



SAVONIA

Tekniikka

Palopäällystön koulutus

OPINNÄYTETYÖ

AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMIEN RISKIT PELASTUSTOIMELLE

Vesa Läderberg

10. 4. 2017


JARI VÄISÄNEN


Jukka Ronkainen

SAVONIA-AMMATTIKORKEAKOULU - TEKNIikka, KUOPIO

Koulutusohjelma

Palopäälylystön koulutusohjelma

Tekijä

Vesa Läderberg

Työn nimi

Aurinkosähköjärjestelmien riskit pelastustoimelle

Työn laji

Opinnäytetyö

Päiväys

6.4.2017

Sivumäärä

80+1

Työn valvoja

Vanhempi opettaja Jani Jämsä; Opettaja Juha

Yrityksen yhdyshenkilö

Ronkainen

Yritys

Päijät-Hämeen pelastuslaitos

Tiivistelmä

Uusiutuvan energian käyttö on lisääntynyt viime vuosina, ja pelastustoimen on seurattava näiden teknologioiden kehitystä. Aurinkosähköjärjestelmä on nykyään melko yleinen pienissä kohteissa kuten kesämökeillä. Kuitenkin nämä järjestelmät ovat kasvaneet ja yleistyneet suurissakin kohteissa. Aurinkosähköjärjestelmät aiheuttavat riskin pelastushenkilöstölle pelastustoiminnan aikana. Lisäksi pelastuslaitosten riskienhallinnan on tarve saada tietoa siitä, kuinka ehkäistä aurinkosähköjärjestelmistä aiheutuvia onnettomuuksia.

Tämän työn tarkoituksena oli tutkia aurinkosähköjärjestelmien toimintaperiaatteita ja sitä mitä riskienhallinnan tulee huomioida aurinkosähköjärjestelmien rakentamiseen liittyen. Lisäksi tarkoitus oli tutkia, millaisia riskejä aurinkosähköjärjestelmät aiheuttavat pelastushenkilöstölle pelastustoiminnan aikana ja sen jälkeen. Tarkoitus oli myös antaa turvallisuusohjeita pelastushenkilöstölle työskennellessä aurinkosähköjärjestelmien parissa.

Teoreettisen viitekehyksen tähän työhön saatiin pääasiassa internetistä ja ulkomaisista tutkimuksista. PRONTO-järjestelmästä tutkittiin aurinkosähköjärjestelmien aiheuttamia onnettomuuksia ja niihin johtaneita syitä. Lisäksi tehtiin sähköpostikysely henkilöille, jotka työskentelevät aurinkosähköjärjestelmien parissa.

Lopputuloksena syntyi turvallisuusohjeita pelastushenkilöstölle pelastustoimintaan ja ohjeita riskienhallintaan aurinkosähköjärjestelmistä johtuvien onnettomuuksien ehkäisyyn. Työssä esitettiin myös aurinkosähköjärjestelmien keskeisimmät laitteet.

Avainsanat

aurinkosähköjärjestelmät, aurinkopaneelit, aurinkoenergia

Luottamuksellisuus

julkinen

SAVONIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Degree Programme

Fire Officer (Engineer)

Author

Vesa Läderberg

Title of Project

Risks of Photovoltaic Systems for the Rescue Services

Type of Project

Final Project

Date

6th April 2017

Pages

80+1

Academic Supervisor

Mr Jani Jämsä, Senior Instructor; Mr Juha

Ronkainen, Instructor

Company Supervisor

Company

Päijät-Häme Rescue Department

Abstract

The use of renewable energies has increased during the last years and the rescue services is forced to follow the development of these technologies. Photovoltaic systems are nowadays quite common in small buildings, such as summer cottages. However, the size of these systems have grown and have become more common in large buildings. Photovoltaic systems have brought a challenge for the rescue services to operate with these systems safely. In addition, the risk management of the rescue departments needs advice how to prevent accidents caused by photovoltaic systems.

The aim of this final project was to study how photovoltaic systems are operating and what risk management aspects have to be taken into account when photovoltaic systems are being built. Furthermore, the aim was to study what kinds of risks photovoltaic systems causes for the rescue personnel during and after the rescue operation. The aim was also to give safety instructions for the rescue personnel on how to prevent accidents when working with photovoltaic systems.

The theoretical framework for this final project consists of sources on the Internet and English and German studies. In addition, the statistics system of Finnish rescue services PRONTO was used as a source to find out the causes of accidents with photovoltaic systems involved. Also, an e-mail inquiry was carried out to collect information from the persons who are working with photovoltaic systems.

As a result of this final project safety instructions were created on work safety at rescue operations involving photovoltaic systems, and instructions for risk management to prevent accidents caused by photovoltaic systems. The main components of photovoltaic systems was also presented.

Keywords

photovoltaic system, solar electric, solar panel, PV- system

Confidentiality

public

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
2	OPINNÄYTETYÖN TUTKIMUSASETELMA	8
2.1	Taustaa	8
2.2	Tutkimuksen tavoite	9
2.3	Toteutus	9
3	AURINKOENERGIA	11
3.1	Aurinkolämpö	11
3.2	Aurinkosähkö	12
4	AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄT JA KOMPONENTIT	13
4.1	Sähköverkkoon kytkemätön aurinkosähköjärjestelmä	13
4.2	Sähköverkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä	15
4.3	Aurinkopaneelit ja niiden toimintaperiaate	17
4.4	Aurinkokennotyypit	18
4.4.1	Yksi- ja monikiteinen piikkenno	20
4.4.2	Moniliitoskennot	22
4.4.3	Muut aurinkokennot	23
4.5	Invertteri	24
4.6	Verkkoinvertteri	25
4.7	Turvakytkin	26
4.8	Lataussäädin	27
4.9	Akku	27
4.10	Kaapelointi	28
4.11	Aurinkopaneelien kiinnittäminen	28
4.12	Merkinnät	29
5	LAINSÄÄDÄNTÖ	31
5.1	Maankäyttö- ja rakennuslaki	31
5.2	Sähköturvallisuuslaki	31
5.3	Sähkömarkkinalaki	32

5.4	Standardit	32
6	AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMIEN VAARAT JA ONNETTOMUUDET	34
6.1	Tapahtuneet onnettomuudet Suomessa	34
6.2	Muut vaarat	35
6.2.1	Sähköpalo	36
6.2.2	Oikosulku	37
6.2.3	Sähköisku	38
7	KIRJALLISUUSTUTKIMUKSET JA HAVAINNOT	
	AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMISSÄ	40
7.1	Veden aiheuttamat vaarat	42
7.1.1	Vaahtoneste	44
7.1.2	Kytöntäkotelot	44
7.1.3	Varusteet	45
7.2	Aurinkopaneelin peittäminen	50
7.2.1	Peite	50
7.2.2	Vaahto	51
7.3	Työkalut	53
7.4	Vaurioituneet aurinkopaneelit	54
7.5	Valaistuksen vaikutukset	55
7.5.1	Keinovalo	55
7.5.2	Tulipalo	57
7.6	Palaneiden aurinkopaneelien sähköntuotto	58
8	KYSELY AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMISTÄ JA HAVAINNOT	60
8.1	Kyselyn tarkoitus	60
8.2	Kyselyn tulokset	61
9	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	63
9.1	Pelastustoimintaan liittyvät havainnot	63
9.2	Toimintaohje-ehdotuksia pelastustoimintaan	66
9.3	Ennaltaehkäiseviä ratkaisuja	70
9.4	Kehittämisehdotuksia	72

9.4.1	Tietojen kirjaaminen	72
9.4.2	Koulutus	73
9.4.3	Merkinnät ja laitteiden sijainnit	73
10	POHDINTA	74
10.1	Tavoitteet ja niiden saavuttaminen	74
10.2	Työn hyödyntäminen	75
10.3	Oma oppiminen	75
	LÄHTEET	77
	LIITTEET	81

1 JOHDANTO

Uusiutuvien energioiden käyttö on lisääntynyt jatkuvasti yhteiskunnassamme ja samalla niihin liittyvät teknologiat ovat kehittyneet. Pelastustoimen on oltava mukana alan kehityksessä pysyäkseen ajan tasalla uusiutuvien teknologioiden muutoksessa kehittääkseen omaa toimintaansa. Uudet teknologiat tuovat haasteita pelastustoimelle, minkä johdosta on kehitettävä koulutusta, välineitä ja toimintatapoja sekä ohjeistusta.

Aurinkoenergiaa on käytetty jo pitkän aikaa eri järjestelmissä. Aurinkosähköjärjestelmät ovat olleet käytössä kotitalouksissa ja pienissä kohteissa kuten kesämökeillä ja veneissä, joihin ei yleistä sähköverkkoa ole ollut saatavilla. Aurinkosähköteknologiat ovat kuitenkin kehittyneet ja järjestelmät kasvaneet jatkuvasti. Suomessa aurinkosähköjärjestelmiä on ollut käytössä jo kauan aikaa, ja viime vuosina ne ovat yleistyneet suurissakin rakennuksissa. Tämän johdosta pelastustoimen on ollut välttämätöntä perehtyä aurinkosähköjärjestelmiin ja pohtia niihin liittyviä riskejä.

Idean opinnäytetyöhöni sain keskusteltuani työpaikallani opinnäytetyöaiheista. Sain tietää, että aurinkosähköjärjestelmistä ei ole pelastusalalla paljon tietoa ja niiden aiheuttamista riskeistä pelastushenkilöstölle keskustellaan monissa yhteyksissä. Olin pohtinut aurinkosähköjärjestelmiä ja niiden aiheuttamia mahdollisia ongelmia pelastustoiminnassa huomattessani monen ison rakennuksen katolle ilmestyneen useita aurinkopaneeleja.

Olin ajatellut, että asioihin on varmasti perehdytty, koska ne eivät ole kovinkaan uusi asia ja niitä on ollut käytössä jo vuosia. Tutkittuani asiaa tarkemmin ja keskusteltuani vielä työpaikallani paloinsinöörin kanssa tulin siihen lopputulokseen, että asiaa on tuotava paremmin esille ja pohdittava, miten pelastustoimen tulisi varautua aurinkosähköjärjestelmien aiheuttamiin haasteisiin ja mahdollisiin riskeihin. Asiaa tulisi pohtia niin riskienhallinnan kuin operatiivisen toiminnan kannalta. Sattumalta myös Pelastusopistossa oltiin kiinnostuneita tästä aiheesta.

Tämän työn tavoitteena on tuoda esille käytössä olevia aurinkosähköjärjestelmiä, niiden laitteita ja komponentteja sekä esittää aurinkosähköjärjestelmien toimintaperiaatteet erilaisissa kohteissa. Tarkoituksena on tutkia aurinkosähköjärjestelmien aiheuttamia onnet-

tomuuksia ja esittää rakenteellisia parannusehdotuksia turvallisuuden lisäämiseksi. Lisäksi tavoitteena on selvittää aurinkosähköjärjestelmien aiheuttamia riskejä pelastushenkilöstölle pelastustoiminnassa ja esittää toimintaehdotuksia työturvallisuuden parantamiseksi.

