

# Energiaympäristön muutokset ja mahdollisuudet palveluntuot- tajayritykselle

Janne Ketola

OPINNÄYTETYÖ  
Marraskuu 2024

Älykkään uusiutuvan energiantuotannon ylempi tutkinto-ohjelma

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Älykkään uusiutuvan energiantuotannon ylempi tutkinto-ohjelma

KETOLA, JANNE:  
Energiaympäristön muutokset ja mahdollisuudet palveluntuottajayritykselle

Opinnäytetyö 54 sivua, joista liitteitä 6 sivua  
Marraskuu 2024

---

Tässä opinnäytetyössä käsiteltiin perinteisiä sähköenergiajärjestelmiä rakentavan ja huoltavan palveluntuottajayrityksen mahdollisuuksia liiketoimintansa kehittämiseksi. Palveluntuottajayritys etsii uusia liiketoimintamalleja uusiutuvista energialähteistä ja erilaisista sähkökäytöistä.

Uusissa liiketoimintamalleissa tarkasteltiin kolmea osa-aluetta. Näitä olivat aurinkosähköjärjestelmien asennukset, sähköiset energiavarastot ja sähköistyvä liikenne. Uusien liiketoimintamallien tarkastelussa tunnistettiin palveluntuottajan nykyinen osaaminen, jotta uudet liiketoimintamallit olisivat toteutettavissa.

Yksi tärkeimmistä asioista oli sähkötyöturvallisuuden varmistaminen. Sähkökäyttöjen suuret oikosulkuvirrat ja suurivirtaiset tasasähköjärjestelmät asettivat sähkölaitteistojen asennustöille omat riskinsä. Käyttöönottotarkastukset aurinkosähköjärjestelmissä asettavat omat vaatimuksensa sähkötyöturvallisuudelle ja mittalaitteistoille.

Sähköenergiajärjestelmien projektien lisäksi tarkasteltiin sähkökäyttöjen aiheuttamia häiriöitä julkiseen sähköverkkoon. Sähköiset häiriöt lisäävät asiantuntijatyön lisäksi käytännön sähköasennustöitä.

---

Asiasanat: sähkötyöturvallisuus, riskin arvio, sähköinen energiavarasto, aurinkosähköjärjestelmä

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Smart Renewable Energy Production

KETOLA JANNE:

Changes in the Electrical Energy Systems and Opportunities for the Service Provider Company

Bachelor's thesis 54 pages, appendices 6 pages  
November 2024

---

This thesis explored the business development opportunities for a service provider company that builds and maintains traditional electrical energy systems. The service provider company is seeking new business models from renewable energy sources and from challenges posed to the electrical networks by non-traditional types of consumer loads.

The new business models were considered in three areas. These were solar power systems, electric energy storage systems and electrified vehicles transport systems. In review of the new business models, existing competences of the service provider were identified in order to make the new business models feasible.

One of the key issues was to ensure electrical safety. High short-circuit currents in rectifier connected electrical drives and high-current DC systems posed their own risks for the installation of electrical equipment. Moreover, commissioning inspections in solar power systems set specific requirements for electrical safety and for measuring instruments.

In addition to the project related to electrical energy systems, the disturbances to the public electricity network caused by non-traditional types of consumer loads were also examined. These disturbances not only increase the amount of expert work involved, but also the amount of actual installation work at site.

---

Key words: electrical safety, risk management, electric energy storage system, solar power system

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	7
2	PALVELUNTUOTTAJAYRITYS.....	9
	2.1 Palveluntuottajayrityksen taustaa.....	9
	2.2 Palveluntuottajayrityksen toimintamalli kokonaisprojektissa .....	9
	2.3 Energiamurroksen tuomat mahdollisuudet palveluntuottajayritykselle .....	9
3	AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄT.....	12
	3.1 Aurinkosähköjärjestelmän periaate .....	12
	3.2 Aurinkosähköjärjestelmän asennuksien turvallisuus ja vaatimuksenmukaisuus .....	13
	3.3 Aurinkosähköjärjestelmät osana palveluntuottajan liiketoimintaa. 16	
	3.4 Asennusmateriaalit ja asennusympäristön vaikutukset materiaalivalintoihin.....	17
	3.5 Aurinkosähköjärjestelmän käyttöönottotarkastukset .....	20
	3.5.1 Aistinvaraiset tarkastukset.....	20
	3.5.2 Testaukset ja mittaukset.....	21
	3.6 Riskin arviointi sähkötyössä ja tasasähköjärjestelmissä .....	24
4	SÄHKÖISET ENERGIAVARASTOT .....	25
	4.1 Sähköiset energiavarastot siirtoverkon osana.....	25
	4.2 Energiavarastoihin liittyvät projektit ja urakkarajojen määrittely ...	26
	4.3 Sähköasema- ja energiavarastoprojekti .....	27
	4.4 Projektitöiden yhteensovittamisen taustaa .....	29
	4.4.1 Maanrakennus-, perustus- ja nostotyöt .....	29
	4.4.2 Kaapelointityöt.....	30
	4.4.3 Energiavaraston käyttöönotto .....	32
	4.5 Riskin arviointi energiavarastojärjestelmien sähkötyössä .....	32
5	SÄHKÖISTYVÄ LIIKENNE JA SÄHKÖN LAATU .....	33
	5.1 Sähköinen liikenne .....	33
	5.2 Sähköautojen latauspisteet .....	33
	5.3 Sähköautojen latauspisteiden aiheuttama sähköinen häiriö.....	34
	5.4 Sähkön laadun mittaukset ja tuloksien analysointi .....	35
	5.5 Häiriöiden rajoittaminen ja ratkaisuehdotukset laatumittauksien perusteella .....	38
	5.6 Riskin arvio sähkölaitteistojen mittaustyössä .....	39
6	YHTEENVETO .....	42
	LÄHTEET.....	45
	LIITTEET .....	48

Liite 1. ST 55.36 Aurinkosähköjärjestelmän käyttönottotarkastuspöytäkirja. Sähköinfo Oy 2023. ....	48
---	----

**LYHENTEET JA TERMIT**

CAT	kategoria, sähköisen mittauslaitteen turvaluokitus
DC	Direct Current, tasasähkö
FFT	Fast Fourier Transform, Fourier-muunnos
HDG	Hot-dip galvanization
IGBT	Insulated-Gate Bipolar Transistor
Ik	oikosulkuvirta
Isc	Short Circuit current, paneeliketjun oikosulkuvirta
IV-käyrä	Aurinkopaneeliston virta-jännitekäyrä
kA	kiloampeeri
kV	kilovoltti
kVA	kilovolttiampeeri
kW	kilowatti
MW	megawatti
NREL	National Renewable Energy Laboratory
ST 55.36	Aurinkosähköjärjestelmän käyttöönottotarkastuspöytäkirja, Sähköinfo
TEN-T	Trans European Network – Transport
TUKES	Turvallisuus- ja kemikaalivirasto
Uoc	Voltage open circuit, paneeliketjun jännite
UPS	Uninterruptible Power Supply
V	voltti

## 1 JOHDANTO

Suomalaisessa sähköenergiajärjestelmässä hyödynnetään uusiutuvia energialähteitä ja hajautettua energiantuotantoa. Keskeisenä tavoitteena ovat kasvihuonepäästöjen vähentäminen ja irrottautuminen fossiilisiin polttoaineisiin perustuvista energiajärjestelmistä.

Uusiutuviin sähköenergialähteisiin kuuluvat esimerkiksi aurinkosähköjärjestelmät, tuulivoimakäytöt ja vesivoima. Vesivoimatuotanto on perinteisempi energiantuotannon lähde ja vesivoimaa käytetään myös säätövoimana kantaverkon tehotasapainon hallitsemiseksi. Vesivoimalaitoksien generaattorit ovat tahdistettuina sähköverkon taajuuteen ja tuottavat sähköverkkoon inertiaa.

Aurinkosähköjärjestelmät ja tuulivoima liitetään osaksi julkista sähköverkkoa erilaisilla suuntaajakäyttöillä. Suuntaajakäyttöjen takia suurin osa uusiutuvista sähköenergialähteistä eivät tuota sähköverkkoon inertiaa. Sähköasemien yhteyteen rakennetaan sähköenergiavarastoja, joilla tasapainotetaan tarvittavia tehomuutoksia sähköverkossa ja vakautetaan myös sähköverkon taajuutta. Uusiutuvan nykyisen energiantuotannon käyttötekniikka sähköverkossa eroaa perinteisestä pyörivästä generaattorikäytöstä. Perinteisen ja nykyisen sähköenergiantuotannon yhteensovittaminen lisää investointeja julkiseen sähköverkkojärjestelmään.

Uusiutuvien energiantuotantomuotojen lisäksi Suomessa panostetaan sähköiseen liikenteeseen. Sähköistä liikenneverkkoa rakennetaan lähivuosien aikana Suomessa. Liikenneverkko edistää materiaalien ja ihmisten kestävästä liikkumisesta Euroopan unionin jäsenmaiden välillä. Sähköisen liikenteen latausasemilla sähköenergiaa muutetaan sähköautolle sopivaksi. Sähköverkkoon kytkettyjen sähkölaitteistojen yhteensopivuus on varmistettava julkisessa sähköverkossa. Sähkön laadun on täytettävä laatustandardien vaatimukset, eikä sähkölaitteisto saa aiheuttaa häiriöitä julkiseen sähköverkkoon.

Uusiutuva sähköenergiantuotanto ja sähköisen liikenteen sovellukset ovat muokanneet perinteistä sähkönsiirto- ja sähköjakelujärjestelmää. Sähköalalla toimiva palveluntuottajayritys toimii suurista tehonsiirtojärjestelmistä aina pienjänniteasiakkaan sähköliittymälle asti. Perinteisen teknologian osaamisesta on hyötyä myös uusien hajautettujen energiantuotantolähteiden ja sähkökäyttöjen omaksumiseksi. Tarkoituksena on selvittää mahdollisia liiketoimintamalleja palveluntuottajayritykselle energiamurrokseen perustuvasta teknologiasta. Liiketoimintamallien lisäksi arvioidaan sähkötyöturvallisuuteen liittyviä riskejä ja ratkaisuja sähkötoihin liittyvien vaarojen pienentämiseksi.

## **2 PALVELUNTUOTTAJAYRITYS**

### **2.1 Palveluntuottajayrityksen taustaa**

Yritys toimii Suomen alueella ja yrityksellä on useampia toimipaikkoja. Yrityksen liiketoiminta kattaa kantaverkon sähköasemien rakentamisprojektit, jakeluverkoprojektit ja teollisuusverkkojen projektit. Viime vuosien aikana liiketoiminta-alueetta on laajennettu myös voimajohtojen rakentamisprojekteihin.

Yritys tuottaa huolto- ja kunnossapitopalveluita sähköasemille, tehomuuntajille ja jakeluverkoille. Yrityksellä on laaja osaaminen sähkölaitteistojen käyttöönottoihin ja relesuojauksien ylläpito- ja käyttöönottoihin.

Yritys on osa kansainvälistä verkostoa, jolla on yhtiöitä useammassa maissa. Kansainvälinen verkosto ja yrityksen tuotemerkki käsittävät energianjakelun koko arvoketjun, aina voimalaitoksesta sähkökuluttajan sähköliittymään asti.

### **2.2 Palveluntuottajayrityksen toimintamalli kokonaisprojektissa**

Yritys toimii usein pääurakoitsijana kokonaisprojektissa. Yrityksen tehtävä on tuottaa palvelu asiakkaalle kokonaistoimituksena suunnittelusta käyttöönottoon ja luovutukseen asti. Yrityksellä on alihankintaketju, joka mahdollistaa projektitoimituksen ja pätevoittää yrityksen toimintaa liiketoiminta-alueen projekteissa.

Palveluntuottajayritys luottaa alihankintaan esimerkiksi maanrakennustöissä, mekaanisissa nosto- ja asennustöissä ja teräsrakennesuunnittelussa. Kaikkea osaamista ei yrityksessä ole, mutta alihankinta ja verkostoituminen alan toimijoiden kanssa tuottaa palvelun, josta projekti muodostuu.

### **2.3 Energiamurroksen tuomat mahdollisuudet palveluntuottajayritykselle**

Energiamurros aiheuttaa muutoksia sähköverkkojen ja sähköjärjestelmien rakenteille. Hajautetun energiantuotannon sovellukset lisääntyvät, mikä lisää nykyistä

sähköasemarakentamista ja kantaverkon vahvistamista. Sähköasemien rakentamisprojektin yhteydessä liiketoimintaa voisi laajentaa hajautetun energiantuotannon sähkölaitteistojen asentamiseen.

Erilaisissa sääolosuhteissa vuosikymmeniä käytettävät sähkölaitteistot ja sähköjärjestelmät ovat palveluntuottajayritykselle perinteistä liiketoimintaa. Ympäristöolosuhteiden huomioiminen materiaaleissa, tarvittavat maansiirtoon ja perustustöihin liittyvät mitoitukset ovat myös arkipäiväistä liiketoimintaa.

Palveluntuottajayrityksen suurimmat projektit ovat yli 1000 voltin sähköjärjestelmien asennuksia ja käyttöönottoja. Sähköasemien toisiojärjestelmissä ja apusähköjärjestelmissä ovat sähköasennukset alle 1000 voltin ympäristössä. Osaamista yrityksellä on laaja-alaisesti.

Hajautettuun energiantuotantoon liittyviä projekteja ovat olleet kantaverkkoon liittymiseen tarkoitettut sähköasemat. Rajapintana ovat olleet sähköaseman ja energiantuotannon väliset keskijännitekaapeloinnit tai ainoastaan sähköaseman rakentaminen. Kuva 1 esittää kahden päämuuntajan 110/33 kV sähköasemaa, jossa hajautettuun tuotantoon liittyvä teknologia rajattiin projektin ulkopuolelle.



KUVA 1. 110/33 kV sähköasema hajautetun tuotannon liittämistä varten

Laaja jännitealue ja sähköasemaprojekteihin liittyvät työtehtävät antavat mahdollisuuksia omaksua hajautettuun energiantuotantoon liittyviä tekniikoita. Verkos-

toituminen sähkölaitteistojen valmistajien kanssa ja lisäpalvelun tarjoaminen sähköasemaprojektissa laajentaisi palveluntuottajayrityksen liiketoimintaa. Hajaute-  
tun energiantuotannon käyttöönotot ovat sähkölaitteistojen valmistajien tietotai-  
toa. Palveluntuottajayrityksen tehtävä olisi rakentaa sähkölaitteistot käyttöönotto-  
valmiiksi. Sähkölaitteistojen valmistajat tai valtuutetut edustajat jatkaisivat työtä  
käyttöönottoihin liittyvillä tehtävillä.

