whitepapers/suunnittelijan-opas-sahkoautojen-latausjarjestelmat.pdf>>. Päivitetty 10.6.2021. Luettu 15.10.2023.
- 47 Korhonen, Eero; Linja-aho, Vesa; Mäkinen, Jukka & Orrberg Matti. 2019. Sähköautot ja latausjärjestelmät. ST-Käsikirja 41. Espoo: Sähköinfo Oy.
- 48 Sähköauton lataaminen ja latauspisteiden toteutus. 2021. ST 51.90. Säh-köinfo Oy.
- 49 Sähköautotietoa. Verkkoaineisto. Autotalo Ampeeri oy. <<https://www.autotaloampeeri.fi/sahkoautotietoa/>>. Luettu 16.9.2023.
- 50 Rakennuksen sähköverkon ja liittymän mitoittaminen. 2020. ST 13.31. Sähköinfo Oy.

- 51 Varttitase eli 15 minuutin taseselvitysjakso. Verkkoaineisto. Fingrid Oyj. <<https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/markkinoiden-yhtenaisyyys/pohjoismainen-tasehallinta/varttitase/>>. Luettu 16.9.2023.
- 52 Schneider Electric Canalis KSA 100 - 1000 A catalogue. 2023. Verkkoaineisto. Schneider Electric. <<https://www.se.com/uk/en/download/document/DEBU026EN/>>. Päivitetty 5.5.2023. Luettu 17.9.2023.
- 53 Sähköajoneuvojen latausjärjestelmän tarvekartoitus. 2023. ST 51.93. Sähköinfo Oy.
- 54 Sähköajoneuvojen latausjärjestelmän ja kiinteistön esiselvitys. 2023. ST 51.94. Sähköinfo Oy.
- 55 Sähköenergian mittaus, mittarointi ja mittauslaitteet. Verkkoaineisto. Turku Energia Sähköverkot Oy. <<https://www.turkuenergia.fi/sahkoverkot/sahkoliittyma-ja-sahkon-mittaus/ohjeet-sahkoammattilaisille/sahkon-mittauksen-tekniset-ohjeet/sahkoenergian-mittaus-mittarointi-ja-mittauslaitteet/>>. Luettu 7.10.2023.
- 56 Sähköauton latauspiste taloyhtiöön – kaikki mitä tulee tietää, kun suunnittelet latauspisteiden hankkimista – Opas. Verkkoaineisto. Latausasemaopas. <https://latausasemaopas.fi/latausasemaopas-taloyhti-oille/#Mita_laki_sanoo_latauspisteiden_hankkimisesta_taloyhtioon>. Luettu 8.10.2023.
- 57 Kaikko, Katja. 2021. Rakentamisen prosessi sähköautojen latauspisteille Lehto Asunnot Oy:llä. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 58 Saastamoinen, Arto; Autio, Isto; Ukkonen, Keijo; Karppinen, Eeva & Käkelä, Mikko. 2017. Sähköurakoitsijan tarjouslaskenta. 4., uudistettu painos. Espoo: Sähköinfo Oy.

- 59 Kattoremontti – tutustu kattoremontin toteutuneisiin hintoihin. 2023. Verkkoinaisto. Urakkamaailma. <<https://www.urakkamaailma.fi/kattoremontin-hinta>>. Päivitetty 17.10.2023. Luettu 21.10.2023.
- 60 Kuivalainen, Atte. 2022. Sähköautojen latausjärjestelmien kartoitus- ja tarjouslaskentaprosessi. Insinööriyö. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 61 Liittymismaksuhinnasto. 2020. Verkkoinaisto. Caruna Espoo Oy. <<https://caruna.fi/sites/default/files/2022-08/Liittymismaksuhinnasto%20Caruna%20Espoo%201.12.2020.pdf>>. Päivitetty 1.12.2020. Luettu 21.10.2023.