Tätä työtä varten tutkin useita ulkomaankielisiä tutkimuksia ja raportteja, joissa selvitetään aurinkosähköjärjestelmien aiheuttamia onnettomuuksia ja riskejä pelastushenkilöstölle. Näiden tutkimusten ja raporttien perusteella teen parannusehdotuksia turvallisuuden lisäämiseksi. Lisäksi teen kyselyn aurinkosähköjärjestelmien parissa työskenteleville henkilöille järjestelmien turvallisuuteen ja rakentamiseen liittyvistä asioista.

Opinnäytetyöni alussa esittelen aurinkosähköjärjestelmien toimintaperiaatteet ja erilaiset laitteet sekä komponentit. Työssäni käyn läpi aurinkosähköjärjestelmiä koskevat lait ja asetukset sekä standardit. Esittelen aurinkosähköjärjestelmien vaaroja ja niistä aiheutuneita onnettomuuksia. Käyn läpi ulkomaisista tutkimuksista selvinneitä tuloksia, joissa selvitettiin aurinkosähköjärjestelmiin liittyviä vaaroja pelastustoiminnan aikana.

Selvitän myös aurinkosähköjärjestelmien parissa työskenteleville ammattilaisille tehdyn sähköpostikyselyn avulla aurinkosähköjärjestelmiin liittyviä riskejä ja asennustapoja. Johtopäätöksissä esitän työssäni tekemiäni havaintoja ja toimintaohje-ehdotuksia riskienhallintaan ja pelastustoimintaan. Tuon esille myös kehittämisehdotuksia pelastustoimelle aurinkosähköjärjestelmiin liittyen.

2 OPINNÄYTETYÖN TUTKIMUSASETELMA

2.1 Taustaa

Pelastusalalla on ollut keskustelua siitä, miten aurinkosähköjärjestelmät tulisi huomioida pelastustoiminnassa. Ongelmana on pidetty sitä, että aurinkosähköjärjestelmää ei saa kytettyä täysin virrattomaksi, jolloin se aiheuttaa vaaraa pelastushenkilöstölle. Rakennuksen päävirran saa helposti katkaistua pääkatkaisimesta, mutta aurinkosähköjärjestelmä tuottaa aina virtaa, kun aurinkopaneeleihin tulee valoa.

Pelastushenkilöstölle vaaraa aiheuttaa aurinkosähköjärjestelmän tasavirtapuolen kaapelointi. Aurinkopaneelilta lähtevät kaapelit ovat jännitteellisiä aina, kun aurinkopaneelit ovat valaistuin. Jännite kulkee yleensä invertterille tai turvakytkimelle, minkä jälkeen sähkö saadaan katkaistua. Riski aiheutuu siitä, että pelastushenkilöstö ei tiedä onnettomuuskohteessa, miten aurinkosähköjärjestelmän kaapelointi kulkee rakennuksessa ja mihin asti järjestelmä tuottaa sähköä.

Työturvallisuusnäkökulmasta katsottuna on paljon asioita, jotka ovat askarruttaneet monia. Epätietoisuutta on ollut siitä, millaisia jännitteitä aurinkosähköjärjestelmissä kulkee ja miten suurta virtaa järjestelmät tuottavat. On pohdittu, voiko aurinkosähköjärjestelmästä johtua sähköä laajemmalle alueelle muun muassa vioittuneista kaapeleista ja aiheuttaa vaaraa pelastushenkilöstölle. Pelastustoimintaan on haluttu toimintaohjeita työkenneltäessä onnettomuustilanteessa kohteessa, jossa on aurinkosähköjärjestelmä.

Riskienhallinnan näkökulmasta asia on myös haasteellinen. Aurinkosähköjärjestelmät lisääntyvät suurissa kohteissa, ja rakentajat sekä suunnittelijat kyselevät järjestelmien rakentamiseen liittyvää turvallisuusohjeistusta. Pelastustoimella ei ole antaa minkäänlaisia erityisohjeita aurinkosähköjärjestelmiin liittyen, koska asiaa ei ole tutkittu tarpeeksi.

2.2 Tutkimuksen tavoite

Työn tavoitteena on tuoda pelastusosalalle tietoa aurinkosähköjärjestelmistä esittämällä niihin kuuluvia laitteita sekä niiden toimintaperiaatteita. Tutkimuksen tavoitteena on selvittää aurinkosähköjärjestelmien aiheuttamia onnettomuuksia sekä mahdollisia riskejä pelastushenkilöstölle pelastustoiminnan aikana ja myös mahdollisesti sen jälkeen.

Tavoitteena on tutkia tapahtuneita onnettomuuksia niin Suomessa kuin ulkomaillakin ja tehdä havaintojen perusteella ehdotuksia turvallisuuden lisäämiseksi. Tarkoituksena on ainoastaan tuoda esille keinoja ja ehdotuksia, joilla käytössä olevien aurinkosähköjärjestelmien aiheuttamia vaaroja ja riskejä voitaisiin vähentää. En puuttunut aurinkosähköjärjestelmien sähkötekniikkaan ja siihen liittyviin ratkaisuihin, vaan pohdin rakennusten turvallisuuteen liittyviä asioita.

Lisäksi tavoitteena on tutkia aurinkosähköjärjestelmien aiheuttamat vaarat, riskit ja ongelmat pelastushenkilöstölle pelastustoiminnan aikana ja sen jälkeen. Tutkimusten perusteella tehtyjen havaintojen perusteella on tarkoitus esittää työturvallisuuteen liittyviä toimintaohjeita.

2.3 Toteutus

Toteutan osan työstäni kirjallisuustutkimuksena tutkimalla aurinkosähköjärjestelmiin liittyviä tutkimuksia ja raportteja. Vertailen tutkimusten tuloksia keskenään ja teen niiden perusteella johtopäätöksiä. Lisäksi tutkin PRONTO-järjestelmän avulla tapahtuneita onnettomuuksia sekä teen sähköpostikyselyn aurinkosähköjärjestelmiä suunnitteleville ja rakentaville henkilöille.

Tutustun käytössä oleviin aurinkosähköjärjestelmiin ja niiden laitteisiin sekä toimintaperiaatteisiin valmistajien ja alan internetsivujen avulla. Selvitän millaisia aurinkosähköjärjestelmiä on olemassa, miten järjestelmä toimii ja millaisia laitteita on erilaisissa järjestelmissä. Lisäksi selvitän, millaisia aurinkosähköteknologioita on kehitteillä ja mihin niiden toiminta perustuu.

Selvitän PRONTOsta Suomessa tapahtuneita onnettomuuksia, joissa aurinkosähköjärjestelmä on ollut jollain tavalla osallisena. Selvitän myös ulkomaisista lähteistä tapahtuneita

onnettomuuksia. Näiden tutkimusten perusteella saan selville, mitkä ovat aurinkosähköjärjestelmistä johtuneiden onnettomuuksien syyt ja aiheuttajat.

Tutkin ulkomaisten tutkimusten perusteella aurinkosähköjärjestelmien aiheuttamia riskejä pelastushenkilöstölle. Tarkastelen pääosin yhdysvaltalaisista ja saksalaisista tutkimuksista, joissa selvitettiin aurinkosähköjärjestelmien aiheuttamia vaaroja pelastustoiminnan aikana. Tutkimuksissa oli tehty useita erilaisia kokeita ja testejä erilaisilla jännitteillä, joita aurinkosähköjärjestelmissä saattaa olla. Tutkimuksissa tutkittiin muun muassa veden ja vaahdon käytön vaaroja, palomiehen varusteiden ja työkalujen sähkönjohtavuutta, aurinkopaneelien peittämistä erilaisilla peitteillä ja tulipalossa vaurioituneiden aurinkopaneelien sähköntuottoa tulipalon aikana ja sen jälkeen.

Teen kyselyn (liite 1) aurinkosähköjärjestelmien suunnittelijoille ja rakentajille. Kyselyllä selvitän, miten aurinkosähköjärjestelmät ovat asennettu, miten ja missä järjestelmien kaapeloinnit kulkevat sekä miten suuria jännitteitä järjestelmissä on. Lisäksi kysyn aurinkosähköjärjestelmien turvallisuuteen liittyviä asioita, kuten suojaetäisyyttä viialliseen aurinkopaneeliin.

3 AURINKOENERGIA

Auringosta saatua energiaa on käytetty ja käytetään edelleen monin eri tavoin. Pääsääntöisesti aurinkoenergiaa käytetään seuraavasti (Aurinkoenergia 2016; Fraile ym. 2012, 2):

- passiivisesti hyödyntämällä auringon valoa ja lämpöä suoraan ilman erillistä laitetta muun muassa rakennuksissa
- aktiivisesti muuntamalla auringon säteily lämmöksi aurinkokeräimillä tai sähköksi aurinkopaneeleilla.

3.1 Aurinkolämpö

Aurinkolämmitysjärjestelmässä aurinkolämpökeräin ottaa vastaan auringon säteilyn energiaa ja sitoo sen lämmöksi aurinkokeräimessä kiertävään väliaineeseen, joka on nestettä tai ilmaa. Väliaine, joka siirretään pumpun tai lämpöpuhaltimen avulla lämmönsiirtoputkistoa pitkin, kuljettaa lämpöenergian joko varaajaan tai suoraan kulutukseen. Aurinkokeräimissä, jotka ovat yleensä asennettu talon katolle, kiertää ohuita putkia, joissa väliaine kulkee. Ympärivuotisessa käytössä olevissa aurinkokeräimissä väliaineena käytetään jäätymätöntä seosta ja kesäkäytössä olevissa tehokkain lämmönsiirtoneste on vesi. (Auringosta lämpöä ja sähköä 2014, 6.)

Aurinkokeräimen musta absorptiopinta lämpenee auringonsäteilyn vaikutuksesta ja sitoo itseensä energiaa ja kuumenee. Aurinkokeräimen absorptiopinnalla on selektiivinen pinnoite, ja se on katettu karkaistulla lasilla tai muovilevyllä, joka ottaa hyvin auringon säteilyenergiaa sisäänsä sekä estää mustan absorptiolevyn lämpösäteilyä vuotamasta ulos. Kuvassa 1 nähdään tyypillinen aurinkokeräin. (Auringosta lämpöä ja sähköä 2014, 6.)



Kuva 1. Tasokeräin (Suomen aurinkoenergia Oy).

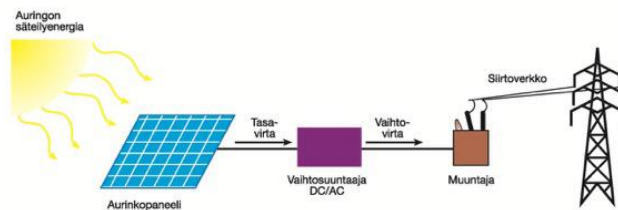
3.2 Aurinkosähkö

Aurinkosähköä tuotetaan aurinkopaneeleilla hyödyntämällä auringon säteilyenergiaa. Auringonsäteilyn fotonit eli hiukkaset kuljettavat auringon säteilyenergiaa. Osuessaan aurinkokennoihin fotonit luovuttavat energiansa aurinkokennojen elektroneille, jotka muodostavat sähkövirran aurinkokennojen materiaalin virtajohtimiin. Aurinkopaneelit koostuvat aurinkokennoista, jotka on kytketty sarjaan sekä rinnan halutun jännitteen mukaan. Aurinkokennoissa auringonsäteiden energia aikaansaa sähköjännitteen. Sähkövirta johdetaan aurinkosähköjärjestelmän akuille tai suoraan käyttöön sähköisten laitteistojen kautta. (Anttonen 2015, 4; Aurinkosähkön perusteet 2016.)