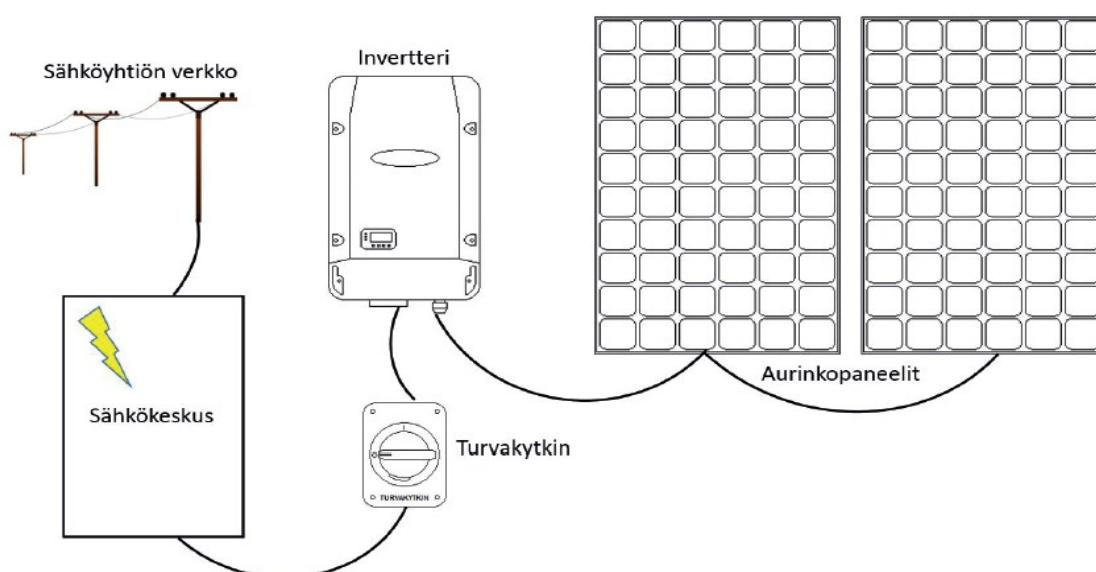
### 3 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄT

#### 3.1 Aurinkosähköjärjestelmän periaate

Aurinkosähköjärjestelmät ovat osana hajautettua ja uusiutuvaa energiantuotantoa. Energiaa tuotetaan aurinkopaneeleilla. Aurinkopaneeli koostuu yleensä sarjaan kytketyistä aurinkokennoista, joiden materiaali on toistaiseksi lähes poikkeuksetta piitä. Aurinkokennot muuttavat valosähköisen ilmiön avulla auringon säteilyenergian sähköenergiaksi (Väre 2020).

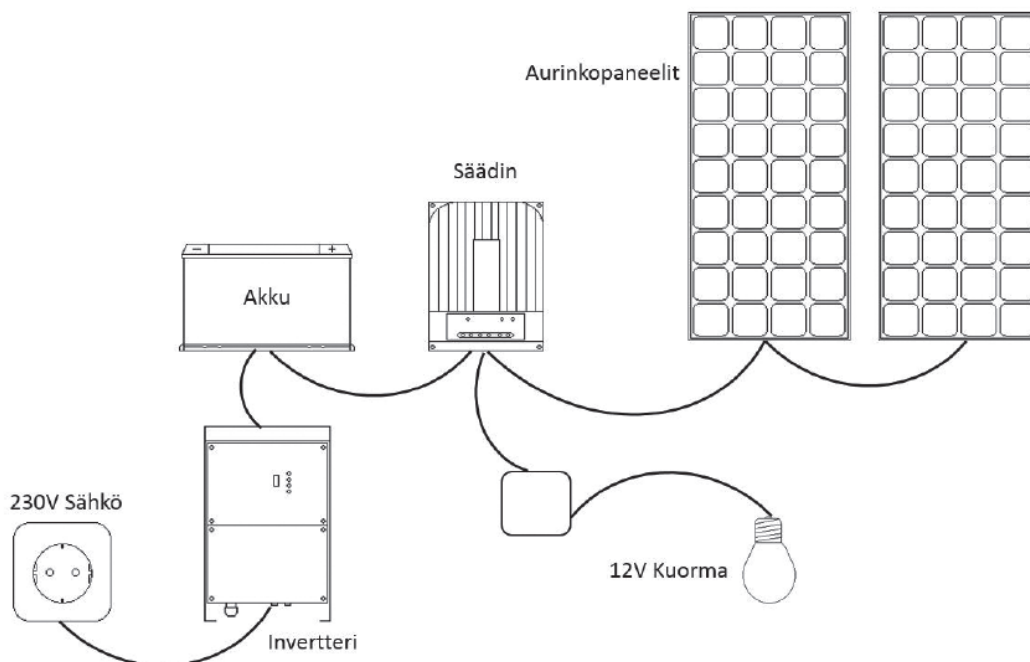
Aurinkopaneelien tuottama tasasähkö muunnetaan vaihtosähköksi vaihtosuuntaajan avulla. Vaihtosuuntaajasta käytetään nimitystä invertteri. Kuluttajan sähkölaitteisto tai julkinen sähköverkko ovat osana vaihtosähköjärjestelmää (Väre 2020).

On-grid -aurinkosähköjärjestelmä on kytketty yleiseen sähköverkkoon. Sähköverkkoon liitetyn aurinkosähköjärjestelmän pääkomponentit ovat aurinkopaneelit ja sähköverkkoon syöttävä vaihtosuuntaaja. Vaihtosuuntaaja voi olla varustettuna myös varavoimakäytön mahdollisuudella. Kuvio 1 esittää aurinkosähköjärjestelmää, jolla voidaan siirtää aurinkosähköjärjestelmän tuottamaa energiaa julkiseen sähköverkkoon. (ST-käsikirja 40, s. 56–57).



KUVIO 1. Julkiseen sähköverkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän periaatekuva (ST-käsikirja 40, s. 57).

Off-grid -aurinkosähköjärjestelmää ei kytetä osaksi yleistä sähköverkkoa, vaan se toimii itsenäisenä omana järjestelmänään esimerkiksi kesämökin sähköistämässä. Energiavarastona käytetään akustoa. Kuvio 2 esittää omavaraista aurinkosähköjärjestelmää (ST-käsikirja 40, s. 59).



KUVIO 2. Itsenäisen aurinkosähköjärjestelmän periaatekuva (ST-käsikirja 40, s. 59).

Kahden aurinkosähköjärjestelmän periaatteet ja palvelutuottajan liiketoiminnan kehittäminen ohjaavat tarkastelemaan yleiseen sähköverkkoon liitettävien aurinkosähköjärjestelmien mahdollisuuksia. Palveluntuottajan asiakkuudet painottuvat julkisen kantaverkon, siirtoverkon ja jakeluverkkojen yrityksiin.

### 3.2 Aurinkosähköjärjestelmän asennuksien turvallisuus ja vaatimustenmukaisuus

Aurinkosähköjärjestelmien asennuksien turvallisuudesta ja vaatimustenmukaisuudesta laadittiin selvitys vuonna 2022 aloitettuun valvontaprojektiin perustuen. Valvontaprojektin nimi oli *"Aurinkosähköjärjestelmien asennustyön vaatimustenmukaisuus"*. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto TUKES oli saanut useita ilmoituksia virheellisistä asennuksista. Tarkastuskohteita oli 45. Aurinkosähköjärjestelmien

asennusohjeita ei noudatettu, kaapelointijärjestelmiä asennettiin virheellisesti ja turvallisuuden varmistavat sähkölaitteiston käyttöönottotarkastukset olivat puutteellisia. Aurinkosähköjärjestelmien valvontaprojekti keskittyi pientalojen ja maatilojen asennuksiin (TUKES 2023).

Turvallisuus- ja kemikaaliviraston aurinkosähköjärjestelmien valvontaprojektin perusteella sähköalalla heräsi huoli sähköasennuksien turvallisuudesta ja hyvien asennustapojen kehittamisestä. Valkeakosken ammattiopistossa rakennettiin oppimisympäristöjä aurinkosähköjärjestelmien asennuksien turvallisuuden ja laadun varmistamiseksi. Aurinkosähköjärjestelmiin laadittiin teoriaopetusmateriaalit ja asennusharjoitusten ohjemateriaalit. Oppimisympäristö palvelee sähkö- ja automaatioalan perustutkinnon opiskelua ja sähköasennusyrietyksien työntekijöiden opiskelua turvallisiin ja laadukkaisiin sähköasennuksiin (Seppälä 2024).

Aurinkosähköjärjestelmän asentamisesta ja vaatimuksenmukaisuudesta vastaa järjestelmän asentanut sähköurakoitsija. Sähköalan toimijan ja sähkötöiden johtamiseen nimettyjen henkilöiden on varmistettava riittävän ammattitaidon, oma-valvonnan ja asennuksien turvallisuus aurinkosähköasennuksissa. Aurinkosähköjärjestelmän on täytettävä sähköturvallisuuslain vaatimukset ennen käyttöönottoa ja luovuttamista asiakkaalle (TUKES 2023).

Sähköturvallisuuden lisäksi on aurinkosähköjärjestelmien asennuksissa huomioitava pelastustoimen suositukset pelastustoiminnan ja pelastushenkilöstön työturvallisuuden varmistamiseksi. Valvontaprojektin tarkastuksissa huomattiin paloturvallisuusriskejä sähköasennuksissa, jotka on korjattava ja huomioitava aurinkosähköjärjestelmien asennuksissa. Kuva 2 esittää turvallisuusriskejä sisältävän aurinkosähköjärjestelmän asennuksen (TUKES 2023).



KUVA 2. Vaihtosuuntaajan asennus palovaarallisessa ympäristössä ja on eläimien kosketeltavissa. (TUKES 2023, Liite 2).

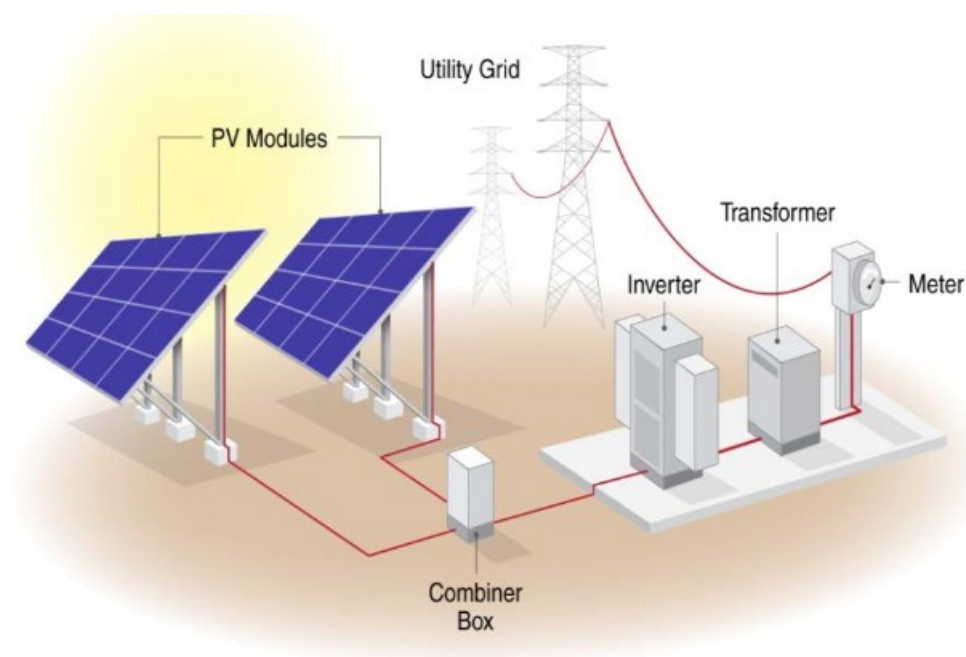
Turvallisuus- ja kemikaaliviraston valvontaprojektin raportti aurinkosähköjärjestelmien turvallisuudesta ja vaatimuksenmukaisuudesta on havainnollinen esittely aurinkosähköasennuksien virheistä. Käyttöönottotarkastuksiin ja asennustekniikkaan voidaan järjestää koulutusta ja käytännön harjoituksia, jolloin virheiltä voidaan välttyä seuraavissa asennusprojekteissa.

Aurinkosähköasennuksia varten on myös sertifiointimenettely, joka on vapaaehtoinen järjestelmä. Sertifiointimenettely perustuu Euroopan unionin direktiiveihin, joissa edistetään jäsenvaltioiden uusiutuvien energialähteiden käyttöä. Suo-

messä sertifiointijärjestelmä on sähkö- ja energia-alan toimijoiden luoma, jota valvoo uusiutuvan energian toimikunta. Toimikunnan edustajat ovat esimerkiksi Motivasta, ympäristöministeriöstä ja aurinkosähköasennuksiin erikoistuneista oppilaitoksista (ST-käsikirja 40, s. 152).

### 3.3 Aurinkosähköjärjestelmät osana palveluntuottajan liiketoimintaa

Sähköasemien ajatuksena on usein kytkeä hajautettua tuotantoa yleiseen sähköverkkoon. Sähköasemia rakentaville palveluntuottajille osoitetaan tarjouskyselyitä kiinnostuksesta ja mahdollisuudesta tarjota sähköasema asiakkaan liittytäkseen varten jännitetasolla 110/33 kV. Tarjouskyselyssä on pääkaavio yksiviivaesityksenä, jossa on merkittynä urakkarajat. Sähköasema ja aurinkosähköjärjestelmät ovat yleensä erillisiä urakoita. Kuviossa 3 esitetty aurinkosähköjärjestelmä on yksinkertaistettu periaatekuva julkiseen sähköverkkoon liittämistä.



KUVIO 3. Aurinkosähköjärjestelmän liittäminen julkiseen sähköverkkoon. (NREL, 2016).

Aurinkosähköjärjestelmän osana on invertterin jälkeinen vaihtojännitteen nostaminen tehomuuntajalla jakelu- ja siirtoverkkoon sopivaksi. Sähköaseman tehtävänä on liittää ja muuntaa aurinkovoimantuotanto julkiseen sähköverkkoon sopivaksi.

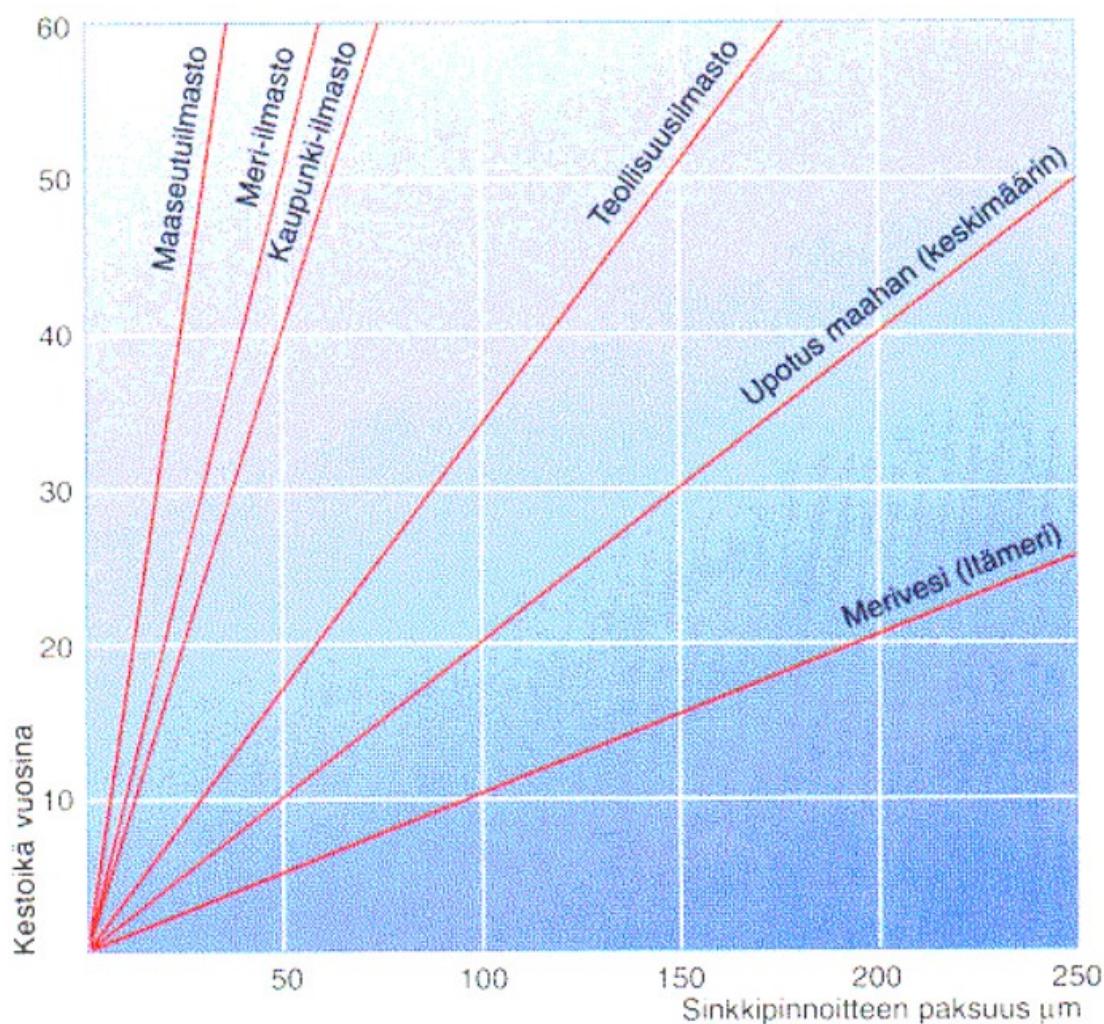
Sähköaseman rakentamisen lisäksi aurinkosähköjärjestelmän asentaminen laajentaisi liiketoimintaa. Sähköasemiin liitettävät suuret aurinkosähköjärjestelmät olisivat jatkumoa asiakkaan sähköasemaprojektiin. Palveluntuottaja omaa yli 1000 voltin sähköjärjestelmien tuntemuksen ja vankan kokemuksen. Sähkölaitteiston tunnistaminen ja asennustyöt olisivat omaksuttavissa laitteistovalmistajan perehdytyksellä. Tehoelektronikan sähkökäyttöjen ja relesuojauksien osaaminen on sähkölaitteistojen valmistajalla hajautetussa energiantuotannossa.