Aurinkosähköjärjestelmiä on käytetty kohteissa, joissa verkkosähköä ei ole ollut saatavilla, kuten kesämökeillä ja veneissä. Sähköverkkoon kytketyt järjestelmät ovat yleistyneet ja suuriakin kohteita varustetaan aurinkosähköjärjestelmillä. Lisäksi on rakennettu suuria aurinkosähköpuistoja ja –voimaloita, joista sähköä jaetaan keskitetysti monille käyttäjille. (Opas sähkön pientuottajalle 2012, 7 - 8.)

4 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄT JA KOMPONENTIT

Aurinkosähköjärjestelmä koostuu pääsääntöisesti aurinkopaneeleista ja akustosta tai invertteristä sekä näiden yhdistelmästä käyttötarkoituksen mukaan (Anttonen 2015, 4). Aurinkosähköjärjestelmiä valmistetaan kaupallisiin tarpeisiin 12, 24, 48 ja 230 V:n järjestelminä ja niitä käytetään erillisinä eli verkkoon kytkemättöminä tai yleiseen sähköverkkoon liitettynä järjestelminä. Lisäksi aurinkovoimalat, joissa tuotetaan keskitetysti sähköenergiaa, ovat yleistyneet Suomessa. Tällaiset voimalat voivat sijaita rakennusten katoilla tai maan tasolla suurilla aukeilla ja niiden tuottama sähköteho voidaan muuntaa muuntoaseman kautta suurjännitteiseksi (110kV). Kuvassa 2 nähdään aurinkovoimalan toimintaperiaate. (Hinkkainen 2016, 19.)



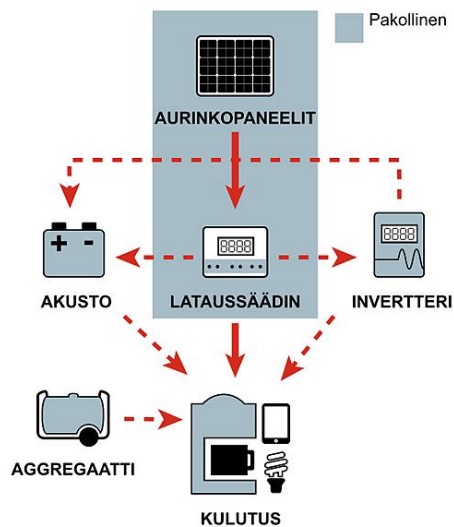
Kuva 2. Aurinkovoimalan toimintaperiaate (Hinkkainen 2016, 19).

4.1 Sähköverkkoon kytkemätön aurinkosähköjärjestelmä

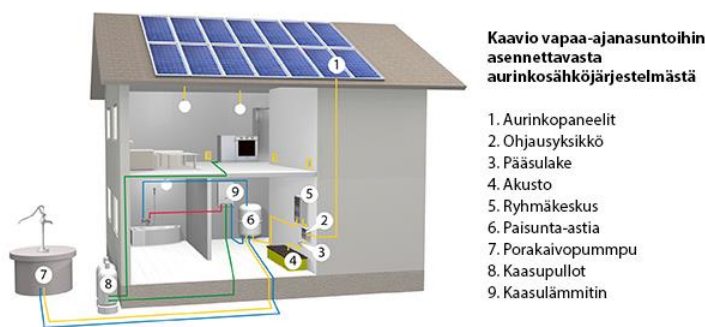
Verkkoon kytkemättömiä järjestelmiä käytetään yleisesti taajamien ulkopuolella kuten saarissa, joissa ei ole käytössä yleistä sähköverkkoa. Lukemattomat kesämökkit ja vapaa-ajan asunnot ovat olleet jo vuosien ajan varustettu omalla aurinkosähköjärjestelmällään. (Verkkoon kytkemätön aurinkosähköjärjestelmä 2016.)

Verkkoon kytkemättömän aurinkosähköjärjestelmän aurinkopaneelin tuottama sähkö varastoidaan akkuihin ennen käyttöä, mikäli sähköntuotanto ja -kulutus eivät ole samanaikaista. Akkuista voidaan ottaa virtaa suoraan tasavirtaa hyödyntäviin laitteisiin ja jos tasavirta halutaan muuttaa vaihtovirraksi, järjestelmään lisätään invertteri, kuten verkkoon liitetyissä järjestelmissä. Verkkoon kytkemättömiin järjestelmiin voidaan liittää myös ag-

gregaatti, joka toimii tarvittaessa varavoimanlähteenä. Verkkoon kytkemättömään järjestelmään asennetaan lataussäädin, joka säätelee paneelien tuottamaa sähköä ja valvoo, että akusto latautuu. Kuvasta 3 voidaan nähdä tällaisen järjestelmän kokoonpano ja kuvasta 4 kaaviokuva. (Hinkkainen 2016, 30; Verkkoon kytkemätön aurinkosähköjärjestelmä 2016.)



Kuva 3. Verkkoon kytkemättömän (off-grid) aurinkosähköjärjestelmän kokoonpano (Verkkoon kytkemätön aurinkosähköjärjestelmä 2016).



Kuva 4. Verkkoon kytkemätön aurinkosähköjärjestelmä (Aurinkosähköllä arjen mukavuudet mökin rauhaan 2016).

4.2 Sähköverkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä

Verkkoon liitetty järjestelmä käyttää oman järjestelmän tuottamaa sähköä sekä tarvittaessa jakeluverkon sähköä. Lisäksi järjestelmä voidaan rakentaa sellaiseksi, että se syöttää sähköä jakeluverkkoon, jos järjestelmän tuottamaa sähköä ei käytetä. Aurinkopaneelit tuottavat tasavirtaa. Se muutetaan invertterin avulla vaihtovirraksi, joka vastaa kiinteistön sähköverkon sekä jakeluverkon vaatimuksia. Aurinkopaneelit kytketään invertterin kautta kiinteistön sähköjärjestelmään (sähköpääkeskus). (Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä 2016.)

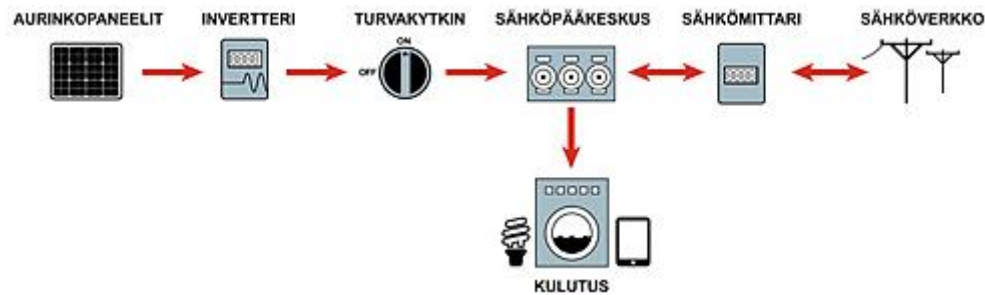
Sähköverkkoon liitetty järjestelmä ei toimi ilman lisätoimenpiteitä itsenäisesti, joten aurinkosähkö ei takaa sähkön saantia sähköverkon sähkökatkojen aikana. Suojalaitteet ja tasavirtapiirin turvakytkin ovat järjestelmässä pakollisia, mutta ne ovat yleensä integroitu invertteriin. Mikäli invertteri ei sisällä tarpeellisia suojauksia, ne on asennettava erikseen. Sähköverkkoon liitetyn järjestelmän invertteri voi olla joko 1- tai 3-vaiheinen. 1-vaiheinen invertteri kytketään verkon yhteen vaiheeseen (kolmesta mahdollisesta). Tämä tarkoittaa, että tuotettua aurinkosähköä voivat hyödyntää vain kyseiseen vaiheeseen kytketyt sähkölaitteet. (Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä 2016.)

Lämminvesivaraajat, kiukaat ja liedet tarvitsevat suurta sähkötehoa, ja ne on tavallisesti kytketty verkon kaikkiin kolmeen vaiheeseen, jolloin 3-vaiheinen invertteri palvelee aurinkoisina hetkinä näitä laitteita kaikkien kolmen vaiheen kautta. Pienimpien 3-vaiheisten invertterien kokonaisteho on noin 3 kW. (Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä 2016.)

Kiinteistön aurinkosähköjärjestelmän on oltava erotettavissa sähköverkosta lukittavalla vaihtovirtapiirin turvakytkimellä, johon verkkoyhtiöllä on oltava vapaa pääsy. Kytkin sijaitsee invertterin ja pääkeskuksen tai ryhmäkeskuksen välissä. Järjestelmään kuuluu kiinteistön energiamittari, jolla mitataan verkkoon syötettyä ja sieltä otettua tehoa kuten kuvassa 5 on esitetty. (Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä 2016.)

Mikäli käytetään keskitettyjä isoja inverttereitä, jolloin yhtä invertteriä kohden tulee aurinkopaneeleja niin monta, että niitä kaikkia ei pysty kytkemään suoraan invertterin DC-

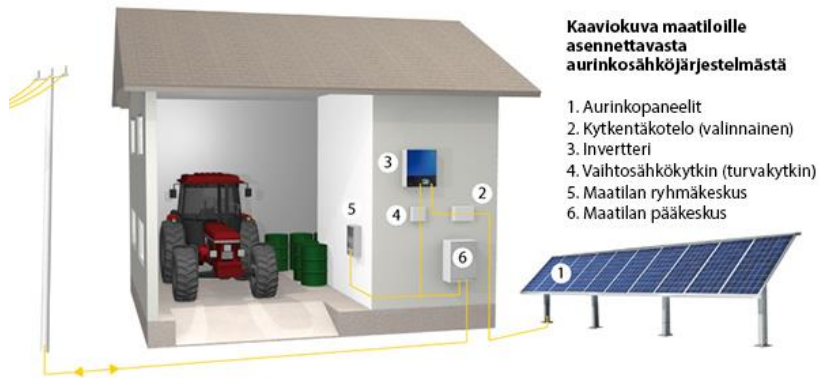
sisääntuloihin, käytetään järjestelmässä kytkentälaatikoita. Kytchentälaatikot sisältävät sulakesuojauksen paneeliketjällä tapahtuvien oikosulkujen varalta. Kytchentälaatikossa on mahdollista tarkkailla jokaisen paneeliketjun tuottamaa virtaa. Kuvista 6, 7 ja 8 voidaan havaita erilaisiin rakennuksiin asennettavien aurinkosähköjärjestelmien kaaviokuvat. (Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä 2016.)



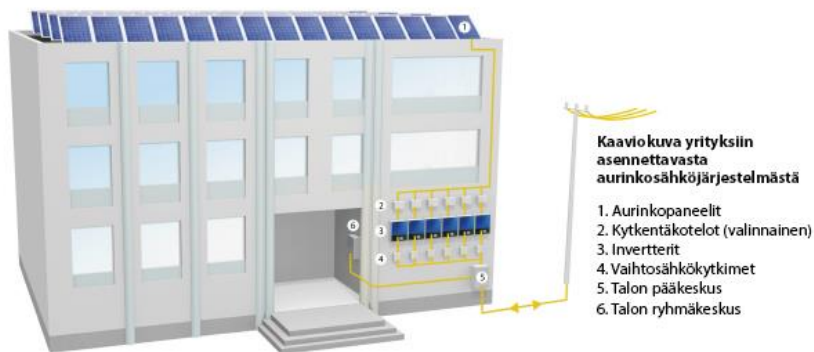
Kuva 5. Verkkoon kytketyn pientalon aurinkosähköjärjestelmän kokoonpano (Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä 2016).



Kuva 6. Verkkoon kytketyn pientalon aurinkosähköjärjestelmä (Aurinkopaneelit omakotitaloon 2016).



Kuva 7. Verkkoon kytketyn maatilan aurinkosähköjärjestelmä (Aurinkosähkö sopii mautiloille 2016).



Kuva 8. Verkkoon kytketyn liikerakennuksen aurinkosähköjärjestelmä (Pienennä yritysesi sähkölaskua 2016).

4.3 Aurinkopaneelit ja niiden toimintaperiaate

Aurinkosähköjärjestelmän keskeisin osa on aurinkopaneeli. Se koostuu useista pienistä aurinkokennoista, jotka on kytketty toisiinsa. Aurinkopaneelin teho ilmoitetaan nimellisteholla (piikkiwatti, W_p), jonka paneeli antaa, kun auringon säteily kohtisuoraan paneelia on 1000 W/m^2 . Nimellisteho on määritetty laboratoriossa standardiolosuhteissa, joissa auringon säteily määrä on 1000 w/m^2 ja kennon lämpötila 25°C . Tuhannen piikkiwatin ($1000 W_p$ eli piikkikilowatin 1kW_p) aurinkopaneelijärjestelmä vaatii 6 - 8 neliömetrin pinta-alan. (Aurinkosähköjärjestelmän teho 2016; Yleistä aurinkosähköstä 2016.)

Aurinkopaneelit tuottavat tasasähköä (DC), joka muunnetaan tarvittaessa vaihtosähköksi (AC) erillisellä vaihtosuuntaajalla eli invertterillä. Aurinkopaneeleja voidaan kytkeä yhteen sähköverkkoliityntää varten, jolloin useaa aurinkopaneelia varten voidaan käyttää yhtä tasavirran vaihtovirraksi muuttavaa invertteriä. Tyypillisesti yhdestä nykyaikaisesta aurinkopaneelistä saatava sähköteho on noin 250–300 W. (Satakuntaliitto 2016, 4.)

Aurinkopaneeleilla tuotettu jännitetaso on yleensä kaksitoista voltia, jolloin kennoja kytetään sarjaan 30 - 36 kappaletta. Tällä tavoin aurinkopaneelilla voidaan ladata suoraan akkuja. Akkuja käytetään yleensä pienissä järjestelmissä kuten kesämökkien sähköistykseen, mutta myös isoihin järjestelmiin niitä on asennettu tasaamaan tehon tarvetta. Nykyisin aurinkopaneeli saattaa olla 72-kennoinen, jolloin yhden kennon koko on 156 mm x 156 mm. Tällöin aurinkopaneelin jännitetaso kasvaa ja virta-arvo on 7 A. (Anttonen 2015, 6.)

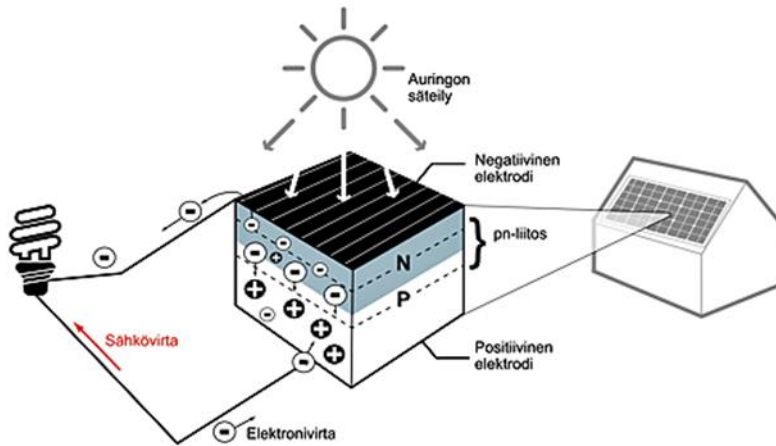
4.4 Aurinkokennotyypit

Aurinkokennoissa käytetyin puolijohdemateriaali on pii (Si), mutta ohutkalvotekniikkaan perustuvat teknologiat ovat viime vuosien aikana yleistyneet. Suurelle pinta-alalle helposti valmistettavat nanokiteiset aurinkokennot saattavat yleistyä tulevaisuudessa. Pii-kennojenkin tekniikka kehittyy jatkuvasti ja sitä myötä halvemmaksi, joten on vaikea sanoa, mihin suuntaan aurinkokennojen kehitys ja yleisyys suuntautuvat. (Aurinkosähköteknologiat 2016.)

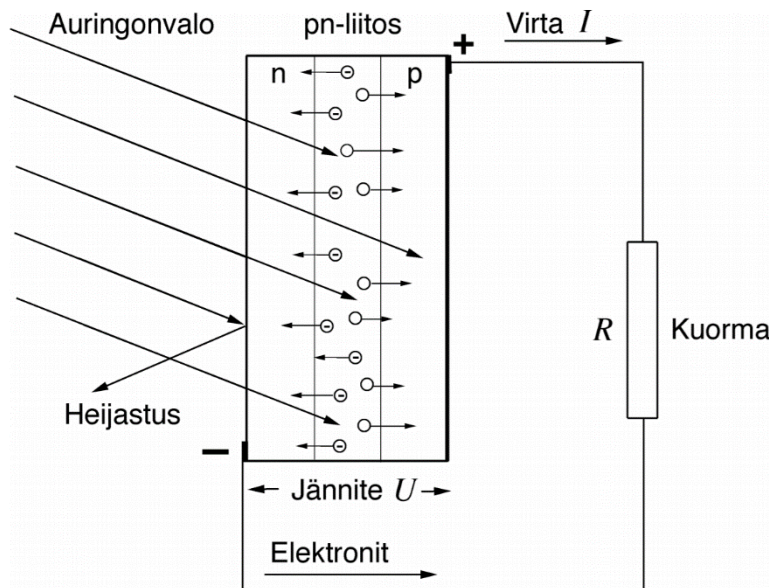
Yhden aurinkokennon antama jännite on 0,5 - 0,6 V. Aurinkokenno rakentuu kahdesta melkein samanlaisesta, tasaisesta puolijohdekerroksesta, jotka kuitenkin eroavat hieman toisistaan atomien varausjakauman suhteen. Tämä pieni ero synnyttää kennon sisälle sähkökentän, joka vie auringonvalon vapauttamat positiiviset ja negatiiviset varauksenkuljettajat eri suuntiin kennossa. Varauksenkuljettajat kulkeutuvat ulkoiseen piiriin, jossa niitä voidaan käyttää hyödyksi. Kuvissa 9 ja 10 on esitetty aurinkopaneelin toimintaperiaate. (Anttonen 2015, 4; Miten aurinkokenno toimii? 2016.)

Toisin sanoen puolijohdekerrokset on erotettu rajapinnalla, joista toinen puoli on n-tyyppinen ja vastakkainen puoli on p-tyyppinen puolijohde. Kennoihin muodostuu sisäinen

sähkökenttä kerrosten yli, kun elektronit kasaantuvat toiselle puolelle jättäen aukkoja toiselle puolelle. Puolijohteen sähkönjohtavuus perustuu näin ollen vapaiden elektronien ja aukkojen liikkeeseen. Tämän hetken kaupalliset aurinkokennot eli kiteiset piikennot ja ohutkalvokennot on muodostettu kahdesta erityyppisestä puolijohdemateriaalista (p-tyyppi ja n-tyyppi). (Anttonen 2015, 4; Miten aurinkokenno toimii? 2016.)



Kuva 9. Aurinkopaneelin toimintaperiaate (Motiva 2016).



Kuva 10. Aurinkopaneelin toimintaperiaate (Suntekno 2010).

Aurinkokennot tuottavat kirkkaalla auringonpaisteella sähkövirtaa noin 32 mA/cm^2 , joten $90 \text{ mm} \times 120 \text{ mm}$ suuruinen kenno tuottaa maksimissaan $3,5 \text{ A}$. Mikäli kennot kytketään

sarjaan, on aurinkopaneelistä saatava virta yhtä suuri kuin yhden kennon tuottama virta. (Kvick 2010, 21.)

Aurinkosähköteknologiat voidaan jakaa kolmeen sukupolveen. Yksi- ja monikiteiset piikennot ovat ensimmäisen sukupolven aurinkokennoja, ja ne ovat kaupallisessa käytössä. Ohutkalvoaurinkokennot ovat toisen sukupolven aurinkokennoja. Ensimmäisen ja toisen sukupolven aurinkokennojen teknologia perustuu valosähköiseen ilmiöön ja puolijohteiden pn-liitoksen aikaansaamaan sähkökenttään. (Aurinkosähköteknologiat 2016.)

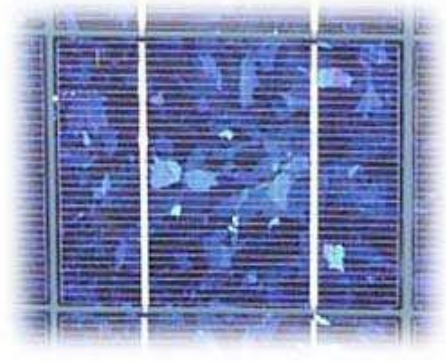
4.4.1 Yksi- ja monikiteinen piikkenno

Käytössä olevista aurinkokennoista yleisin valmistusmateriaali on yksi- tai monikiteinen pii, näistä yleisempi on ollut pitkään yksikiteinen pii. Kiteiset piikennot ovat noin 0,2 - 0,3 mm paksuja ja kooltaan (90 - 160) mm x (120 - 160) mm. Yksikiteiset piikennot sahataan yhtenäisestä piiaihiosta, jonka halkaisija on 10 – 16 cm. Kuvassa 11 nähdään yksikidepaneeli, jossa on aukot kennojen kulmissa. Pyöreistä kiekkoista ei tehdä neliskulmaisia, koska raaka-aine on hyvin kallista. (Aurinkosähköteknologiat 2016; Kvick 2010, 19.)