### **3.4 Asennusmateriaalit ja asennusympäristön vaikutukset materiaalivalintoihin**

Aurinkosähköjärjestelmät suunnitellaan yli 30 vuoden käyttöajalle. Materiaalit ja sähköasennukset eivät saa aiheuttaa vaurioita kiinteistölle tai ympäristölle. Suomessa vaihtuvat ympäristöolosuhteet vuodenaikojen ja maantieteellisen sijainnin perusteella (Solarigo Systems Oy 2022).

Aurinkopaneelien maa-asennukseen soveltuvat teräsrakenteet ovat useimmin kuumasinkittyä terästä. Teräs syöpyy hapen ja kosteuden vaikutuksesta. Paras korroosiosuoja saavutetaan useimmin kuumasinkityksen avulla (Teräsrakenneyhdistys 2014, s. 1).

Kuviossa 4 esitetään asennusympäristöjen ja ympäristöolosuhteiden vaikutuksia teräsrakenteen kestoikään. Suolapitoisuus, ilman syövyttävät aineet ja asennustapa vaikuttavat teräsrakenteen kestoikään. Asennusympäristön vaikutukset huomioidaan asennusmateriaalien valinnassa.



KUVIO 4. Teräsrakenteen sinkkipinnoitteen kestoajoja erilaisissa ympäristöolosuhteissa Suomessa (Teräsrakenneyhdistys 2014, s. 2).

Suomalainen Meka Pro Oy valmistaa kaapelitiejärjestelmiä ja aurinkopaneeli-asennuksiin soveltuvia telinemiaaleja. Tuotteita valmistetaan erilaisille asennusympäristöille. Aurinkopaneeliasennuksien telinemiaalien ilmastorasitusluokka SFS-EN ISO 12944-2 -standardin mukaan on vaativimmillaan C4. C4 tarkoittaa olosuhteina ulkona teollisuus- ja rannikkoalueita, joilla suolapitoisuus on kohtalainen (MEKA 2024).

Kuvan 3 teräsrakenteet ovat kiinnitystarvikkeineen kuumasinkittyä terästä merkinnältään HDG tai kuumasinkittyä erikoispinnoitettua terästä merkinnältään XPG. Solar-järjestelmän C-profiiliin perustuvat kiinnitykset ja asennukset ovat tuttuja myös kaapelitikasjärjestelmistä (MEKA Nordic PV System 2024).



KUVA 3. Aurinkopaneelijärjestelmän teräsrakenteet betoniperustuksiin ankkuroituina (MEKA Nordic PV System 2024).

Aurinkopaneelien asennuskulmalla voidaan hieman vaikuttaa vuosituotantoon ja tuotannon kausipainotuksiin. Aurinkopaneelin asennuskulma on tyypillisesti välillä  $30^{\circ}$ ...  $45^{\circ}$ . Meka Pro Oy:n kaapelitiejärjestelmien asennuksiin tottuneille ovat Solar-järjestelmän kiinnitystarvikkeet erilaisia. Asennusohjeissa on eritelty Solar-järjestelmän tarvikkeet ja yksityiskohdat. Perehtyminen Solar-järjestelmään voidaan aloittaa asennusohjeesta. (MEKA Solar Nordic PV System 2024).

Tehdasvalmisteiset teräsrakennemateriaalit ovat asennustöissä samanlaisia jokaisessa projektissa. Teräsrakenteiden kokoonpanoihin saa vaihdettua varaosia ja teräsrakenteet yhdenmukaistuvat. Varaosia ei tarvitse varastoida, eikä materiaalit ole suunniteltuja vain yhtä projektia varten. Projektit ja kunnossapitotyöt helpottuvat yleisiä ja standardoituja materiaaleja käyttämällä.

Aurinkosähköjärjestelmän tasasähkökaapeloinneissa on varmistettava kaapelin ja kaapelitarvikkeiden soveltuvuus asennusympäristöön. Aurinkopaneelikaapeli on hienolankainen yksijohdinkaapeli. Kaapelin on oltava myös suojattu auringon ultraviolettisäteilyltä ja säänkestävä. Liitoksien ja liitostarvikkeiden on täytettävä aurinkosähköjärjestelmien vaatimukset.

### **3.5 Aurinkosähköjärjestelmän käyttöönottotarkastukset**

Aurinkopaneelien valosähköiset tasasähköpiirit ovat aktiivisia päivänvalon ja voimakkaan keinovalon vuoksi. Aurinkopaneelia on vaikea tehdä jännitteettömäksi asennuksen ja käyttöönottotarkastuksen ajaksi. Asennustyön ja käyttöönoton riskinarvioinnissa on tiedostettava sähköiskun vaara (ST-käsikirja 40, s. 158).

Aurinkosähköjärjestelmien käyttöönottotarkastusten vaatimukset perustuvat suomalaiseen sähköturvallisuuslakiin 1135/2016, pienjännitesähköasennuksien standardiin SFS 6000-6 ja aurinkosähköjärjestelmien standardiin SFS 62446-1 (ST-käsikirja 40, s. 158).

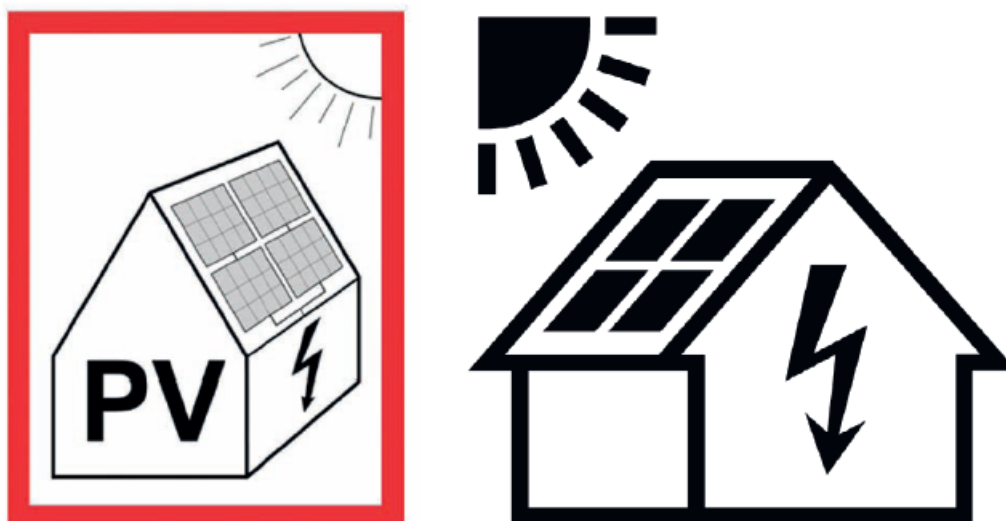
#### **3.5.1 Aistinvaraiset tarkastukset**

Aistinvaraisia tarkastuksia suoritetaan sähkölaitteistojen asennustöiden aikana ja täytetään huomiot käyttöönottotarkastuspöytäkirjaan. Aurinkosähköjärjestelmissä aistinvaraiset tarkastukset ovat pääosin silmämääräistarkastuksia.

Sähkölaitteiston tukirakenteet, asennustarvikkeiden oikeat kiinnitykset ja soveltuvuudet tarkastetaan kokonaisuutena tarkastuspöytäkirjaa täyttäessä. Johtimien tuennat, liitokset ja liitostarvikkeiden soveltuvuus ulkoasennuksiin ja mahdollisten läpivientien tiivistäminen ovat olleet Turvallisuus- ja kemikaaliviraston valvontaprojektissa asennusvirheinä (TUKES 2023).

Sähkölaitteiston sähköiset mitoitukset ja soveltuvuus aurinkosähköjärjestelmään tarkastetaan laitteiden tyyppikilpien, sähkösuunnitelmien ja asennusympäristön mukaisesti. Käyttöönottotarkastukseen liittyvät sähkölaitteiston mittaukset suoritetaan aistinvaraisten tarkastuksien jälkeen.

Turvallisuus ja käytettävyys saavutetaan merkinnöillä ja maadoituksilla. Sähköverkon erotuskytkimet, sähköpiirustukset, tasa- ja vaihtosähkölaitteistojen merkinnät ja tarvittavat kohdetiedot ovat sähköasennuksiin ja alueelle asennettuina. Suunnitellut ja hätätapauksissa suoritettavat käyttö- ja irtikytkennät onnistuvat merkintöjen avulla esimerkiksi pelastus- ja ensiaputehtävässä. Kuviossa 5 esitetään aurinkosähköjärjestelmän varoitus- ja tunnusmerkkejä.



KUVIO 5. Aurinkosähköjärjestelmästä kertovat merkit (ST-käsikirja 40, s. 147)

Maadoitusjohtimien ja potentiaalintasausjohtimien asennukset, liitokset ja riittävät johtimen poikkipinnat on tarkastettava huolellisesti. Käyttäjän turvallisuus ja sähkölaitteiston mahdollisen vikatilanteen erottava suojaustoiminto vaativat maadoitusjärjestelmän luotettavuutta. Väärät asennustarvikkeet ja huono asennustapa ovat olleet havaintoja Turvallisuus- ja kemikalioviraston valvontaprojektissa (TUKES 2023).

### 3.5.2 Testaukset ja mittaukset

Käyttöönottotarkastukset suoritetaan mittaus- ja testauskäyttöön hyväksytyillä mittareilla ja mittauspäillä. Mittauslaitteistojen ja -välineiden CAT-turvaluokitus tarkastetaan ja varmistetaan ennen käyttöönottomittauksien aloittamista.

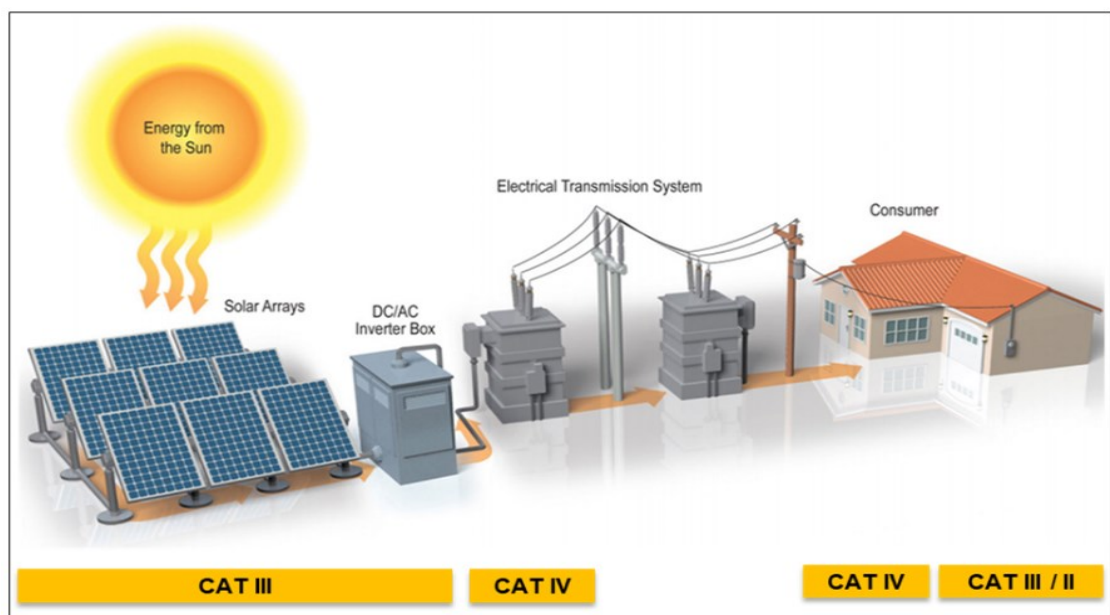
Esimerkkinä enintään 1000 V DC-järjestelmään soveltuva tarkastuslaitteisto on CAT-turvaluokituksiltaan IEC 61010-2-034-standardin mukaisesti CAT III 1000 V DC ja CAT III 700 V AC. CAT III-luokitus tarkoittaa kolmivaiheista sähkönjakelua, jossa oikosulkuvirran  $I_k$  enimmäisarvo on 50 000 A. CAT-luokitellut mittarit suunnitellaan vähentämään valokaaren muodostumisen riskiä mittalaitteen sisällä ja lisäämään työntekijän turvallisuutta (Fluke-yhtiöt CAT-luokitukset).

Kuviossa 6 esitetään CAT-turvaluokitus mittalaitteelle asennus- ja mittausympäristön mukaisesti. Mittarit ja mittausapuvälineet valitaan asennusympäristön ja riskinarvion mukaisesti

Turvaluokitus	Lyhyesti	Esimerkit
CAT IV	Kolmivaiheiliitäntä sähkönjakeluverkkoon, kaikki ulkojohtimet. Mahdollinen oikosulkuvirta yli 50 kA.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Viittaa sähkön syöttötasoon eli paikkaan, jossa pienjännite yhdistetään syöttöjännitteeseen</li> <li>• Sähkömittarit, ensiöpiirin ylivirtasuojalaitteet</li> <li>• Ulkopuolinen jakokeskustaulu ja päätaulu, yhteys pylväästä rakennukseen, mittarin ja taulun yhteys</li> <li>• Ilmayhteys erillisrakennukseen, maanalainen yhteys kaivon pumppuun</li> </ul>
CAT III	Kolmivaihejakelu, mukaan lukien yksivaiheinen yleisvalaistus. Mahdollinen oikosulkuvirta yli 10 kA, jopa 50 kA.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kiinteät asennukset, kuten kojeistot ja monivaihemootorit</li> <li>• Teollisuuslaitosten kiskostot ja syöttöjohdot</li> <li>• Syöttöjohdot ja lyhyet haarituspiirit, jakotaulun laitteet</li> <li>• Suurten rakennusten valaistusjärjestelmät</li> <li>• Laitteiden pistorasiat, lyhyt yhteys päätauluun</li> </ul>
CAT II	Yksivaiheiset ja kolmivaihe, pistotulppakytketyt kuormat. Mahdollinen oikosulkuvirta jopa 10 kA.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kodinkoneet, kannettavat laitteet ja muut kotitalouden tai muun vastaavan kuormat</li> <li>• Pistorasiat ja pitkät haarituspiirit</li> </ul>

KUVIO 6. Mittausluokat, jotka koskevat pienjännitteen (< 1000 V) mittauslaitteita IEC/EN 61010 -standardin mukaan (Sonepar Suomi Oy 2024).