Monikiteisiä piikkennoja voidaan tehdä neliskulmaisista aihioista, jolloin raaka aine saadaan käytettyä tarkemmin hyödyksi. Monikidekennot ovat hyötysuhteeltaan hieman yksikidekennoja heikompia. Kuvassa 12 näkyvät yksittäiset piikiteet sekä pinnalle juotetut johtimet, joiden avulla sähkövirta saadaan johdettua ulkoiseen kuormaan. (Aurinkosähköteknologiat 2016; Kvick 2010, 19; Carlstedt 2014, 8.)



Kuva 11. Yksikiteinen piikkenno (Suntekno 2016).



Kuva 12. Monikiteinen piikkenno (Suntekno 2016).

Ohutkalvokennot valmistetaan lisäämällä hyvin ohuita kerroksia valoherkkää ainetta jollekin pohjamateriaalille kuten lasille, ruostumattomalle teräkselle tai muoville. Aktiivimateriaali ohutkalvokennossa on noin 100–1000 kertaa ohuempaa kuin piikkennoissa. Ohutkalvopaneeleilla pystytään keräämään hajasäteilyä hiukan tehokkaammin kuin kiteisen piin paneeleilla, mutta vaikutus on vuositasolla vähäinen. (Aurinkosähköteknologiat 2016.)

Ohutkalvopaneelit päästävät enemmän valoa lävitseen, joten niillä ei saada auringonsäteilyä hyödynnettyä sähköntuotantoon yhtä hyvin kuin kiteiseen piihin perustuvilla paneeleilla. Kaksi tärkeintä ohutkalvoteknologiaa koostuvat metalli-puolijohdeyhdisteistä; CdTe (kadmium-telluridi) ja CIS (kupari-indium-diselenidi, CuInSe_2). Tähän joukkoon kuuluu lisäksi amorfinen pii (amorphous silicon, a-Si), jolla ei ole minkäänlaista kiderakennetta. Kuvissa 13 ja 14 nähdään ohutkalvopaneeleja, joista toinen on rakenteeltaan hyvin muoltoiltava. (Aurinkosähköteknologiat 2016; Aurinkosähköteknologiat 2016.)



Kuva 13. Ohutkalvopaneeli (Motiva 2016).



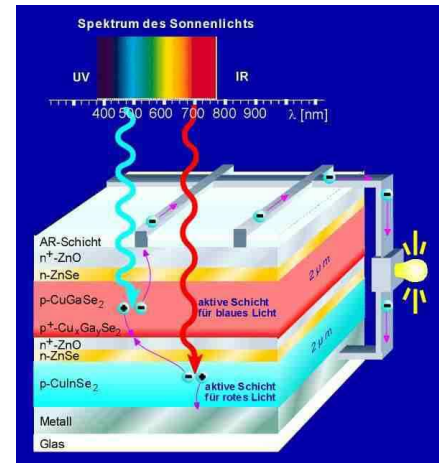
Kuva 14. Ohutkalvopaneeli (Cellcom 2016).

4.4.2 Moniliitoskennot

Nykyiset aurinkokennot leikkaavat auringon säteilystä vain yhden spektrisiivun ja muu säteily menee hukkaan. Moniliitoskennot leikkaavat spektristä useita kaistoja ja muuttavat ne sähköenergiaksi, mikä nostaa hyötysuhdetta huomattavasti. Kuvassa 15 nähdään monikerrospaneeli. Kuvasta 16 nähdään, että monikerrospaneeli perustuu useaan kerrokseen, joista jokainen hyödyntää tietyn säteilyspektrin omassa kerroksessaan ja laskevat läpi muut spektrit. Näistä puolijohteista jokainen reagoi tehokkaimmin eri aallonpituiseen säteilyyn. Kerroksia voi olla useampia kuin esimerkin kuvassa, jolloin saadaan mahdollisimman laaja säteilyspektri hyödynnettyä. Kennojen valmistus on toistaiseksi niin kallista, että näiden kennojen yhteyteen on kannattavaa asentaa valonkerääjiä, jotka kohdistavat optisesti valon laajemmalta alueelta pienelle kennolle. (Carlstedt 2014, 11; Kvick 2010, 22.)



Kuva 15. Monikerrospaneeli (Kvick 2010, 22).

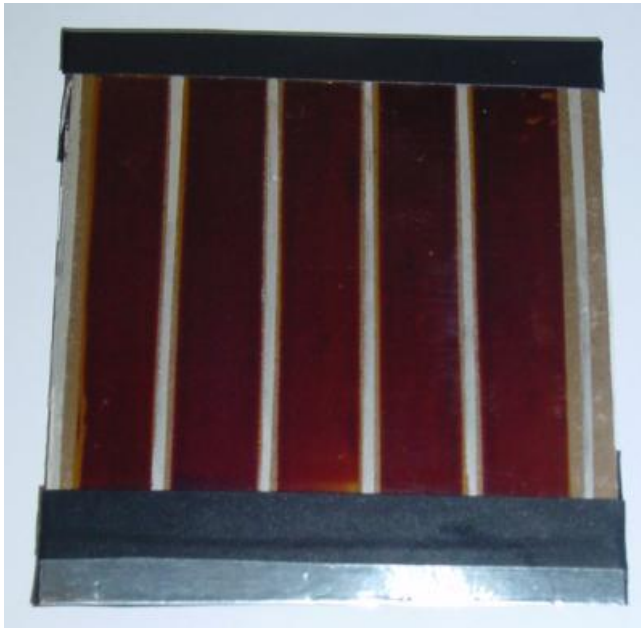


Kuva 16. Monikerrospaneelin toimintaperiaate (Kvick 2010, 22).

4.4.3 Muut aurinkokennot

Kolmannen sukupolven aurinkokennot ovat vielä tutkimusasteella. Esimerkkinä voidaan mainita nanokidekennot, joita kutsutaan myös väriaineherkistetyiksi aurinkokennoiksi tai Grätzel-kennoiksi. Tällainen aurinkokenno on kuvassa 17. Nanokidekennoissa ei ole pn-liitoksen aikaansaamaa sähkökenttää, vaan elektronien liike perustuu kemiallisiin reaktioihin. Kenno koostuu nanokokoisista titaanidioksidihiuksista, jotka on pinnoitettu säteilyä absorboivilla väriainehiukkasilla ja käsitelty elektrolyyttiliuoksella. Kun säteily saavuttaa väriainehiukkaset, kennolla vapautuu elektroneja, jotka kulkeutuvat puolijohdavalta titaanidioksidikerrokselta ulkoiseen virtapiiriin. (Aurinkosähköteknologiat 2016; Satakuntaliitto 2016, 3.)

Tutkimus- ja kehitysvaiheessa on useita muitakin aurinkokennotyyppejä. Esimerkkinä voidaan mainita joustavat aurinkokennot, jotka vastaavat ohutkalvoteknologiaa, mutta niissä valoherkkä aine painetaan joustavalle pohjamateriaalille, esimerkiksi rullattavalle muoville. Näistä on käytössä sovelluksia maailmalla. (Aurinkosähköteknologiat 2016.)

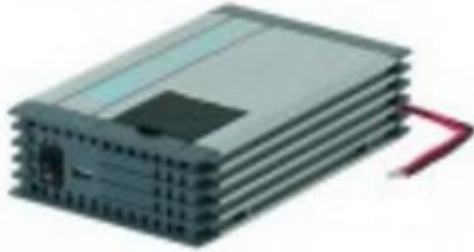


Kuva 17. Väriaineherkistetty nanokiteinen aurinkokenno (Aurinkosähköteknologiat 2016.)

4.5 Invertteri

Aurinkopaneelien tuottaman tasavirran muuttamiseen vaihtovirraksi tarvitaan invertteri eli vaihtosuuntaaja. Pientalojen kokoluokassa aurinkosähköjärjestelmään sisältyy useimmiten yksi invertteri. Saatavilla on myös mikroinverttereitä, jotka liitetään järjestelmään paneelikohtaisesti. Liitettäessä järjestelmään useita mikroinverttereitä, järjestelmä tuottaa tehokkaammin sähköä sellaisissa tilanteissa, joissa osa paneeleista on varjossa, likaantunut tai vikaantunut. Tällaiset invertterit on esitetty kuvissa 18 ja 19. (Paavola 2013, 27; Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä 2016.)

Isojen aurinkosähköjärjestelmien invertterit ovat kooltaan huomattavasti suurempia kuin pienten järjestelmien. Tällaiset invertterit vaativat riittävän ison ja ilmavan tilan, jotta laite jäähtyy tarpeeksi. Kuvassa 20 on suuri invertteri, joka tuottaa paljon lämpökuormaa, ja se on huomioitava laitteen sijoittamisessa. (Anttonen 2015, 8.)



Kuva 18. Invertteri (JN-Solar 2016).



Kuva 19. Mikroinvertteri (Suntekno 2016).



Kuva 20. Kuva 19. 100-500kW invertteri (ABB 2016).

4.6 Verkkoinvertteri

Mikäli aurinkosähkijärjestelmä kytketään yleiseen sähköverkkoon, tulee järjestelmään asentaa siihen soveltuva verkkoinvertteri. Verkkoinvertteri poikkeaa erillisestä invertteristä siten, että verkkoinvertterin on tuotettava täsmälleen saman vaiheista jännitettä verkon jännitteen kanssa. Jännitteen on oltava myös suurempi, jotta sähkövirta kulkisi verkkoon päin. Lisäksi verkkoinvertterin täytyy kytkeytyä irti verkosta, jos verkon jännite häviää. Verkkoinvertterijärjestelmät ovat pääasiassa tarkoitettut asuinrakennusten omaan

sähköntuotantoon, joissa tuotettu sähköenergia käytetään itse ja ylijäämä sähköenergia menee verkkoon. (Hinkkainen 2016, 29; Kwick 2012, 35–36.)

Verkkoinvertterissä tulee olla maksimitehopisteen seuranta MPTT (engl. Maximum Power Point Tracking), koska paneeli ei toimi automaattisesti maksimitehopisteessään. Maksimitehopisteen seurannan tarkoitus on, että aurinkosähköjärjestelmä toimii jatkuvasti mahdollisimman lähellä optimaalista toimintapistettään. Maksimitehopiste vaihtelee jatkuvasti säteilytehon ja paneelin lämpötilan vaihdella. Kuvassa 21 nähdään verkkoinvertteri, jossa on maksimitehopisteen seuranta. (Paavola 2013, 24–25.)



Kuva 21. Verkkoinvertteri (JN-Solar 2016).

4.7 Turvakytkin

Yleiseen sähköverkkoon kytkettyjen aurinkosähköjärjestelmien tulee katkaista sähköntuotanto automaattisesti, kun sähköverkkoon tulee sähkökatko. Aurinkosähköjärjestelmässä tulee olla manuaalinen ja lukittava turvakytkin, jolla aurinkosähköntuotanto saadaan katkaistua. Turvakytkin tulee sijaita paikassa, johon on esteetön pääsy. Verkkoon kytketyssä aurinkosähköjärjestelmässä syntyvästä takasyöttövaarasta on varoitettava varoituskytillä. (Pienten tuuli- ja aurinkosähköjärjestelmien asennusopas 2013, 19.)