Kuviossa 7 esitetään aurinkosähköjärjestelmän ylijänniteluokituksen olevan CAT III. Standardin IEC 61730-1 mukaisesti aurinkopaneelien asennukset määritetään olevan pysyvästi johdotettuja sähköasennuksia.



KUVIO 7. Aurinkosähköjärjestelmän ylijänniteluokituksen määrittäminen (Fluke-yhtiöt CAT III, 2024)

Standardin SFS 62446-1 mukaiset käyttöönottotarkastukset laajentavat yrityksen mittalaittekantaa ja käyttöönottopöytäkirjojen määrää. ST-kortiston pöytäkirja-pohja ST 55.36 Aurinkosähköjärjestelmän käyttöönottopöytäkirja (Liite 1.) soveltuu yrityksen käyttöön ja toimii tarvittaessa referenssinä aurinkosähköasentajan sertifiointimenettelyssä (Sähköinfo Severi 2024).

Aurinkosähköjärjestelmän käyttöönottotarkastuksessa suoritetaan seuraavia mittauksia standardin SFS 62446-1 mukaisesti:

1. *Aurinkopaneeliston eristysresistanssi*
2. *Maadoituksen ja potentiaalintasauksen jatkuvuus*
3. *Napaisuuden testaus*
4. *Paneeliketjun avoimen piirin jännitteen ( $U_{oc} / V_{oc}$ ) mittaus*
5. *Paneeliston virran ( $I_{sc}$ ) oikosulkumittaus tai toiminnallisen virran tarkastus*

Tarvittavat toiminnalliset testit suoritetaan kytkinlaitteille, suuntaajille ja sähköverkkoon liityntälaitteille (Sähköinfo Severi 2024).

Aurinkosähköjärjestelmän käyttöönottotarkastuksiin soveltuva käyttöönottotesteri on esimerkiksi Fluke SMFT-1000. Käyttöönottotesterillä voidaan suorittaa myös aurinkosähköjärjestelmän suorituskyvyn mittauksia. Tällaisia mittauksia ovat IV-käyrän piirto ja analysointi, säteilyvoimakkuus, kallistus ja lämpötilamittaus (Fluke-yhtiöt SMFT-1000).

Turvallisuus- ja kemikaaliviraston valvontaprojektissa aurinkosähköjärjestelmien käyttöönottotarkastuksista löytyi yleisiä poikkeamia. Tasasähköjärjestelmän käyttöönottomittaukset olivat puutteellisesti suoritettu tai dokumentoitu. Turvallisen ja toimivan sähköjärjestelmän asennustyöt varmennetaan huolellisella käyttöönottotarkastuksella (TUKES 2023, loppuraportti).

### 3.6 Riskin arviointi sähkötyössä ja tasasähköjärjestelmissä

Riskin arviointi ja vaaran poistaminen ovat päivittäistä turvallista tekemistä. Useimmin sähköjärjestelmien asennus- ja käyttötöissä työskennellään lähellä käyttöjännitteisiä osia tai käyttöjännitteettömäksi erotetussa sähkölaitteistossa. Sähköturvallisuusstandardi 6002 selvittää myös jännitetyön edellytyksiä luvussa 6.3.

Tasasähköjärjestelmien turvallisuusvaatimukset ja riskit käsitellään usein akustotöiden mukaisesti. Aurinkosähköjärjestelmän osana voi olla myös energiavara-asto, jolloin akustotöiden asennuksiin liittyvät vaatimukset huomioidaan työtä suunniteltaessa ja toteuttaessa. Akustotöissä suurimpia sähköisiä riskejä ovat suuret oikosulkuvirrat ja sähköiskun mahdollisuus. Asennustyössä käytettävät työkalut ovat jännitetyöhön hyväksytyt, eikä niillä aiheuteta oikosulkua akustolle. Henkilösuojaimeet ovat paloa jatkamattomat ja jännitetyöhön hyväksytyt.

Aurinkopaneeleiden tasasähköpiireissä jännite vaihtelee valoisuuden mukaan. Asennustyössä, käyttöönottotarkastuksessa ja vikatilanteessa on tiedostettava sähköiskun vaara. Vikatilanteen poiskytkentälaitteita ei aina tasasähköpiireissä ole, jolloin virran katkaisu ja mahdollisen valokaaren sammuttaminen on vaikeaa. Sähköverkon kanssa rinnan käyvä aurinkosähköjärjestelmä voi aiheuttaa vikatilanteessa henkilö- ja palovahinkoja (TUKES 2023, loppuraportti).

Tasasähköjärjestelmiä, kuten akustoja suurine oikosulkuvirtoineen asennetaan ja käytetään paljon sähköasemaympäristöissä ja teollisuudessa. Aurinkosähköjärjestelmien asentaminen ja käyttöönotto vaativat tasasähköjärjestelmän ymmärtämisen vuoksi koulutusta ja perehdyttämistä. Vaihtosähköjärjestelmien takasyöttömahdollisuudet huomioidaan ja merkitään sähköverkkojen liityntäpisteisiin. Tasasähköjärjestelmän käyttöjännitteisyys on huomioitava jatkuvasti työtä suoritettaessa.

## 4 SÄHKÖISET ENERGIAVARASTOT

### 4.1 Sähköiset energiavarastot siirtoverkon osana

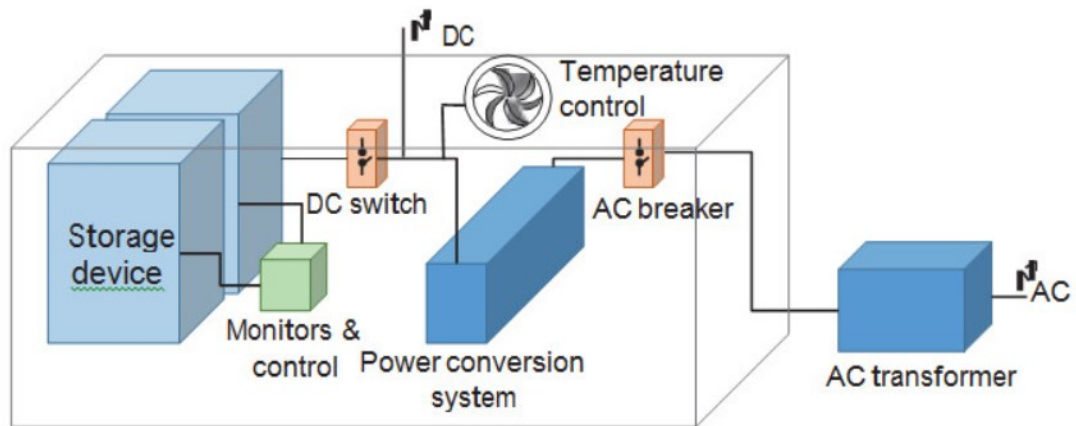
Sähköenergian kulutus ja tuotanto vaihtelevat jatkuvasti. Kulutuksen ja tuotannon ollessa tasapainossa pysyvät sähköverkon jännitteet ja taajuus nimellisarvoisinaan. Energian kulutuksen kasvaessa tarvitaan tuotannon lisäämistä ja vastavasti kulutuksen pienentyessä myös tuotantoa on vähennettävä.

Energian tuotannon periaatteet muuttuvat perinteisistä isoista voimalaitoksista uusiutuvien energiamuotojen suuntaajakäyttöihin. Säariippuvuus energiatuotannossa ja suuntaajakäyttöjen yleistyminen pienentävät sähköjärjestelmän inertiaa. Inertian väheneminen tuottaa sähköjärjestelmän tehotasapainolle ongelmia. Sähköverkon tahdissa pyörivien generaattoreiden muodostama inertia vakauttaa ja rajoittaa sähköjärjestelmän nopeaa taajuuden vaihtelua tehonmuutostilanteissa. Isojen voimalaitoksien purkaminen ja esimerkiksi kemiallisen metsäteollisuuden alasajo vähentävät isoja sähköverkon tahdissa pyöriviä generaattorikäyttöjä (Korpela 2023).

Suuntaajakäytöt seuraavat sähköjärjestelmän taajuutta eivätkä toimi sähköjärjestelmää hidastavana tai tehotasapainon muutosta vastustavana sähkökäyttönä perinteisen verkon tahdissa pyörivän generaattorikäytön tavoin. Tehoelektronikan suuntaajakäyttöihin mietitään ohjelmallisia, inertiaa jäljitteleviä ohjausvästeitä. Suuntaajakäyttöjen valmistajien keskuudessa yhtenevää standardia tai toimintamenettelyä ei ole sovittu. Ohjelmallisen inertian ohjelmointi suuntaajakäyttöön on laitteistovalmistajien esityksen perusteella mahdollista. Ilman yhteisiä sääntöjä ja toimintamallia, suuntaajakäytöt voivat toimia sähköjärjestelmän häiriötilanteessa väärin ja huonontaa sähköjärjestelmän käytettävyyttä (Merus Power 2023).

Energiavaraston avulla tasapainotetaan tuotannon ja kulutuksen kysyntää, osallistutaan mahdolliseen reservimarkkinaan sähköverkon taajuuden ylläpitämiseksi

ja energiavarastoa voidaan käyttää varavoimasovelluksena. Energiavarastojärjestelmää käytetään säätövoimana. Kuvio 8 esittää energiavarastojärjestelmän periaatetta (Celltech 2023).



KUVIO 8. Energiavarastojärjestelmän ja sähkön jakelujärjestelmän toimintaperiaate (AMCD 2024).

Perinteiseen energiantuotantoon verrattuna energiavarastojärjestelmässä on tehoelektroniikkaan perustuvia suuntaajakäyttöjä akuston energian muuttamiseksi vaihtosähköverkkoon sopivaksi. Tehoelektroniikkakäytön kytkentöjen vasteajat ovat lyhyet, jolloin sähkökäyttö soveltuu nopean vasteen reservimarkkinoille.

#### 4.2 Energiavarastoihin liittyvät projektit ja urakkarajojen määrittely

Sähköasemien rakentamiseen erikoistunut palveluntuottaja saa tarjouskyselyjä myös energiavarastojen liittämiseksi yleiseen siirtoverkkoon. Sähkölaitteistojen valmistajat rajaavat projektin yhdeksi osaksi 110/20 kV sähköaseman ja 110 kV liittymisjohdon rakentamisen.

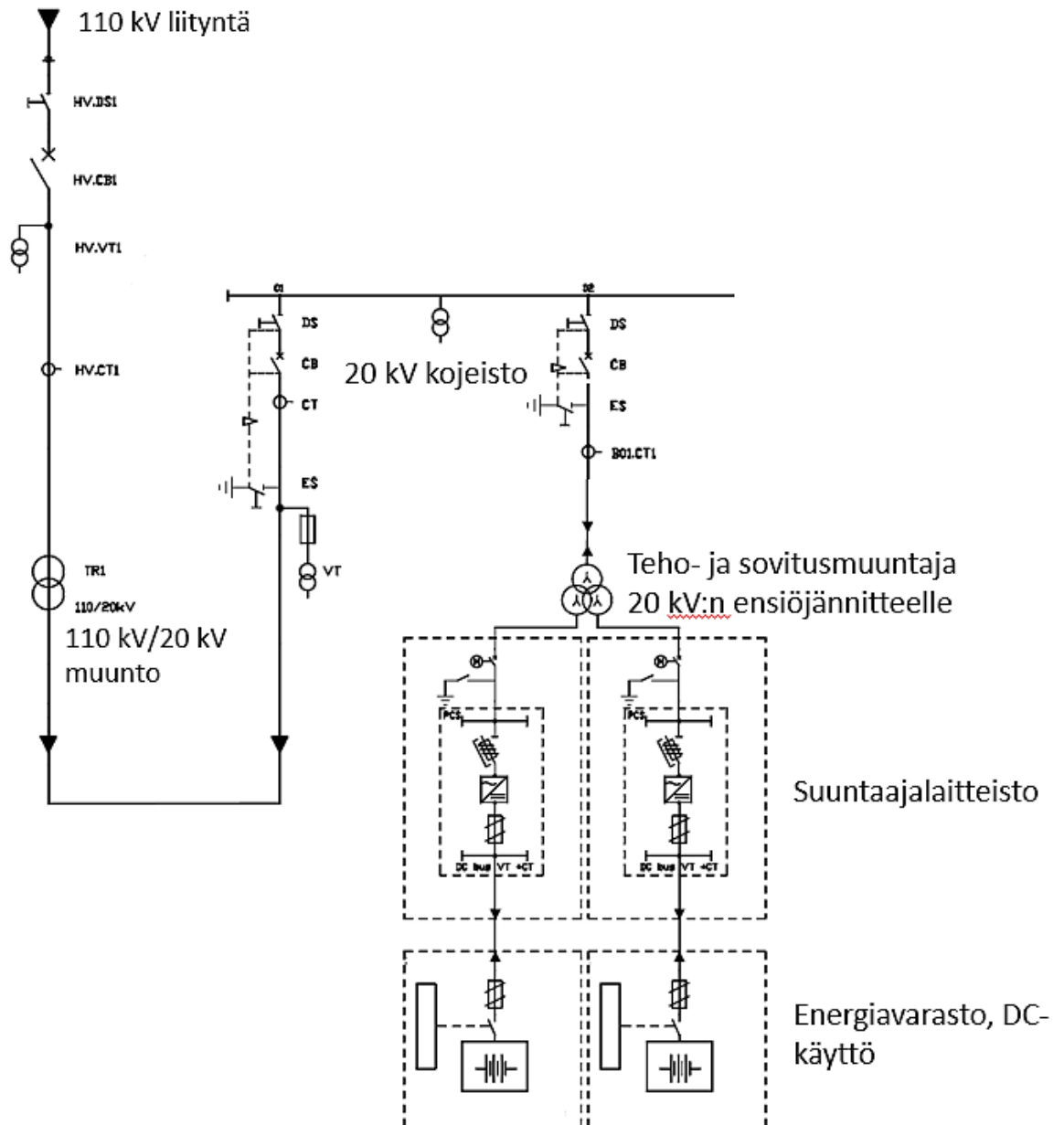
Energiavarastoa ja sähköverkon liityntälaitteistoa koskevat asennukset ovat toinen osa projektia. Syynä projektien jakamiseen osiksi voidaan arvella palveluntuottajien erikoistuminen eri osa-alueisiin. Suurjännitstandardin SFS 6001 mukaiset yli 1000 V AC sähköasennukset ovat sähköasemaprojekteissa erikoisosaamista. Energiavarastokokonaisuudessa pienjännitstandardiin SFS 6000

perustuvat alle 1000 V AC ja alle 1500 V DC sähköasennukset sekä tehoelektronikkaan perustuvat sähkökäytöt ovat sähkölaitteistojen valmistajan erikoisosaimista. Sähkölaitteistojen käyttöönottotarkastukset suoritetaan sähköasennusstandardien SFS 6000 ja SFS 6001 mukaisesti eri sähkölaitteistojen osille.

Toinen urakkarajojen jakoon perustuva syy on energiavaraston sähkölaitteistojen rakenne. Esimerkiksi energiavaraston akkuräkit DC-kaapelointeiseen ja suuntaajalaitteistot käyttöjärjestelmiseen voidaan asentaa tehdasympäristössä säänkestäviin varastokontteihin. Toimitukset työmaalle suoritetaan tällöin valmiina moduuleina ja projektikohtainen sähkötyö vähenee työkohteessa. Urakan rajapintana ovat tällöin ulkoiset kaapeloinnit, maadoitukset ja sähköasemaan liittyvät viimeistelytyöt.

### **4.3 Sähköasema- ja energiavarastoprojekti**

Palveluntuottajalle osoitetun tarjouskyselyn mukana on esimerkkinä yksiviivaesityksenä esitetty pääkaavio sähköasemasta ja energiavarastosta. Kuviossa 9 esimerkkinä olevan pääkaavion esittämistapaa on muutettu poistamalla komponenttien nimellisarvoja ja sähkölaitteistojen viitetietoja.



KUVIO 9. Siirtoverkkoon liittymiseen rakennettava 110/20 kV sähköasema energiavarastoinen, periaatekuva pääkaaviosta yksiviivaesityksenä

Kuvion 9 mukaisessa projektissa sähköasema liittyy 110 kV:n siirtoverkkoon. Sähköasemalla on yksi 110 kV/20 kV tehomuuntaja ja 20 kV:n keskijännitekojeisto. 20 kV:n keskijännitekojeiston kaapelilähtökennoon liitetään teho- ja sovitusmuuntajana toimiva kolmekäämimuuntaja. Kolmekäämimuuntajan ensiöjännite on 20 kV.

Kolmekäämimuuntajalla on kaksi toisiokäämitystä, joissa toisiojännitteet ovat energiavaraston suuntaajalaitteistolle sopivat. Toisiojännitteet ovat alle 1000 V

AC, jotka määritetään suuntaajakäytölle suunnittelussa ja teknisissä tarkaste-  
luissa (Merus Power 2023).

Suuntaajalaitteisto toimii energiavarastona toimivan akuston lataamisessa muut-  
taen vaihtojännitteen tasajännitteeksi ja siirtäen energiaa sähköverkosta akus-  
toon. Akustosta siirrettävä energia muutetaan tasajännitteestä vaihtojännitteeksi  
ja tahdistetaan vaihtosähköverkkoon sopivaksi suuntaajalaitteistolla (Merus Po-  
wer 2023).

Energiavarastona toimiva akusto on tasajännitekäyttö, jonka kokonaisjännite on  
alle 1500 V DC. Tasasähköjärjestelmän suuret oikosulkutehot, energiavaraston  
sähköiset suojaukset ja sähköjärjestelmän sähköiset mitoitusasettavat akus-  
tojen kokoonpanoihin omat rajoitteensa. Tasasähköjärjestelmien energiavarastot  
asennetaan useammassa akustoyksiköissä (Merus Power 2023).

Kuvion 9 pääkaavioon kuuluvien sähkölaitteistojen lisäksi projekti sisältää maan-  
rakennustöitä, betoni- ja elementtirakentamista, maadoitusverkon asennuksia ja  
alueen apusähköjärjestelmien asennuksia.

#### **4.4 Projektitöiden yhteensovittamisen taustaa**

110/20 kV sähköaseman rakentamistyöt liittymisjohtoineen ja kojeistoineen ovat  
merkittävä osa projektia. Pääurakoitsijaksi valittu palveluntuottaja huolehtii säh-  
köasemaprojektissa työt suunnittelusta luovutukseen. Kokonaistoimituksessa  
pääurakoitsija huolehtii aliurakoiden valvonnasta ja yhteensovittamisesta projek-  
tissa. Kuvion 9 pääkaaviosta voidaan arvioida energiavarastoihin liittyvien val-  
mistelu- ja asennustöiden ajan olevan lyhyempi kuin sähköasematöiden. Ener-  
giavarastoon liittyvät työtehtävät voidaan jakaa osiin ja perustella niiden sopivan  
pääurakoitsijalle neuvoteltaviksi työtehtäviksi.

##### **4.4.1 Maanrakennus-, perustus- ja nostotyöt**

Suuntaajayksiköiden, sovitusmuuntajien ja energiavarastojen maanrakennus ja  
perustustyöt suoritetaan sähköasemarakentamisen yhteydessä. Tarvittavat pe-  
rustukset mitoitetaan ja asennetaan oikeaan sijoituspaikkaan ja korkeuteen.

Asennetaan tarvittavat kaapelireitit. Perustusasennuksien ja maantäyttöjen yhteydessä asennetaan maadoitusverkko, josta liitetään tarvittavat maadoitusjohtimet sähkölaitteistojen ja muiden johtavien osien suojamaadoitusjohtimiksi.

Maanrakentamisen ja perustustöiden jälkeen on asennusnostoja sähkölaitteistoille paljon esimerkiksi kappaletavaranoisturilla. Kuva 4 esittää projektityömaalla asemoitua tehdasvalmisteista sähkölaitteistoa.



KUVA 4. Sähkölaitteisto teollisuuskontissa ja perustuksille asennettuna

Energiavarastot, sovitusmuuntajat ja suuntaajyksiköt voidaan nostaa perustuksien päälle sähköasematöiden yhteydessä. Kuvan 4 sähkölaitteisto on asennettu perustuspalkkien päälle. Asennusympäristössä ja sähkölaitteiston rakenteissa huomioidaan mahdolliset ympäristöriskit, kuten sovitusmuuntajan eristysneste ja määrä. Öljyeristeinen sovitusmuuntaja asennetaan perustukselle, jossa on vuotoallas mahdollista öljyvuotoa varten.

#### 4.4.2 Kaapelointityöt

Kaapelointityöt 20 kV:n sähköasemakojeistolta energiavarastolle ovat seuraavat:

- 1) 20 kV keskijännitekaapelointi sähköasemakojeiston maakaapelilähdöstä teho- ja sovitusmuuntajalle.
- 2) Pienjännitekaapelointi vaihtosähköverkkoon sovitusmuuntajan ja suuntaajayksikön välillä.
- 3) Pienjännitekaapelointi tasasähköverkkoon suuntaajayksiköltä energiavara-  
rastolle.
- 4) Ohjaus-, mittaus- ja suojauskaapeloinnit
- 5) Tietoliikennekaapeloinnit.
- 6) Omakäyttösähköjärjestelmien kaapeloinnit.

Kaapelityypit vaihtosähköjärjestelmiin ovat samoja, kuin jakeluverkoilla ja teollisuusympäristöissä, 1 kV:n pääjännitteelle mitoitettuja. Suurivirtaisissa tasasähköjärjestelmissä käytettävällä johtimella on kaksoiseristys.

Energiavarastoihin liittyvät kaapelointityöt ovat samankaltaisia kuin sähköasemaprojektissa. Kaapelointityön määrä vaihtelee energiavarastoon liittyvien sähkölaitteiston erilaisissa kokoonpanoissa. Tehdasvalmisteinen, tiiviisti asemoitu ja teollisuuskonttiin yhdistelty kokonaisuus on rakennettu valmiiksi ilman ulkoisia kaapeliyhteyksiä. Erillisinä kontteina asennettavat ja liitettävät järjestelmät vastaavasti lisäävät kaapelitöitä projektissa. Kuvio 10 esittää yhtenäistä kokonpanoa energiavarastosta, joka muistuttaa pienehköä sähköasemaa.



KUVIO 10. Havainnekuva tehdasvalmisteisesta energiavarastosta sovitusmuuntajineen (Merus Power 2019)

### 4.4.3 Energiavaraston käyttöönotto

Energiavarastojärjestelmässä on apujärjestelmiä, kuten paristovahteja, valvonta- ja ohjausjärjestelmiä ja ilmanvaihtolaitteita. Energiavarastojärjestelmän toiminnan testaukset ja käyttöönotot suorittaa sähkölaitteiston valmistajan edustaja.

Energiavaraston ohjausjärjestelmän tarvitsemiin mittauksiin ja tahdistukseen osaksi julkista AC-verkkoa, suoritetaan tehollinen käyttöönotto jakeluverkon- tai siirtoverkon haltijan sääntöjen mukaisesti. Verkonhaltijalla on oltava ajantasainen tieto hajautettuun tuotantoon liittyvistä sähköverkkoon kytketyistä sähkölaitteistoista (Adato Energia Oy 2024).

### 4.5 Riskin arviointi energiavarastojärjestelmien sähkötöissä

Energiavarasto perustuu akustoihin. Luvuissa 3.6 ja 4.3 kerrotaan tasasähköjärjestelmien sähköisistä vaaroista ja sähköisistä ominaisuuksista. Energiavarastojen akustoissa on suuret oikosulkuvirrat. Esimerkkinä laitevalmistajan akustoyksikön oikosulkuvirrat ovat 16 ... 22 kA (Merus Power 2023).

Työmenetelmät akustojen asennus-, tai muutostöissä valitaan estämällä oikosulun mahdollisuus. Työkalusto, työmenetelmät ja suojarusteet valitaan akustokonaisuuden ja riskiarvion mukaan. Akustotöihin palveluntuottajalla on yhtiökohtainen ohjeistus, joka toimii työn riskinarvion ja työn esisuunnittelun pohjana. Lisäksi vastuullisella akkuvalmistajalla on turvallisuus- ja työmenetelmäohjeet akustojen oikeaan asentamiseen ja käsittelemiseen.

Suljetuissa tiloissa huolehditaan riittävästä ilmanvaihdosta. Ympäristön lämpötila ja akustotyypistä riippuvat mahdolliset varauskaasut on huomioitava sähkötöiden aikana.

AC-järjestelmien asennukset suoritetaan SFS 6002 sähkötyöturvallisuusstandardin luvun 6.2 mukaisesti jännitteettömänä. Jännitteestä erottamisen, lukitsemisen ja merkitsemisen jälkeen suoritetaan käyttöjännitteettömyyden toteaminen. Yli 1000 V AC-järjestelmissä asennetaan tarvittavat työmaadoitukset työskentelyn ajaksi (SFS 6002).

## 5 SÄHKÖISTYVÄ LIIKENNE JA SÄHKÖN LAATU

### 5.1 Sähköinen liikenne

Sähköisen liikenteen kokonaisuus on merkittävää liiketoimintaa. Teknologiaan kuuluu latausinfraan rakentamista, latauspalveluliiketoimintaa, huoltotoimintaa, energialiiketoimintaa, liikkumisen palveluita ja autokauppaa (Teknologiateollisuus ry. 2024).

Teknologiateollisuuden sähköisen liikenteen toimialayhdistyksen tavoitteet ovat seuraavat:

1. *Liikenteen keskeisin käyttövoima on sähkö*
2. *Päästötön ja hiilineutraali henkilöliikenne vuoteen 2045 mennessä*
3. *Energiajärjestelmän tukeminen ja älykäs sähköautojen lataus*
4. *Puhtaampi kaupunkiliikenne (Teknologiateollisuus ry. 2024).*

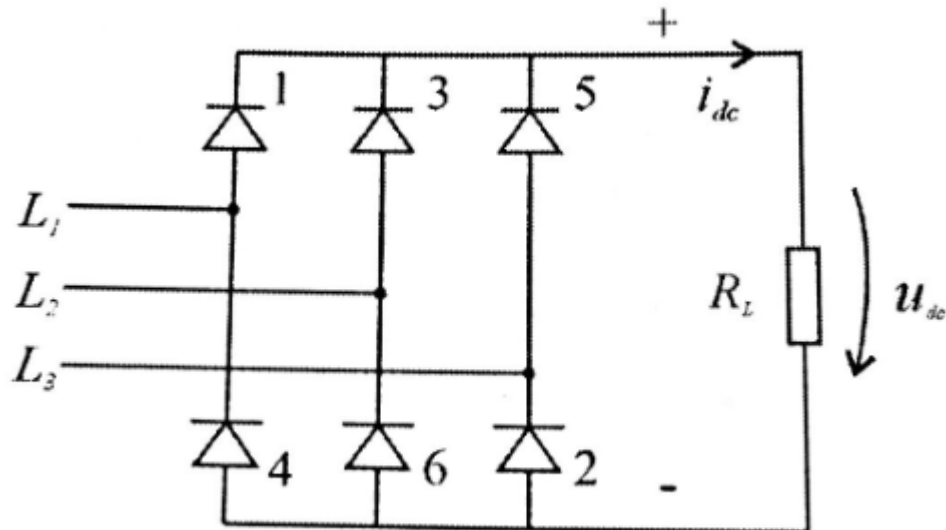
Euroopan laajuisella liikenneverkolla edistetään ihmisten ja materiaalien kestävästä liikkumisesta jäsenmaista toiseen sujuvasti. Liikenneverkosta käytetään lyhennettä TEN-T (Trans European Network – Transport) (Väylävirasto 2024).

Tieverkon latauskentät tuovat jakeluverkkoihin investointeja tulevina vuosina. Esimerkkinä Elenia Verkko Oyj:n jakeluverkkoalueella vuoteen 2035 mennessä investoidaan 14 kpl latauskenttiä, yhteisteholtaan 49 MW. Investoinnit sisältävät henkilö- ja pakettiautojen latauskentät sekä raskaan liikenteen latauskentät (Elenia Oyj 2023).

### 5.2 Sähköautojen latauspisteet

Sähköautojen latauspisteiden asentaminen on palveluntuottajalle tuttua liiketoimintaa. Kokemuksia on esimerkiksi Teslan suurteholatausasemien asennuksista. Enimmäisteho Teslan suurteholaturilla on 250 kW ja usealla latausasemalla on 8 ... 12 kpl sähköteholtaan 250 kW:n latauspisteitä (TESLA 2024).

Tasasähkölataukseen perustuvassa järjestelmässä jakeluverkon vaihtojännite muutetaan tasajännitteeksi tasasuuntaussillalla, joka yksinkertaisimmillaan on kuviossa 11 esitetty 6-pulssisuuntaajana tunnettu diodisilta.



KUVIO 11. 6-pulssisuuntaajasilta (Hietalahti 2011)

Usealla suomalaisella latausasemalla käytetään 6-pulssisuuntaajaan perustuvaa lataustekniikkaa. Kaupunkiverkoissa ja maaseutuverkoissa on havaittu myös ongelmia muuntopiireissä, joissa on pienjännitekuluttajia ja sähköautojen latauspisteitä käytössä.

### 5.3 Sähköautojen latauspisteiden aiheuttama sähköinen häiriö

Suomalaisessa sanomalehdistössä käytiin keskustelua vuoden 2023 aikana induktiolieden toimimattomuudesta sähköautojen latauksen aikana. Lieden käyttäjällä on pienjänniteliittymä ja samassa muuntopiirissä on sähköautojen latausasema. Asiakkaan induktioliesi tutkittiin ja vaihdettiin takuun perusteellakin uuteen, muttei ongelma poistunut (Kaleva 2023).

Jakeluverkkoyhtiö Elenia Verkko Oyj:n toimesta alueella suoritettiin muuntopiireissä muutoksia. Induktiolieden toimintahäiriöt loppuivat, kun asiakkaan pienjänniteliittymä siirrettiin toiseen muuntopiiriin. Pienjänniteasiakas ja latausasema olivat muutoksen jälkeen eri muuntopiireissä (Ilta-Sanomat 2024).