Ulkomaankielisessä materiaalissa mainitaan palomiehen kytkin (Fireman's switch). Kytkin asennetaan aurinkopaneelin välittömään läheisyyteen, ja sen tarkoitus on erottaa kaapeli jännitelähteestä eli aurinkopaneelistä. Palomiehen kytkimen ansioista aurinkopaneelilta tuleva tasajännite ei aiheuta vaaraa tasavirtalinjassa. (PV fireman's switch 2017.)

Kaiken varalta sähköjärjestelmissä tulee olla myös manuaalinen ja lukittavissa oleva turvakytkin, jolla aurinkosähköntuotanto voidaan kytkeä pois päältä. Turvakytkimen sijainnin pitää olla sellainen, että sinne on esteetön pääsy ja takasyöttövaarasta on varoitettava varoituskyltillä. (Pienten tuuli- ja aurinkosähköjärjestelmien asennusopas 2013, 19.)

4.8 Lataussäädin

Verkkoon kytkemättömissä aurinkosähköjärjestelmissä aurinkopaneelien ja akuston väliin asennetaan lataussäädin. Tällainen on kuvassa 22. Lataussäätimen tehtävänä on estää akkujen ylilatautuminen sekä virran pääsy takaisin paneeliin. Lataussäätimen tyyppi valitaan aurinkopaneelin maksimivirran mukaan. (Hinkkainen 2016, 30.)

MPPT-säädin eli maksimitehopisteen seuraaja (Maximum Power Point Tracking) säätää aurinkopaneelit tuottamaan sähköä mahdollisimman suurella hyötysuhteella. Lisäksi se valvoo, että akusto latautuu optimaalisella tavalla. (Kvick 2010, 32; Verkkoon kytkemätön aurinkosähköjärjestelmä 2016.)



Kuva 22. Lataussäädin (JN-Solar 2016).

4.9 Akku

Verkkoon kytkemättömissä aurinkosähköjärjestelmissä aurinkopaneelien tuottama sähkö varastoidaan akkuihin ennen käyttöä, mikäli sähköntuotanto ja –kulutus eivät osu samaan hetkeen. Akuissa olevaa virtaa voidaan ottaa suoraan tasavirtaa hyödyntäviin laitteisiin. Mikäli aurinkopaneelien tuottama tasavirta halutaan muuttaa normaalijännitteiseksi vaihtovirraksi, on järjestelmään lisättävä invertteri. (Verkkoon kytkemätön aurinkosähköjärjestelmä 2016.)

Akku muuttaa ladattaessa sähköenergian kemialliseksi energiaksi ja purettaessa takaisin sähköenergiaksi. Akut voidaan jakaa rakenteidensa perusteella neljään pääryhmään (Kvick 2010, 33.):

- avonaiset akut
- suljetut akut
- geeli- eli hyytelöakut
- litiumakut.

Yleisin akkutyyppejä on lyijyaku, koska se on hankintahinnaltaan edullisin. Tällaiset akut kestävät useita syväpurkauksia, minkä vuoksi ne soveltuvat hyvin aurinkosähköjärjestelmiin. (Anttonen 2015, 6.)

4.10 Kaapelointi

Aurinkosähköjärjestelmän kaapelien tulee kestää jäätä, tuulta, lämpötilojen muutoksia ja auringon säteilyä. Kaapelit mitoitetaan 1,25 kertaa suuremmaksi kuin järjestelmän suurin mahdollinen virta eli oikosulkuvirta. (Isojunno 2014, 25; Hinkkainen 2016, 31.)

4.11 Aurinkopaneelien kiinnittäminen

Aurinkopaneelit tulee kiinnittää siten, että kiinnitysrakenteet kestävät myrskytuulet. Aurinkopaneelit kestävät hyvin mekaanista rasitusta, mikäli aurinkopaneelit eivät pääse liikkumaan eivätkä taipumaan. (Pienten tuuli- ja aurinkosähköjärjestelmien asennusopas 2014, 4.)

Aurinkopaneelien asennuksessa on huomioitava, että ilma pääsee kiertämään paneelien ja katon välistä, mikä parantaa paneelien jäähtytystä ja siten hyötysuhdetta. Kotitalouksien kokoluokan aurinkosähköjärjestelmille (1-10 kW) on kiinnitysjärjestelmiä hyvin saatavilla yleisille kattotyypeille kuten peltikatolle, tiilikatolle ja huopakatolle. Lisäksi sopivia telineitä on saatavilla maan pinnalle asennettaville järjestelmille. Kiinnitysjärjestelmien asentaminen onnistuu yleensä ilman erikoisammattitaitoa ja erikoistyövälineitä. Järjestelmiin kuuluvat kattorakenteisiin kiinnitettävät kiinnikkeet ja niihin kiinnitettävät

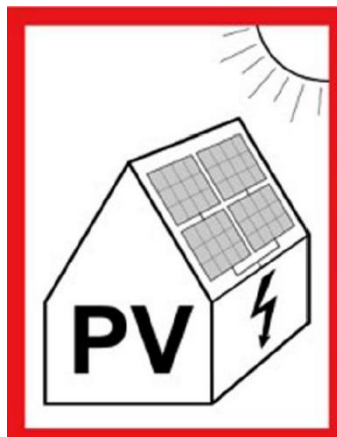
asennuskiskot paneeleille. (Pienten tuuli- ja aurinkosähköjärjestelmien asennusopas 2014, 14–15.)

Kiinnitettäessä kiskojen kiinnitysrautoja tulee huomioida, että ne kiinnitetään lujiin kattorakenteisiin, mieluiten kattotuoleihin tai tukeviin apurakenteisiin. Aurinkopaneelien yläreuna asennetaan yleensä korkeintaan katon harjan tasalle, että tuuli ei pääse vaikuttamaan paneeleihin. Toisaalta aurinkopaneelit olisi hyvä asentaa mahdollisimman korkealle. (Pienten tuuli- ja aurinkosähköjärjestelmien asennusopas 2014, 17.)

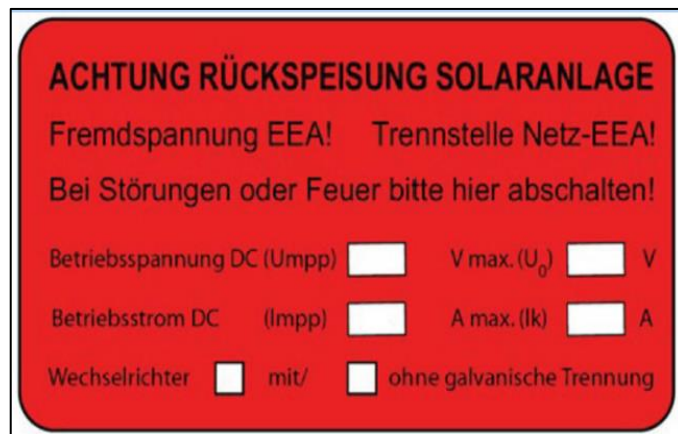
4.12 Merkinnät

Tällä hetkellä aurinkosähköjärjestelmän merkinnöistä on vain vähäisiä vaatimuksia. Mikäli omasta sähköntuotannosta aiheutuu takaiskuvaara, tulee turvakytkimen ja sähkökeskuksen lähellä olla varoituskylttejä (Pienten tuuli- ja aurinkosähköjärjestelmien asennusopas 2014, 19). Tällainen merkintä tulisi mielestäni olla selkeä ja hyvin näkyvillä sekä kertoa, miten toimia, jos turvakytkintä tarvitsee käyttää.

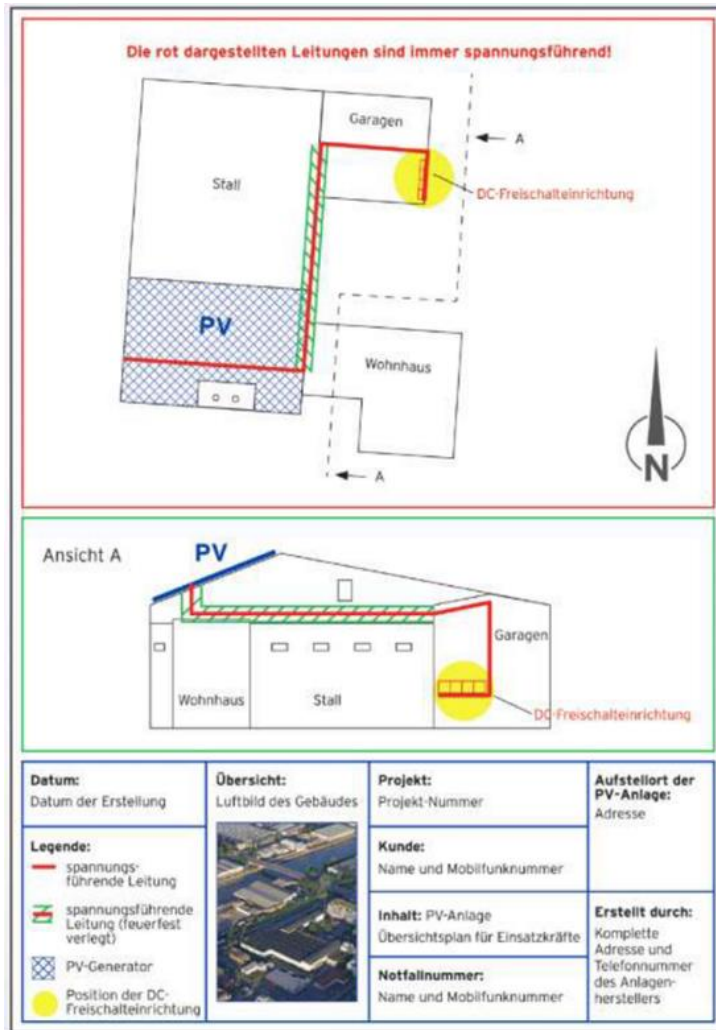
Kuvissa 23 ja 24 sekä 25 on esimerkkejä merkinnöistä ja pohjakuvista.



Kuva 23. Aurinkosähköjärjestelmä (Villiger 2013).



Kuva 24. Tarkemmat tiedot (Villiger 2013).



Kuva 25. Pohjakuvaan merkityt aurinkosähköjärjestelmän laitteet (Prume 2015, 248)

5 LAINSÄÄDÄNTÖ

Aurinkosähköjärjestelmiä koskevaa ja ohjaavaa lainsäädäntöä on maankäyttö- ja rakennuslaissa (132/1999), sähkömarkkina- ja valtionneuvoston asetuksessa sähkömarkkinoista (65/2009) sekä sähköturvallisuuslaissa (1135/2016). Lisäksi aurinkosähköjärjestelmien rakentamista ohjataan rakennusmääräyksissä.

Mikrogeneraattoreille asetetaan vaatimuksia standardissa SFS-EN 50438 ja pienjännitesähköasennuksille standardissa SFS 6000. Standardeilla varmistetaan, että aurinkosähköjärjestelmien asennus ja käyttö on turvallista.

5.1 Maankäyttö- ja rakennuslaki

Maankäyttö- ja rakennuslailla (132/1999) määritetään rakentamiseen liittyvät säädökset. Tämän lain perusteella kunnat ohjeistavat rakentamista tarkemmin asemakaavoilla, rakennusjärjestyksellä ja rakennustapaohjeilla. Maankäyttö- ja rakennuslaissa määritellään milloin rakentamiseen tarvitaan rakennus- tai toimenpidelupa. (Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999, 4 §, 14 §, 20§, 125 §, 126 § ja 126 a §.)

Aurinkopaneelit asennetaan useasti rakennusten katoille ja seinille, jolloin lain mukaan siihen tarvitaan toimenpidelupa, koska se on niin kutsuttu julkisivutoimenpide (Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999, 126 a § 1 mom. kohta 7). Mikäli toimenpidettä voidaan pitää vähäisenä, voi kunta määrätä rakennusjärjestyksessä, että toimenpidelupaa ei tarvita (Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999, 126 a§, 2 mom.).

5.2 Sähköturvallisuuslaki

Sähköturvallisuuslaissa (1135/2016) asetetaan vaatimuksia sähkölaitteiden ja -laitteistojen turvallisuudesta. Lain mukaan sähkölaitteet ja -laitteistot on pidettävä turvallisena ja estää sähkömagneettisten häiriöiden haitalliset vaikutukset. Sähköturvallisuuslakia lakia sovelletaan niihin laitteisiin, joita käytetään sähkön tuottamisessa, siirrossa, jakelussa tai käytössä. Tämän perusteella voidaan sanoa, että sähköturvallisuuslaki koskee myös aurinkosähköjärjestelmiä. (Sähköturvallisuuslaki 1135/2016, 1 §, 2 §, 31 § ja 39§.)

Laissa määritetään myös sähkölaitteistojen käyttöönotto ja käyttö. Sähkölaitteisto voidaan ottaa käyttöön vasta, kun se täyttää sähköturvallisuuslaissa (1135/2016) asetetut vaatimukset ja käyttöönottotarkastuksessa on riittävästi selvitetty sähkölaitteiston vaaratomuus ja häiriöttömyys. Käyttöönottotarkastusta ei vaadita kuitenkaan verkkoon kytkevämmille nimellisjännitteeltään enintään 50 voltin vaihtojännitteellä tai 120 voltin tasajännitteellä toimiville järjestelmille (Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös sähkölaitteistojen käyttöönotosta ja käytöstä 517/1996, 4 § 2 mom. kohta 2).

Sähköturvallisuuden varmistamiseksi laissa määrätään sähkölaitteistolle tehtäväksi varmennus- ja määräaikaistarkastukset ennen käyttöönottoa. Laissa on määritelty varmennus- ja määräaikaistarkastusten vaatimukset sähkölaitteistoluokituksen mukaan. Varmennustarkastuksen raja on 35 A, joka ei ylitä omakotitalojen tavanomaisissa aurinkosähköjärjestelmissä. (Sähköturvallisuuslaki 1135/2016, 44 §, 45 §, 46 §, 49 ja 50 §.)

5.3 Sähkömarkkinalaki

Sähkömarkkinalaki (588/2013) määrittää sähköverkonhaltijalle useita velvoitteita. Yksi velvollisuus, joka liittyy aurinkosähköjärjestelmiin, on liittämisvelvollisuus. Lain mukaan sähköverkonhaltijan on pyynnöstä liitettävä sähköverkkoonsa tekniset vaatimukset täyttävät sähkönkäyttöpaikat ja voimalaitokset. (Sähkömarkkinalaki 588/2013, 20§.) Tämä velvollisuus koskee myös pien- ja mikrotuotantolaitoksia kuten omakotitalojen aurinkosähköjärjestelmiä.

5.4 Standardit

Aurinkosähköjärjestelmiä koskee myös muutama SFS-standardi. SFS-EN 50438 -standardilla asetetaan vaatimuksia mikrogenaattoreille ja SFS 6000-standardilla pienjännitesähköasennuksille. Saksalaisen standardin VDE-AR-N-4105 mukaan verkkoinvertteri kytkee aurinkosähköjärjestelmän tuotannon pois päältä sähkökatkon sattuessa. (Lainsäädäntö ja muu ohjaus 2016.)

SFS-EN 62446-1- standardi määrittelee käyttöönottotestit ja tarkastuskriteerit sekä dokumentaation, jonka odotetaan todistavan, että asennus on turvallinen ja toimii tarkoituk-

senmukaisesti. Laadittu sähköverkkoon kytketyille aurinkosähköjärjestelmille, jotka eivät sisällä energiavarastoja ja tarkoitettu aurinkosähköjärjestelmien suunnittelijoiden ja urakoitsijoiden käytettäväksi.

6 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMIEN VAARAT JA ONNETTOMUUDET

Aurinkosähköjärjestelmät aiheuttavat vuosittain erilaisia onnettomuuksia. Ulkomaisia selvityksiä tutkiessani havaitsin, että aurinkosähköjärjestelmät ovat aiheuttaneet eniten rakennuspaloja tai rakennuspalovaaroja. Onnettomuudet ovat johtuneet sähkölaitteiden vikaantumisista, kuten kaapeleiden tai akuston oikosuluista tai inverttereiden aiheuttamista vioista. Oikosulut ovat aiheuttaneet kipinöintiä ja liekkejä, joista palot ovat saaneet alkunsa. (Grant 2010, 22–24; Prume ym. 2015.)

Kipinöintiä voi aiheutua useasta eri syystä kuten johdon rikkoontumisesta tai löysästä liitoksesta. Aurinkosähköjärjestelmässä kipinöintiä voi aiheutua, kun liitäntä tai johto irttoa järjestelmän tuottaessa sähköä. Kipinöintiä voi aiheutua myös silloin, kun kaksi eri vaiheista johtoa koskettavat toisiaan. Tällainen tilanne voi syntyä naulan osuessa sähköjohtoon tai sähköjohdon eristeiden vaurioituttua esimerkiksi eläinten vahingoittaessa johtoa. (Höfflin 2012, 4.)

Vikaantumiset voivat aiheutua järjestelmän ikääntymisestä ja säännöllisen huollon ja tarkastuksen puutteesta. Aurinkosähköjärjestelmän asennuksen laadulla ja asentajien ammattitaidolla on suuri merkitys järjestelmän turvallisuuteen. On tärkeää, että laitteet tarkastetaan ja huolletaan riittävän usein, sillä myös aurinkopaneelien halkeamat ja vikaantumiset voivat aiheuttaa sähköiskun ja tulipalon vaaran. Paneeli voi vaurioitua ulkoisen kuorman kuten lumen painosta. On myös mahdollista, että aurinkopaneeli on vaurioitunut liian kireälle kiristetyistä tai löysästä kiinnityksestä. Kiinnitys on voinut jäädä asennusvaiheessa löysälle tai se on löystynyt esimerkiksi tuulen vaikutuksesta, jolloin paneeli on päässyt liikkumaan ja kiinnitysrauta on rikkonut aurinkopaneelin. (Höfflin 2012, 4; Köntges ym. 2014, 22–24.)

6.1 Tapahtuneet onnettomuudet Suomessa

Selvitin PRONTO- järjestelmästä Suomessa tapahtuneita onnettomuuksia, jotka olivat aiheutuneet aurinkosähköjärjestelmistä. Havaitsin, että aurinkosähköjärjestelmien aiheuttamia onnettomuuksia oli vuosittain tapahtunut vain muutama. Tutkimuksen tulokset esitetään taulukossa 1. Onnettomuuden oli aiheuttanut joko kaapelin tai akuston oikosulku.

Suomessakin aurinkosähköjärjestelmät ovat aiheuttaneet pääosin rakennuspaloja. Lisäksi havaitsin, että aurinkosähköjärjestelmästä alkanut palo oli aiheuttanut myös maastopalon.

Tietojen löytäminen PRONTO- järjestelmästä oli aluksi haastavaa, mutta aurinkosähköön liittyvää hakusanaa käytettäessä suomeksi ja ruotsiksi löytyi muutama onnettomuus. Tekstihakuna käytin sanoja aurinko, solener ja solpan, jotka PRONTO- järjestelmä hakee kaikista kentistä. PRONTO- järjestelmä haki kaikki onnettomuudet, joissa esiintyi edellä mainittuja sanoja jollain tavalla.

On vaikea sanoa, onko aurinkosähköjärjestelmien aiheuttamia onnettomuuksia vielä enemmän. Tietojen löytäminen riippuu täysin siitä, miten pelastustoiminnan johtaja on kirjannut onnettomuuden tapahtuman ja siihen liittyvät tiedot. Mikäli kirjaamisessa ei ole mainittu sanallakaan aurinkosähköjärjestelmään viittaavia sanoja, ei järjestelmästä löydy ainuttakaan tällaista onnettomuutta.

Taulukko 1. Aurinkosähköjärjestelmien aiheuttamat onnettomuudet Suomessa 2012–2016 (PRONTO).

Syy	2012	2013	2014	2015	2016
Akusto	1	1	1	2	2
Kaapelointi		1	1		
Yhteensä	1	2	2	2	2

6.2 Muut vaarat

Aurinkosähköjärjestelmät aiheuttavat aina valaistuina ollessaan riskejä, joihin ei olla aiemmin sähkölaitteiden kanssa varauduttu. Aurinkosähköjärjestelmät ovat sähkölaitteita, ja sen vuoksi niihin liittyy samanlaisia turvallisuusriskejä kuten muihinkin sähkölaitteisiin. Sähkön aiheuttamat vaarat ovat hyvin tiedossa ja ne osataan huomioida sekä niihin osataan varautua.

6.2.1 Sähköpalo

Suomessa syttyy vuosittain yli tuhat sähkön aiheuttamaa rakennuspaloa. Sähköpaloiksi luokitellaan tulipalot, joiden suorana syttymisenergiana on sähkö. Aurinkosähköjärjestelmät luokitellaan tähän kategoriaan. (Sähköpalot 2013.)

Sähköpalon voi aiheuttaa sähkölaitteen tai -laitteiston huono liitos. Huonossa liitoksessa johdin tai johtimet on kiinnitetty liian kireälle tai löysälle, mikä aiheuttaa ongelmia sähkövirran kulussa. Huonossa liitoksessa syntyy vastuksen takia lämpöä, joka saattaa sytyttää liitoksessa olevia materiaaleja kuten eristeitä palamaan. (Sähköpalot 2013.)

Huono liitos voi aiheuttaa myös kipinöintiä ja voimakkaimmillaan niin sanotun valokaaren. Valokaareissa sähkövirta purkautuu näkyvästi ilman läpi ja sen lämpötila on useita tuhansia asteita. Kipinöinti tai valokaari voi syntyä sähkölaitteeseen tai -laitteistoon joutuneesta vieraasta esineestä, pölystä tai kosteudesta. Lisäksi sähkölaitteeseen tai -laitteistoon aiheutunut mekaaninen vika tai rasitus voi aiheuttaa huonon liitoksen, minkä seurauksena saattaa syntyä kipinöintiä tai valokaari. Vaurioituneet tai puristuksissa olevat johdot voivat myös aiheuttaa vaaratilanteita. (Sähköpalot 2013.)