Sähköauton latausasemalla tasasuuntauskäyttö vaikutti muuntopiirin vaihtojänniteverkkoon, jolloin pienjänniteasiakkaan induktioliesi ei toiminut oikein. 6-pulssi-suuntaajalla ja ilman verkkosuodattimia varustettu latauskäyttö muodosti harmonisia yliaaltovirtoja, jotka säröyttävät verkkojännitettä. Säröytynyt jännite ilmenee koko muuntopiirin pienjännitteessä, jolloin asiakaslaitteistoissa voidaan havaita toimintahäiriöitä tai sähkölaitteistojen rikkoutumisia.

SFS-EN 50160-standardi ”Yleisestä jakeluverkosta syötetyn sähkön jänniteominaisuudet” määrittelee suurimman jännitteen kokonaissärön asiakkaan liittymispisteessä olevan 8 %. Useammat latauskäytöt voivat ylittää jännitteen 8 %:n kokonaissäröarvon (Ilta-Sanomat 2024).

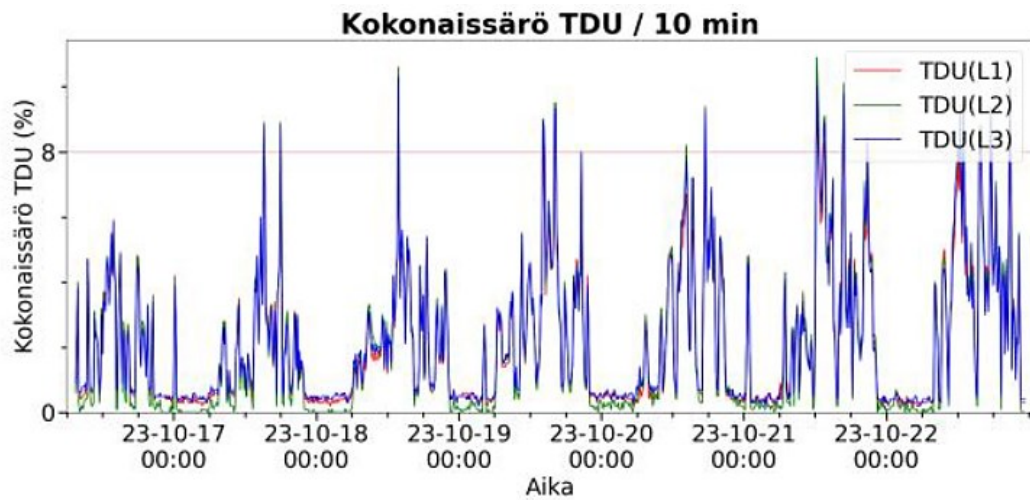
Sähkövoimatekniikan professorin Pertti Järventaustan mukaan latauksen teho ei häiriöiden ilmenemisessä ole olennaista. Jakelujännitteen säröytyminen on riippuvainen elektroniikasta, jolla sähköauto käsittelee lataamista. Sähköverkon siirtokapasiteetin sijaan jännitteen säröytymisen ongelmat voivat tulla esille nopeammin kuin tehonsiirtokapasiteetin riittävyys sähköautojen lataukselle (Ilta-Sanomat 2024).

#### **5.4 Sähkön laadun mittaukset ja tuloksien analysointi**

Sähköautojen suurteholatureiden yliaaltojen hallitsemiseksi tarvitaan sähkön laadun mittauksia ja tuloksien analysointia mahdollisten toimenpide-ehdotuksien esittämiseksi. Eri valmistajilla ja sähköautomalleissa latauksien aikainen sähköverkon yliaaltopitoisuus voi vaihdella paljon. Tasasähkölataussovellusten tehot henkilöautoille tarkoitetuissa latureissa vaihtelevat esimerkiksi välillä 50 ... 350 kW. Vaihtojännitepuolen verkkoliitäntä perustuu esimerkiksi diodisiltaan tai IGBT-transistoreihin (Pakonen 2024).

Yliaaltojännitteiden tasoja asiakkaan liittymiskohdassa verrataan SFS EN 50160-standardiin. Sähkön laatusuureiden laskennassa käytetään IEC 61000-4-30-standardin määrittelyitä. Mittaukset ovat pitkäaikaismittauksia, jotka asennetaan asiakaspalautteen perusteella kohteen sähköverkkoon. Laatumittaukseen soveltuu esimerkiksi kuvassa 5 esitetty MX Electrix Oy:n valmistama eQL laatuvahti, joka voidaan asentaa energiamittauksen yhteyteen (Electrix 2024).

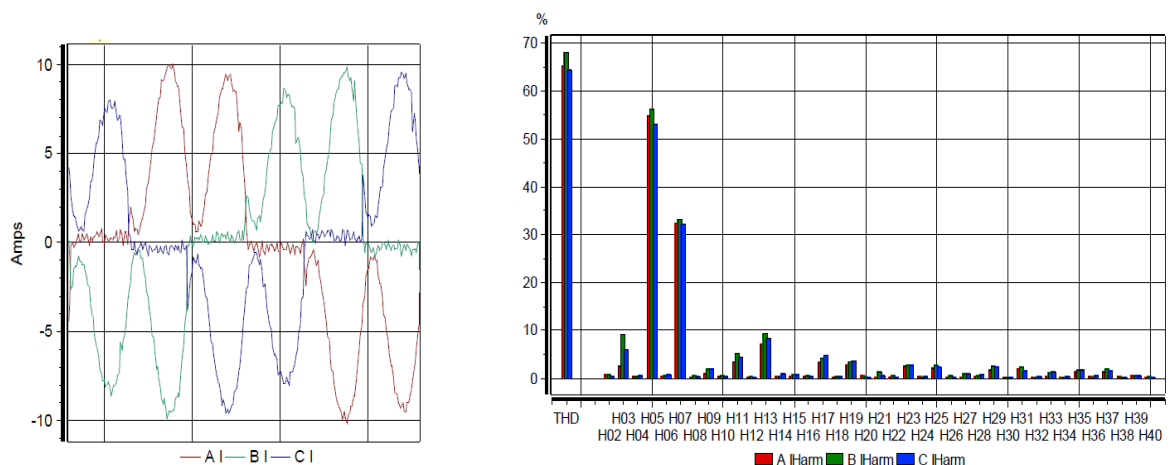




KUVIO 12. Jännitteen kokonaissärön mittaus, raja-arvo kokonaissärölle 8 % (Elenia 2024).

Jännitteen ja virran aaltomuodot sekä nopeat muutokset voidaan mitata rekisteröivällä sähkön laatu- ja häiriöanalysointilaitteella. Sähköverkon tilan analysointi helpottuu ja aaltomuodoista voidaan usein päätellä sähkölaitteiston tekninen toteutus, kuten suuntaajasillan käyttö.

Kuvion 13 mukaisesti harmonisten yliaaltovirtojen tasot ovat suurimmat 5. ja 7. harmoninen yliaaltovirta, taajuuksina 250 Hz ja 350 Hz. Aaltomuodot ja FFT-muunnos ovat tärkeitä häiriöiden ja ilmiöiden etsimisessä sekä selvittämisessä.



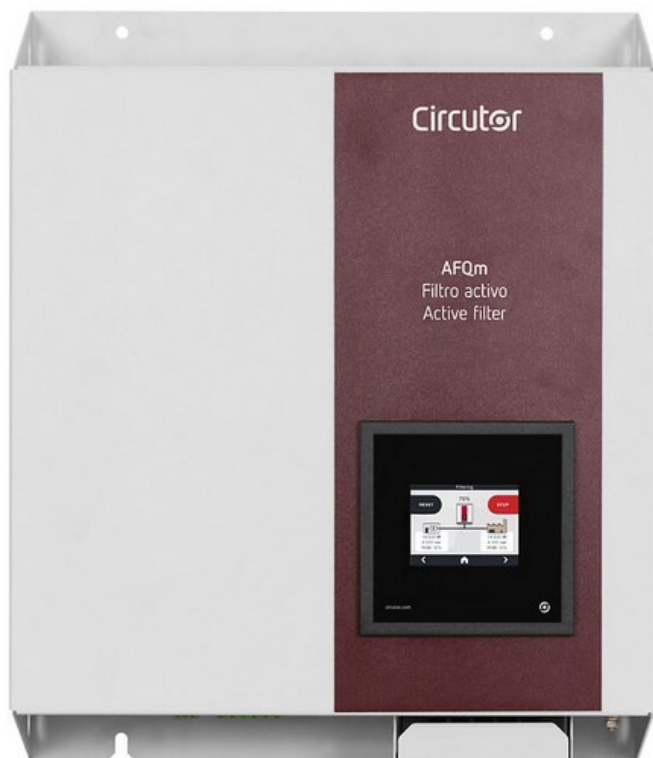
KUVIO 13. Tasasuuntauksessa käytetyn 6-pulssisillan vaihevirtojen aaltomuodot ja harmonisten yliaaltojen jakauma FFT-muunnoksena (Pakonen 2024).

## 5.5 Häiriöiden rajoittaminen ja ratkaisuehdotukset laatumittauksien perusteella

Lehdistössä julkisuutta saanut häiriötapaus ratkaistiin siirtämällä häiriötä aiheuttava sähkölaitteisto ja häiriintyvä sähkölaitteisto eri muuntopiireihin. Häiriötä voidaan rajoittaa riittävällä yliaaltosuodatuksella tai suuntaajatekniikkaan panostamalla. Esimerkkinä 6-pulssisillat ovat olleet yleisiä hitsauslaitteissa, joiden aiheuttamat yliaaltopitoisuudet ovat olleet tiedossa useampia vuosikymmeniä.

Sähkölaitteiston valmistajalle ja sähkökäyttäjälle saadaan luotettava reklamaatio sähkön laatu- ja häiriömittauksen avulla. Lehti-artikkelissa professori Pertti Järventausta kertoo yliaaltosuodattimista, jotka rajoittavat yliaaltoja sähköverkoissa. Yliaaltosuodattimet ovat arvokkaita, mutta teollisuuden sähkökäytössä yleisiä (Ilta-Sanomat 2024).

Kuvassa 6 esitetty aktiivisuodatin valitaan sähkölaitteiston suodatettavan kuormitusvirran perusteella. Aktiivisuodattimella rajoitetaan yliaaltovirtoja, kompensoidaan tarvittavaa loistehoa ja tasapainotetaan mahdolliset vaiheiden epäsymmetriajännitteet (UTU 2024).



KUVA 6. Aktiivisuodatin pienjänniteverkkoon (UTU 2024).

Ensisijaisesti sähkölaitteiston valmistajan on huomioitava sähkölaitteiston ja sähköverkon yhteensopivuus. Häiriö- ja reklamaatiotilanteissa sähkölaitteiston käyttöä rajoitetaan tai sähkölaitteiston käyttö voidaan kieltää. Laitekohtaisten suodattimien tai tekniikan kehittäminen häiriöttömäksi on tärkeää. Asiakasneuvonta, suodattimien tai kompensointilaitteistojen asentaminen sekä käyttöönotto sähkölaitteistojen häiriötilanteissa ovat ehdotuksia palveluntoimittajan liiketoimintojen kehittämisessä.

## 5.6 Riskin arvio sähkölaitteistojen mittaustyössä

Sähköautojen suurteholatauksia varten asennetaan jakelumuuntamoita, joissa yksittäisen 20/0,4 kV:n jakelumuuntajan näennäisteho on esimerkiksi 1250 kVA. Oikosulkuvirrat  $I_k$  pienjänniteverkossa voivat olla kymmeniä tuhansia ampeereita.

Sähköautojen latausasemalla on toukokuussa 2024 uutisoitu valokaaresta johtunut sähköasentajan loukkaantuminen ja sähköisku. Vioittunut latausasema oli

kytketty käyttöjännitteettömäksi toisen paikalle hälytetyn sähköasentajan toimesta (YLE 2024).

Pienjännitekeskuksessa tai jakokeskuksessa työskentelyssä on huomioitava sähköiseen suojaukseen liittyvät riskit. Esimerkiksi jakelumuuntajan pienjännitenapojen ja pienjännitekeskuksen välisessä kaapeloinnissa ei ole suojaavia sulakkeita, jolloin sähköinen suojaus on keskijänniteverkossa jakelumuuntajan 20 kV:n varokekuormanerotimella. Riskinä ovat suojauksen hidas toiminta, suojauksen toimimattomuus sekä suuret oikosulkutehot (Adato Energia Oy 2024).

Sähkön laatuun ja tehonselvityksiin käytettävien mittalaitteiden asentaminen suoritetaan usein käyttöjännitteisten osien läheisyydessä ja erilliset mittapäät asennetaan kiinni käyttöjännitteisiin osiin pienjänniteverkossa. Käyttöjännitteisten mittausten vuoksi on varmistuttava henkilöturvallisuudesta suojavälineillä, työjärjestelyillä ja oikein valituilla mittausvälineillä (Adato Energia Oy 2024).

Hetkellis- ja tarkastusmittaukset suoritetaan käyttöjännitteisten osien läheisyydessä. Tällaisia ovat esimerkiksi kuormitusvirran mittaukset, jännitteen mittaukset ja vaiheistusmittaukset. Jännitteen mittaukseen hetkellis- ja pitkäaikaismittauksessa on mittajohdot tai mittapäät varustettava ylivirtasuojalla. Riviliittimiltä ja sähkölaitteistossa olevilta ylivirtasuojilta jännitteen mittaus on turvallisinta. On myös sähkölaitteistoja, joissa työmenetelmät vaativat sähköisiä lisäsuojauksia.

Kuvassa 7 esitetyt sulakkeelliset mittapäät ovat CAT IV-luokitellut 600 V AC ja CAT III-luokitellut 1000 V AC. Sulakesuojaus lisää sähkötyöturvallisuutta mittalaitteiden ylijänniteluokituksen ja sähkölaitteistojen sähköisten suojauksien lisäksi (Yleiselektroniikka 2024).



KUVA 7. Sulakkeelliset mittapäät (Yleiselektronikka 2024).

Mittaajan turvallisuus on varmistettu myös sulakkeen rikkoutumisen jälkeen. Esimerkiksi yleismittari osoittaa jännitelukeman, joka poikkeaa nimellisestä käyttöjännitteestä. Tällöin mittaja ymmärtää sähkölaitteistossa olevan jännitteen, mutta erikoisen jännitetuloksen vuoksi mittaja tutkii mittapäiden sulakkeiden ehjyyden ennen töiden jatkamista (Yleiselektronikka 2024).

Sähkötyöturvallisuusstandardin SFS 6002 kohdassa 5.3.1.4 mittauksissa veloitetaan noudattamaan jännitteettömänä työskentelyn, jännitetyön tai jännitteisten osien läheisyydessä työskentelyn sääntöjä. Sähkölaitteistojen ja työympäristöjen mukaisesti valitaan työmenetelmä riskin arvioinnin mukaisesti (SFS 6002).

## 6 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä selvitettiin sähköalan palveluntuottajayritykselle uusia liiketoiminta-ajatuksia. Palveluntuottajayrityksen liiketoiminta kattaa kantaverkon sähköasemien rakennusprojektit, jakeluverkkoprojektit ja teollisuusverkkoprojektit. Energiamurros on lisännyt hajautettujen energiantuotantolähteiden investointeja julkiseen sähköverkkoon. Uusi teknologia sähköverkoissa luo mahdollisuuksia perinteisen sähköalan palveluntuottajayrityksen liiketoimintojen kehittämiseen. Uusiutuvan energiantuotannon teknologian rakennusteknisillä ja sähköteknisillä toteutuksilla on yhteneväisyyttä perinteiseen sähköasemarakentamiseen.

Aurinkosähköjärjestelmien asennusympäristön sään vaihtelu on tuttu asia sähköasemarakentamisesta. Teräsrakenteiden pintakäsittelyn ja korroosiosuojauksen on kestävä useita kymmeniä vuosia. Materiaalivalmistajat ovat vastanneet kysyntään valmistamalla aurinkopaneelille sopivia teräsrakenteita. Tehdasvalmisteiset teräsrakenteet yhdenmukaistavat aurinkopaneelitelien rakentamista.

Aurinkosähköjärjestelmien kaapeloinneissa ja paloturvallisuudessa on ollut ongelmia ja osaamattomuutta. Turvallisuus- ja kemikalioviraston valvontaraportissa on esitetty asennusvirheitä, joiden perusteella voidaan ohjeistaa aurinkopaneelien kaapeloinnin oikeanlaisia asennustapoja. Aurinkosähköjärjestelmien asentoihin järjestetään myös koulutusta. Opinnäytetyössä on viitattu Valkeakosken ammattiopistolle rakennettuun aurinkosähköjärjestelmien oppimisympäristöön. Oppimisympäristössä suoritettavat harjoitukset palvelevat sähköasennusyrityksien työntekijöiden opiskelua turvallisiin ja laadukkaisiin sähköasennuksiin.

Aurinkosähköjärjestelmien asentaminen ja käyttöönotto vaativat tasasähköjärjestelmän ymmärtämisen lisäksi perehdytystä. Sähköturvallisuudessa on huomioitava tasasähköjärjestelmän käyttöjännitteisyys. Aurinkosähköjärjestelmien käyttöönottotarkastuksissa on huomioitava riittävä CAT-turvaluokitus mittalaitteiden ja mittausvälineiden valinnassa. Aurinkosähköjärjestelmien käyttöönottomittaukset ja käyttöönottotarkastukseen valmistettu mittalaite perustuvat tasasähköjärjestelmään. Aurinkosähköjärjestelmien täydentävät käyttöönottotarkastukset kuuluvat standardiin SFS 62446-1.

Aurinkosähköjärjestelmän rakentaminen osana sähköasemaprojektia laajentaa palveluntuottajayrityksen liiketoimintaa. Sähköasemiin liitettävät suuret aurinkosähköjärjestelmät ovat jatkumoa asiakkaan sähköasemaprojektiin. Kokemus tasa- ja vaihtosähköjärjestelmistä eri jännitetasoilla auttaa uuden liiketoiminnan aloittamisessa. Ulkoasennustyöt kuuluvat sähköasemarakentamiseen ja aurinkosähköjärjestelmien rakentamiseen. Perustustyöt, mekaaniset terästyöt ja sähköasennukset ovat omaksuttavissa sähköasemaprojektien osaamisesta aurinkosähköjärjestelmien asennuksiin. Tehoelektroniikan sähkökäyttöjen ja relesuojauksien osaaminen ovat sähkölaitteistojen valmistajilla.

Sähköiset energiavarastot ovat osana sähköasemaa. Palveluntuottajalle on osoitettu tarjouskyselyitä, joissa sähköisten energiavarastojen valmistaja pyytää tarjousta sähköaseman rakentamisesta. Projektissa urakkaraja on rajattu 20 kV keskijännitekojeistoon ja tarjouskyselyssä sähkölaitteistojen valmistajalle kuuluu sähköisten energiavarastojen asennukset suuntaajakäyttöineen ja kaapelointeineen.

Sähköisen energiavaraston asennukset laajentavat palveluntuottajan liiketoimintaa tarjoamalla laajempaa kokonaisuutta sähköasemaprojektiin. Akkukonttien, korotusmuuntajien, vaihtosuuntaajien asennukset, perustustyöt ja kaapeloinnit onnistuvat palveluntuottajayrityksen henkilöstöltä. Sähkölaitteiston käyttöönotto ja suojaustekniset työt ovat sähkölaitteistojen valmistajilla.

Sähkötyöturvallisuudelle asettavat vaatimuksensa suuret oikosulkuvirrat sisältävät akustot. Akuston asennustöiden aikana on estettävä oikosulun mahdollisuus ja huomioitava akuston varausjännitteet. Työkalusto, työmenetelmät ja suojavausteet on valittava akustokokonaisuuden ja riskiarvion mukaan. Akuston asennustyöt suoritetaan yhtiökohtaisen ohjeistuksen mukaisesti, joka toimii työn riskinarvion ja työn esisuunnittelun pohjana. Vaihtosähköjärjestelmien luotettava erotus, käyttöjännitteettömyys ja tarvittava työmaadoitus suoritetaan SFS 6002 sähkötyöturvallisuusstandardin luvun 6.2 mukaisesti.

Sähköinen liikenne lisää investointeja julkisiin sähköverkkoihin. Jakeluverkkoyhtiöt rakennuttavat sähköverkkoja sähköautojen latausasemia varten. Palveluntuottajayrityksellä on kokemusta sähköautojen latausasemien rakentamisesta.

Latausasemissa käytettävä lataustekniikka vaihtelee eri laitteistovalmistajien välillä. Esimerkkinä 6-pulssisuuntaajasiltaan perustuva sähköauton latauslaite aiheutti jakeluverkon muuntopiirissä toisen pienjänniteasiakkaan sähkölaitteiston toimintahäiriötä. Sähkölaitteiston valmistajan on huomioitava sähkölaitteiston ja sähköverkon yhteensopivuus.

Sähkölaitteistojen toimintaan liittyvät häiriöt ja sähkölaitteistojen yhteensopivuus jakeluverkossa voidaan todentaa sähkön laatu- ja tehomittauksin. Mittauksien perusteella jäljitetään mahdollinen häiriönaiheuttaja. Mittaustuloksien avulla esitetään ratkaisuehdotukset häiriöiden poistamiseksi. Häiriöiden poistaminen tarkoittaa sähkölaitteiston häiriösuodatuksen parantamista tai erillisen suodattimen asentamista sähköliittymälle.

Mittaustöiden sähkötyöturvallisuudessa on huomioitava käyttöjännitteiset sähkölaitteistojen osat, joihin laatumittaukset asennetaan. Pienjänniteverkossa jakelumuuntajan näennäisteho voi olla esimerkiksi 1250 kVA ja oikosulkuvirrat kymmeniä tuhansia ampeereita. Sähkölaitteiston ja pienjänniteverkon mittauspaiikka voi olla ilman ylivirta- tai oikosulkusuojaa, kuten jakelumuuntajan pienjännitenapojen ja pienjännitekeskuksen välisessä kaapeloinnissa. Mittauksissa on käytettävä ammattikäyttöön tarkoitettuja mittalaitteita ja mittausvälineitä.

Sähköauton latausaseman toiminta sähköisenä häiriölähteenä on esimerkki sähkölaitteiston yhteensopivuusongelmasta julkisessa sähköverkossa. Sähköisten häiriöiden mittaaminen ja tuloksien tulkitseminen ovat asiakasneuvontaa parhaimmillaan. Jatkotoimenpiteet sähkön laatu- ja tehonselvityksien perusteella ovat teknisten ratkaisujen tarjoaminen asennuksineen ja käyttöönottoineen asiakkaille.

Hajautetun energiantuotannon ja sähköisen liikenteen liiketoiminta-ajatukset ovat mahdollisia palveluntuottajayritykselle. Osaaminen sähköasema- ja jakeluverkoprojekteista luo perustan liiketoiminnan kehittämiseksi uusiutuviin energialähteisiin. Pääurakoitsijana toimiminen esimerkiksi sähköasema- ja energiavarasto-projektissa onnistuu. Urakkarajan siirtäminen sähköasemasta myös energiavaraston osuuteen laajentaa palveluntuottajayrityksen toimintaa ja mahdollistaa toimintaedellytyksiä osana kehittyviä julkisia sähköverkkoja.

## LÄHTEET

Adato Energia Oy 2024. SFS 6002 Sätky Koulutus, luentomateriaali 2024. Viitattu 25.5.2024.

AMDC 2024. AMDC Energy Limited Battery Energy Storage Systems. Verkkosivu. Viitattu 30.5.2024. <http://www.amdcenergy.com/battery-energy-storage-system.html>

Celltech 2023. Celltechin energiavarastoilla tasapainoa ja huoltovarmuutta sähköverkkoon. Verkkosivu. Viitattu 27.5.2024. <https://celltech.fi/uutiset/celltech-energiavarastot/>

Fluke-yhtiöt CAT-luokitukset. Guide to digital multimeter safety 1995-2014. Mitä yleismittareiden CAT-luokitukset tarkoittavat? Verkkosivu. Viitattu 1.4.2024. <https://www.fluke.com/fi-fi/lue-lisaa/blogi/turvallisuus/yleismittari-opas#multimeter-cat-ratings>

Fluke-yhtiöt CAT III. Miksi aurinkoenergiajärjestelmien asennuksessa kannattaa käyttää CAT III -luokiteltua mittaria? Verkkosivu. Viitattu 1.4.2024. Miksi aurinkoenergiajärjestelmien asennuksessa kannattaa käyttää CAT III -luokiteltua mittaria?

Fluke-yhtiöt SMFT-1000. SMFT-1000, Aurinkoenergia-asennustesteri ja IV-käyrän piirto. Verkkosivu. Viitattu 1.4.2024. [https://dam-assets.fluke.com/s3fs-public/flk-220566-fi-naam-SMFT-1000-ds-w.pdf?yuvtKi.B7B5e25UDdLCZP3u3YO6sBav\\_](https://dam-assets.fluke.com/s3fs-public/flk-220566-fi-naam-SMFT-1000-ds-w.pdf?yuvtKi.B7B5e25UDdLCZP3u3YO6sBav_)

Electrix 2024. MX Electrix Oy, eQL Laatuvahti 3. Verkkosivu. Viitattu 21.4.2024. <https://www.electrix.fi/eql-laatuvahti>

Elenia Oy 2023. Hälvä Vesa. Energiamurros sähköverkkoyhtiön näkökulmasta. Opintomoniste TAMK YAMK. 28.4.2023.

Elenia 2024. Peräsalo Ari. Sähköautojen suurteholatauksen aiheuttama jännitesärö. Elenia Verkko Oy. Sähkön laadun hallinta-asiantuntijaseminaariesitys, 15.2.2024. Viitattu 21.4.2024.

Hietalahti 2011. Hietalahti Lauri, Tehoelektroniikan perusteet. Tammertekniikka 2011.

Ilta-Sanomat 2024. Perheen naapuriin rakennettiin ABC:n latausasema – sitten kotona alkoi tapahtua kummia. Lehtiartikkeli 12.4.2024. Viitattu 21.4.2024.

Kaleva 2023. Lakkasiko liesi toimimasta, kun Nelostien varteen tuli sähköautojen latausasema? Liikenteen sähköistymien laittaa sähköverkon koville. Lehtiartikkeli 29.12.2023. Viitattu 21.4.2024.

Korpela 2023. Korpela Aki, Energiamurroksen vaikutukset sähköenergiajärjestelmään. Tampereen ammattikorkeakoulu. Älykkään uusiutuvan energiantuotannon ylempi tutkinto-ohjelma. Luentoesitys 7.2.2023. Viitattu 15.6.2024.

MEKA 2024. Pintakäsittely ja korroosioluokitus. Verkkosivu. Viitattu 30.3.2024. <https://meka.eu/fi/pintakasittely-ja-korroosioluokitus/>

MEKA Nordic PV System 2024. Maa-asennusjärjestelmä aurinkopaneeleille. Verkkosivu. Viitattu 30.3.2024. [https://meka.eu/wp-content/uploads/2024/01/Solar-Nordic-PV-system-FI\\_v1.pdf](https://meka.eu/wp-content/uploads/2024/01/Solar-Nordic-PV-system-FI_v1.pdf)

MEKA Solar Nordic PV System 2024. Meka Solar Nordic PV System tekniset tiedot ja asennusohjeet. Viitattu 30.3.2024. <https://meka.eu/wp-content/uploads/2024/03/Meka-Solar-Nordic-PV-System-asennusohje-1.0.pdf>

Merus Power 2023. Merus Power Company, Merus ESS YAMK lecture. Markus Ovaskainen. YAMK-luento ja luentomateriaali 24.2.2023. Tampereen Ammatti-  
korkeakoulu.

Merus Power 2019. Merus Power Company, Energy Storage Solutions, Aki Leinonen. Sähkön laadun hallinta-seminaariesitys 8.2.2019.

NREL 2016. National Renewable Energy Laboratory. Facility-Scale Solar Photovoltaic Guidebook. Viitattu 14.4.2024. <https://www.nrel.gov/docs/fy16osti/67122.pdf>.

Pakonen 2024. Pakonen Pertti, Sähköautojen suurteholatureiden yliaaltopäästöjen hallinta, Tampereen yliopisto. Sähkön laadun hallinta-asiantuntijaseminaariesitys, 15.2.2024. Viitattu 21.4.2024.

Seppälä 2024. Seppälä Sampo, Aurinkosähköjärjestelmien opetuksen kehittäminen Valkeakosken ammattiopistossa. Tampereen ammattikorkeakoulu. YAMK-opinnäytetyö. Viitattu 15.06.2024. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/856899/Seppala\\_Sampo.pdf](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/856899/Seppala_Sampo.pdf)

SFS 6002. Sähköturvallisuus SFS 6002:2015 + A1:2018. SFS Suomen Standardit 2018.

Solarigo Systems Oy 2022. Aurinkovoimalan sähkösuunnittelu ja sähköasennus. Verkkosivu. Viitattu 30.3.2024. <https://www.solarigo.fi/post/aurinkovoimalan-sahkosuunnittelu-ja-asennus>

Sonepar Suomi Oy 2024. Turvallisuus ennen kaikkea. Verkkosivu. Viitattu 1.4.2024. <https://ideat.sonepar.fi/turvallisuus-ennen-kaikkea/>

Sähköinfo Severi 2024. ST 55.36 Aurinkosähköjärjestelmän käyttöönottotarkastuspöytäkirja.

Sähkötieto ry. ST-käsikirja 40. Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu ja toteutus. 3. uudistettu painos. Espoo 2023.

Teknologiateollisuus ry. 2024. Sähköinen liikenne, Toimialayhdistyksen tavoitteet. Verkkosivu. Viitattu 21.4.2024. <https://jasenille.teknologiateollisuus.fi/toimialat/sahkoinen-liikenne/>

Teräsrakenneyhdistys 2014. Kuumasinkittyjen rakenteiden käyttöikä. Verkkosivu. Viitattu 30.3.2024. [https://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/221/1ba5d4e/Kuumasinkittyjen\\_terasrakenteiden\\_kayttoika\\_2014\\_09.pdf](https://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/221/1ba5d4e/Kuumasinkittyjen_terasrakenteiden_kayttoika_2014_09.pdf)

TESLA 2024. Tesla Supercharger. Verkkosivu. Viitattu 21.4.2024. [https://www.tesla.com/fi\\_fi/supercharger](https://www.tesla.com/fi_fi/supercharger)

TUKES 2023. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. Aurinkosähköjärjestelmien asennuksissa tehdään paljon virheitä. Mediatiedote 5.7.2023. Verkkosivu. Viitattu 20.1.2024. <https://tukes.fi/-/aurinkosahkojarjestelmien-asennuksissa-tehdaan-paljon-virheitä>

TUKES 2023, loppuraportti. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. Aurinkosähköjärjestelmien asennustyön vaatimustenmukaisuus. DNRO 13137/02.03.03/2022. Verkkosivu. Viitattu 7.4.2024. <https://tukes.fi/documents/5470659/6372805/Aurinkos%C3%A4hk%C3%B6projektin+loppuraportti.pdf/b853e984-692e-1f9a-0812-f191d734a1ff/Aurinkos%C3%A4hk%C3%B6projektin+loppuraportti.pdf?t=1688461202250>

TUKES 2023, Liite 2. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. Liite 2. raporttiin Aurinkosähköjärjestelmien asennustyön vaatimustenmukaisuus. Ammattitaidottomuutta vai sähköturvallisuuden vaarantavaa vastuutonta välinpitämättömyyttä? Verkkosivu. Viitattu 20.1.2024. <https://tukes.fi/documents/5470659/6372805/Valokuvaliite+aurinkos%C3%A4hk%C3%B6projektin+loppuraporttiin.pdf/6f51034e-090d-2dd8-f9c7-a9cf04e5cc45/Valokuvaliite+aurinkos%C3%A4hk%C3%B6projektin+loppuraporttiin.pdf?t=1688461306234>

UTU 2024. UTU-konserni. Aktiivisuodatin AFQm -4WF-030M-400. Verkkosivu. Viitattu 21.4.2024. <https://www.utugroup.com/fi/tuotteet/aktiivisuodatin-afqm-4wf-030m-400#downloads>

Väre. 2020. Miten aurinkopaneelit toimivat? Verkkosivu. Viitattu 20.1.2024. <https://vare.fi/yrityksille/aurinkopaneelit/miten-aurinkopaneelit-toimivat/>

Väylävirasto 2024. Euroopan laajuinen liikenneverkko TEN-T. Verkkosivu. Viitattu 21.4.2024. <https://vayla.fi/vaylista/liikennejarjestelma/tent>

YLE 2024. Yleisradio Oy. Sähköasentaja loukkaantui valokaaresta autojen laatuspisteellä Oulussa. Verkkosivu. Viitattu 25.5.2024. <https://yle.fi/a/74-20089243>

Yleiselektroniikka 2024. Fluke FTP-sulakkeelliset mittapäät. Verkkosivu. Viitattu 25.5.2024. <https://www.yeint.fi/mittaus-ja-testaus/mittajohdot-ja-mittapaat/mittapaat/sulakkeelliset-mittapaat>

ZHS 2020. Zero Hertz Systems. Kokemuksia jakeluverkkoakuston verkkoliitynnän toteutuksesta ja keskijänniteverkon saarekekäytöstä. Luentomateriaali 10-14.2.2020. Sähkön laadun hallinta 2020.

**LIITTEET**

Liite 1. ST 55.36 Aurinkosähköjärjestelmän käyttöönottotarkastuspöytäkirja.  
Sähköinfo Oy 2023.



## AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN KÄYTTÖNOTTOTARKASTUSPÖYTÄKIRJA

Huom. Ohje löytyy tulosteen lopusta.				
Pöytäkirjan nro				
<b>PERUSTIEDOT</b>				
Sähkölaitteiston rakentaja	Yritys			
	Katuosoite	Postinumero	Postitoimipaikka	
Sähkölaitteiston rakentajan yhteyshenkilö	Nimi		Puhelinnumero	
	Sähköpostiosoite			
Sähkötöiden johtaja	Nimi		Puhelinnumero	
	Sähköpostiosoite			
Kohteen tiedot	Nimi		Työnumero	
	Kohteen yksilöinti			
	Katuosoite	Postinumero	Postitoimipaikka	
Tilaaaja	Yritys			
	Katuosoite	Postinumero	Postitoimipaikka	
Tilaaajan yhteyshenkilö	Nimi		Puhelinnumero	
	Sähköpostiosoite			
<b>1 AISTINVARAINEN TARKASTUS (Katso ohje)</b>				
Yleiset järjestelmiltä vaaditut asiat				
a) Asennusalan rakenteet on tarkastettu	<input type="checkbox"/>	Kunnossa	<input type="checkbox"/>	Ei sisälly
Huom!	_____			
b) Rakennusvalvonnan luvat on tarkastettu	<input type="checkbox"/>	Kunnossa	<input type="checkbox"/>	Ei sisälly
Huom!	_____			
c) Paikallisen pelastusviranomaisen ohjeet ja vaatimukset on tarkastettu	<input type="checkbox"/>	Kunnossa	<input type="checkbox"/>	Ei sisälly
Huom!	_____			
d) Aurinkosähköjärjestelmään liittyvät muut asennukset on tarkastettu	<input type="checkbox"/>	Kunnossa	<input type="checkbox"/>	Ei sisälly
Huom!	_____			
Tasasähköjärjestelmän asennukset				
a) Asennukset ovat SFS 6000-7-712 ja IEC 62548 vaatimusten mukaiset	<input type="checkbox"/>	Kunnossa	<input type="checkbox"/>	Ei sisälly
Huom!	_____			
b) Komponenttien mitoitus on riittävä (jännite, virta, ylijännite...)	<input type="checkbox"/>	Kunnossa	<input type="checkbox"/>	Ei sisälly
Huom!	_____			

## ST 55.36

2 (8)

c) Toteutuksessa on käytetty kaksoiseristystä tai pienoisjännitettä (SELV, PELV)	<input type="checkbox"/>	Kunnossa	<input type="checkbox"/>	Ei sisälly
Huom!				
d) Kaapelien vahingoittumisriskit on minimoitu ja liitosten yhteensopivuus on varmistettu.	<input type="checkbox"/>	Kunnossa	<input type="checkbox"/>	Ei sisälly
Huom!				
e) Johto- ja asennusjärjestelmät ovat ympäristöolosuhteiden mukaisia	<input type="checkbox"/>	Kunnossa	<input type="checkbox"/>	Ei sisälly
Huom!				
f) Paneelistossa ei ole ylivirtasuojia: kaapelien virtamitoitukset ovat riittävät	<input type="checkbox"/>	Kunnossa	<input type="checkbox"/>	Ei sisälly
Huom!				
g) Paneelistossa on ylivirtasuojat: suojien mitoitus ja soveltuvuus on tarkistettu	<input type="checkbox"/>	Kunnossa	<input type="checkbox"/>	Ei sisälly
Huom!				
h) Erotus- ja kytkentälaitteet ovat asennettu ja ne ovat mitoitettu paneeliston huippuarvoilla	<input type="checkbox"/>	Kunnossa	<input type="checkbox"/>	Ei sisälly
Huom!				
i) Mahdollisten estodiodien estojännite ja virtakestoisuus ovat riittävät	<input type="checkbox"/>	Kunnossa	<input type="checkbox"/>	Ei sisälly
Huom!				
j) Laitteistossa on toiminnallinen maadoitus ja galvaaninen erotus	<input type="checkbox"/>	Kunnossa	<input type="checkbox"/>	Ei sisälly
Huom!				
k) Paneeliston eristystilan ja vikavirran valvonnat on asennettu	<input type="checkbox"/>	Kunnossa	<input type="checkbox"/>	Ei sisälly
Huom!				
<b>Suojaus sähköiskulta ja ylijännitteeltä</b>				
a) B-tyyppin vikavirtasuojaa on käytettävä tarvittaessa	<input type="checkbox"/>	Kunnossa	<input type="checkbox"/>	Ei sisälly
Huom!				
b) Johtimien pituudet ovat mahdollisimman lyhyitä ja ne kulkevat lähekkäin	<input type="checkbox"/>	Kunnossa	<input type="checkbox"/>	Ei sisälly
Huom!				
c) Paneeliston ja lähellä olevien muiden johtavien osien potentiaalintasaus	<input type="checkbox"/>	Kunnossa	<input type="checkbox"/>	Ei sisälly
Huom!				
d) Järjestelmän ylijännitesuojaus on toteutettu	<input type="checkbox"/>	Kunnossa	<input type="checkbox"/>	Ei sisälly
Huom!				
e) Mahdollinen salamasuojausjärjestelmä (T1 tai T1+T2) on huomioitu järjestelmän toteutuksessa	<input type="checkbox"/>	Kunnossa	<input type="checkbox"/>	Ei sisälly
Huom!				
<b>Vaihtosähköjärjestelmä (liityntä yleiseen jakeluun)</b>				
a) Vaihtosähköosa (esim. syöttöjohdon suojaukset ja mitoitus) on tarkastettu SFS 6000-6 mukaisesti	<input type="checkbox"/>	Kunnossa	<input type="checkbox"/>	Ei sisälly
Huom!				
b) Keskus, johon aurinkosähköjärjestelmä liitetään, on tarkastettu	<input type="checkbox"/>	Kunnossa	<input type="checkbox"/>	Ei sisälly
Huom!				
c) Vaihtosuuntaajan erotuskytkimet (huolto, verkkoyhtiö ja pelastustoiminta) on asennettu	<input type="checkbox"/>	Kunnossa	<input type="checkbox"/>	Ei sisälly
Huom!				
d) Järjestelmän laitteet on asennettu oikein kuorman ja syötön suhteen	<input type="checkbox"/>	Kunnossa	<input type="checkbox"/>	Ei sisälly
Huom!				

## ST 55.36

3 (6)

e) Vaihtosuuntaajan asetukset on tehty paikallisten vaatimusten mukaisesti	<input type="checkbox"/>	Kunnossa	<input type="checkbox"/>	Ei sisälly
Huom!				
<b>Merkinnät ja tunnistaminen</b>				
a) Kaikki virtapiirit, suojalaitteet, kytkimet ja liittimet on merkity	<input type="checkbox"/>	Kunnossa	<input type="checkbox"/>	Ei sisälly
Huom!				
b) Tasasähkökytkentärasioissa on varoitusmerkinnät	<input type="checkbox"/>	Kunnossa	<input type="checkbox"/>	Ei sisälly
Huom!				
c) Vaihtosähköpuolen erotuskytkimien merkinnät	<input type="checkbox"/>	Kunnossa	<input type="checkbox"/>	Ei sisälly
Huom!				
d) Jakelun liitännäisteissä on kaksois-/takasyötön varoituskilvet	<input type="checkbox"/>	Kunnossa	<input type="checkbox"/>	Ei sisälly
Huom!				
e) Kaapelointi- ja johdotuskaavio on saatavilla kohteessa	<input type="checkbox"/>	Kunnossa	<input type="checkbox"/>	Ei sisälly
Huom!				
f) Häätäpysäytyksen ohjeet on esitetty kohteessa	<input type="checkbox"/>	Kunnossa	<input type="checkbox"/>	Ei sisälly
Huom!				
g) Kaikki tunnukset ja kilvet on kiinnitetty käyttöä kestäväällä tavalla	<input type="checkbox"/>	Kunnossa	<input type="checkbox"/>	Ei sisälly
Huom!				
h) Pelastushenkilöstön käyttöön on laadittu aurinkosähköjärjestelmän tieto- tai kohdekortti	<input type="checkbox"/>	Kunnossa	<input type="checkbox"/>	Ei sisälly
Huom!				

**2 TESTAUKSET** (ks. testausohje)

Paneeliketju		1	2
Tasasähköosa			
Paneelien ominaisuudet	Paneelien valmistaja		
	Paneelien tyyppi		
	Paneelien määrä		
	$U_{OC}$ (STC, V) / Paneeli		
	$I_{SC}$ (STC, A) / Paneeli		
	$U_{OC}$ (max) / koko ketju		
	$I_{SC}$ (max) / koko ketju		
Paneeliketjun ylivirtasuojaus	Suojan tyyppi		
	Nimellisvirta (A)		
	DC-nimellisjännite (V)		
	Katkaisukyky (kA)		
Paneeliketjun kaapelointi	Kaapelityyppi		
	+/- johtimien poikkipinta, mm <sup>2</sup>		
	Suojamaadoitus- ja/tai potentiaalintasausjohtimien poikkipinta, mm <sup>2</sup>		

## ST 55.36

4 (6)

Erotus- ja kytkentälaitteet sekä pistokytkimet			
Erotus-/kytkentälaitte tai pistokytkin	Valmistaja		
	Merkki/malli/tyyppi		
	Standardi		
	DC-PV-luokka		
	Kytkenä 2P/4P		
Erotus-/kytkentälaitte tai pistokytkin	Valmistaja		
	Merkki/malli/tyyppi		
	Standardi		
	DC-PV-luokka		
	Kytkenä 2P/4P		
Paneelikeijun eristysresistanssi	Napaisuuden tarkistus (+/-)		
	Pos - Maa (M $\Omega$ )		
	Neg - Maa (M $\Omega$ )		
Jatkuvuudet	Potentiaalintaus paneelistosta vaihtosuuntaajalle, suurin ( $\Omega$ )		
	Potentiaalintaus muihin johtaviin osiin, suurin ( $\Omega$ )		
	Jatkuvuus muualta, mistä? ( $\Omega$ )		
Paneelikeijun testaukset ja mittaukset	Napaisuuden tarkistus (+/-)		
	Mitattu $U_{OC}$ (V)		
	Mitattu/tarkastettu $I_{SC}$ (A)		
	Auringon säteilyvoimakkuus		
	Paneeliston lämpötila		
	Laskennallinen $U_{OC}$ (V)		
	Laskennallinen $I_{SC}$ (A)		
<b>Vaihtosähköosa</b>			
Vaihtosuuntaajan syöttö	Kaapelin poikkipinta-ala (mm <sup>2</sup> )		
	Suojalaitteen valmistaja ja malli		
Vaihtosähköosan mittaukset	Eristysresistanssi (M $\Omega$ )		
	PE-jatkuvuus ( $\Omega$ )		
	Oikosulkuvirta (0,4 s / 5 s) vaadittu/ mitattu (A)		
	Kiertosuunnan tarkistus		
	Vaihtosähköosan tulokset ovat vaatimusten mukaisia		
Vaihtosuuntaajan ominaisuudet	Valmistaja		
	Malli		
	Teho		
	1- tai 3-vaihe		
	Sarjanumero		
	Syötetyt vaiheet		

## ST 55.36

5 (6)

Vaihtosuuntaajan verkkoonliityntästandardi	SFS-EN 50549-1:2019, tai		
	joku muu (lisäselvitys)		
Vaihtosuuntaajan toiminta	Toimii oikein, ei häiriötä		
	Sähköverkon katkotesti		
	Erotuskytkimen sijainti		
<b>Verkkoon liitetyt järjestelmät:</b>			
Invertterin ja paneeliston ominaisuudet ovat verkkoyhtiölle toimitetun mikrotuotannon yleistietolomakkeen mukaiset			

**3 SOVELLETUT STANDARDIT**

Järjestelmän rakentaminen:	Järjestelmän tarkastus:
<input type="checkbox"/> SFS 6000 -standardisarja _____	<input type="checkbox"/> SFS 6000-6 _____
<input type="checkbox"/> SFS 6000-7-712 _____	<input type="checkbox"/> SFS 62446-1 _____
<input type="checkbox"/> IEC 62548 _____	<input type="checkbox"/> Muu _____
<input type="checkbox"/> Muu _____	Lisätietoja
Lisätietoja	
<input type="checkbox"/> Kohde on todettu edellä mainittujen standardien vaatimusten mukaisesti toteutetuksi ja tarkastetuksi.	

**4 KÄYTETYT MITTALAITTEET**


ST 55.36

6 (6)

**5 LISÄTIETOJA**

Lisätietoja:

**6 TARKASTUKSEN TEKIJÄ(T)**

Aika ja paikka	Aika ja paikka
Allekirjoitus ja nimen selvennys	Allekirjoitus ja nimen selvennys

**7 TILAAJAN TAI HÄNEN EDUSTAJANSA KUITTAUS**

Aika ja paikka	Allekirjoitus ja nimen selvennys
----------------	----------------------------------