Salamoinnista johtuvia rakennuspaloja syttyy vuosittain muutama sata, ja aurinkopaneelit lisäävät tulipaloriskiä. Aurinkopaneeleista lähtevät rakenteet ja kaapeloinnit kulkeutuvat rakennuksen sisätiloihin ja saattavat aiheuttaa ylijännitteen aurinkosähköjärjestelmään ja sen vuoksi tulipalon. (Sähköpalot 2013.)

On myös hyvä muistaa, että sähkölaitteen tai -laitteiston väärä käyttö, virheellinen asennus tai huollon puute saattaa aiheuttaa tulipalon. Lisäksi on mahdollista, että sähkölaite olisi jo ostettaessa viallinen ja aiheuttaisi tulipalon. Kuitenkin yleensä sähkölaitteen aiheuttama sähköpalo johtuu ihmisen toiminnasta tai sähkölaitteen käyttöhistoriasta. Sähkölaitetta on saatettu käyttää olosuhteissa, joissa siihen on joutunut likaa, kosteutta tai jotain muuta, mikä ei sinne kuulu. Ajan kuluessa sähkölaitteessa oleva ylimääräinen aines voi aiheuttaa vaiheiden välisen oikosulun ja kipinöintiä, mikä voi taas aiheuttaa sähköpalon. (Sähköpalot 2013.)

6.2.2 Oikosulku

Saarekejärjestelmät eli yleisestä sähköverkosta irrallaan olevat aurinkosähköjärjestelmät ovat pienoisjännitteisiä järjestelmiä, ja ne mielletään helposti melko vaarattomiksi. Pienoisjännitteiseksi sähköjärjestelmäksi määritellään järjestelmä, jonka tasajännite on enintään 120 V ja vaihtojännite enintään 50 V. Pienoisjännitteisen järjestelmän voi asentaa kuka tahansa ilman erityistä sähköalan osaamista. Perusteluina tähän on se, että pienoisjännitteisestä sähköjärjestelmästä ei voi saada ihmiselle vaarallista sähköiskua. (Pienten tuuli- ja aurinkosähköjärjestelmien asennusopas 2014, 2.)

Yhden aurinkopaneelin tuottama jännite on korkeintaan muutamia kymmeniä voltteja. Jos saarekejärjestelmässä on useita aurinkopaneeleja, jotka kytketään sarjaan, voi sarjakytkennän jännite nousta niin suureksi, että pienoisjännitteen raja, 120 V, ylittyy. Siinä tapauksessa järjestelmän asentaminen vaatii sähköurakointioikeudet omaavan asentajan. (Pienten tuuli- ja aurinkosähköjärjestelmien asennusopas 2014, 3.)

Saarekejärjestelmässä olevassa aurinkosähköjärjestelmässä akkuihin varastoitu energia voi äkillisesti purkautuessaan aiheuttaa vaaratilanteen. Akkujen purkausvirta voi kasvaa suureksi, jos akut oikosuljetaan tai melkein oikosuljetaan. Tällöin esimerkiksi johdin voi kuumentua ja aiheuttaa tulipalon. (Pienten tuuli- ja aurinkosähköjärjestelmien asennusopas 2014, 2.)

Metallityökalun putoaminen akun napojen päälle voi oikosulkea akun, jolloin akku purkautuu äkillisesti. Akun sähköenergia muuttuu lämmöksi akun sisäisessä vastuksessa, mikä johtaa akun kuumentumiseen. Työskenneltäessä akkujen lähellä voidaan oikosulkuvaara ehkäistä suojaamalla akusto. (Pienten tuuli- ja aurinkosähköjärjestelmien asennusopas 2014, 2.)

Aurinkopaneelit tuottavat aina valaistuina ollessaan jännitteen paneelin ulostulojohtimien välille. Ulostulojohtimien oikosulkeminen vahingossa voi aiheuttaa kipinäintiä, joka saattaa säikäyttää paneelin lähellä työskentelevän henkilön. Säikähtäminen voi olla vaaraksi erityisesti katolla työskenneltäessä. (Pienten tuuli- ja aurinkosähköjärjestelmien asennusopas 2014, 2.)

Samanlaisia aurinkopaneeleja voidaan kytkeä sekä sarjaan että rinnakkain. Sarjakytkentä summaa paneelijännitteet ja rinnankytkentä summaa paneelivirrat. Tämä tarkoittaa, että sarjaan voi kytkeä paneeleja, joilla on samat virta-arvot, ja rinnakkain voi kytkeä paneeleja, joilla on samat jännitearvot. (Pienten tuuli- ja aurinkosähköjärjestelmien asennusopas 2014, 5-6.)

6.2.3 Sähköisku

Sähköiskuun kuolee Suomessa vuosittain muutama henkilö. Sähkötapaturmat johtuvat yleensä viallisista sähkölaitteesta tai sähkölaitteiden varomattomasta käsittelystä. Sähkön vaikutus elimistössä riippuu kudoksiin siirtyvän sähköenergian määrästä, mikä taas riippuu sähkövirran voimakkuudesta. Sähköiskun vaarallisuus riippuu ihmiskehon läpi kulkevan virran suuruudesta ja siitä, miten kauan se vaikuttaa. (Lääkärikirja Duodecim 2016; Kurvinen 2010, 1.)

Virran voimakkuus määräytyy Ohmin lain mukaisesti, jolloin virran voimakkuus $I = U/R$, jossa I =virran voimakkuus, U = jännite ja R = vastus. Virran voimakkuus voidaan laskea myös tehon kaavan mukaan, jolloin virran voimakkuudeksi saadaan $I = P/U$, jossa I =virran voimakkuus, U = jännite ja P = teho. Virran voimakkuuden yksikkö on ampeeri (A), jännitteen voltti (V), vastuksen/resistanssin ohmia ja tehon wattia (W). Taulukossa 2 ja 3 on arvioita virran voimakkuuden keskimääräisistä vaikutuksista elimistössä. (Lääkärikirja Duodecim 2016.)

Taulukko 2. Virran voimakkuuden vaikutus ihmiseen (Duodecim 2016).

Virran voimakkuus	Vaikutus
1 mA	Ei juuri tunnettavissa, mahdollisesti pistelevä tunne
3–5 mA	Lapsi pystyy itse irrottautumaan sähkövirrasta
6–9 mA	Aikuinen pystyy itse irrottautumaan sähkövirrasta
16–20 mA	Lihasten kouristelu
20–50 mA	Hengityslihasten lamautuminen (hengityspysähdys)
50–100 mA	Sydämen kammiovärinä
Yli 2 A	Sydämen sähköinen toiminta pysähtyy
10–20 A	Yleinen taloussähkön sulakkeiden kestävyys

Taulukko 3. Sähkövirran vaikutukset ihmiskehoon, 50 Hz-taajuudella (Säköturvallisuus 2013).

Virran tehollisarvo mA	Kesto aika	Vaikutukset ihmiskehoon
0 ... 1	Ei merkitystä	Virta ylittää tuntokynnyksen Ei terveysvaikutuksia
1 ... 10	Ei merkitystä	Voimakkaita kipuja käsivarsilihaksissa Ei terveysvaikutuksia
10 ... 15	Ei merkitystä	Kouristuskyky ylittyy, Käsien irrottaminen jännitteisestä kohteesta omin avuin ei onnistu Ei terveysvaikutuksia
15 ... 30	Minutteja	Käsivarsien kouristuksenomainen yhteentaivutus Hengitysvaikeuksia ja verenpaineen nousu SIETORAJA!
30 ... 50	Sekunneista minutteihin	Epäsäännöllisyyksiä sydämen toiminnassa. Verenpaineen nousu. Voimakkaita kouristuksia. Tajuttomuus. Sydänkammiovärinän riski pitkällä vaikutusajalla.
50 ... 500	Alle 0,8 s Yli 0,8 s	Ei sydänkammiovärinää. Voimakas sokkivaikutus Sydänkammiovärinä. Tajuttomuus. Virran aiheuttamia palovammoja
Yli 500	Alle 0,8 s Yli 0,8 s	Sydänkammiovärinä. Tajuttomuus. Virran aiheuttamia palovammoja Sydänpysähdys. Tajuttomuus. Voimakkaita palovammoja

7 KIRJALLISUUSTUTKIMUKSET JA HAVAINNOT AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMISSÄ

Tässä työssä selvitin ulkomaisista raporteista ja tutkimuksista aurinkosähköjärjestelmien liittyviä vaaroja pelastushenkilöstölle. Raportit ja tutkimukset oli tehty pääosin Yhdysvalloissa, mutta tutustuin myös Saksassa, Ruotsissa ja Englannissa tehtyihin materiaaleihin. Materiaalia tutkiessani havaitsin, että aiemmin mainitsemissani maissa aurinkosähköjärjestelmien vaarat on otettu vakavasti. Pelastushenkilöstön turvallisuus on koettu tärkeäksi asiaksi, minkä vuoksi aurinkosähköjärjestelmien vaaroja pelastushenkilöstölle on haluttu nostaa esille ja kertoa, miten onnettomuuksilta välttyttäisiin.

Suomessakin suhtaudutaan sähköturvallisuuteen hyvin vakavasti, ja uskon, että pelastushenkilöstökin ottaa asian riittävällä vakavuudella. Suomeen tuotujen ja täällä valmistettujen sähkölaitteiden taso ja luotettavuus on hyvin valvottua, minkä vuoksi sähkölaitteiden turvallisuus on korkealla tasolla. Aurinkosähköjärjestelmienkin osalta laitteiden turvallisuus on varmasti korkealla tasolla, mutta niiden turvallisuudesta pelastushenkilöstölle ei ole kerrottu oikeastaan mitään. Uskon kuitenkin, että Suomessa pelastushenkilöstön tietotaito sähköjärjestelmien turvallisuuden osalta on hyvin hallinnassa.

Ulkomaisissa tutkimuksissa selvitettiin useiden taulukoiden avulla tutkimustuloksia. Tutkimustuloksissa käytettiin erilaisia värejä kuvaamaan sähkön aiheuttamia vaaroja. Tutkimuksista saatujen sähkövirran määrät esitettiin eri väreillä kuvaamaan, miten vaarallinen saadun sähkövirran määrä on ihmiselle. Tutkimuksissa vihreä väri osoitti saadun tuloksen olevan ihmiselle vaaraton, kun taas punainen väri ilmoitti tuloksen olevan ihmiselle hyvin vaarallinen. Lisäksi keltaista ja oranssi värikuvaamaan vaaraa. Tarkastelemieni tutkimusten värikoodit noudattivat saamaa kaavaa.

Yhdysvaltalaisessa tutkimuksessa saatuja tuloksia merkitään taulukon 4 mukaan (Backstrom ym. 2011, 22–23):

- Vihreällä värillä merkitään tuloksia, joissa tasavirran (DC) määrä on alle 2 milliampeeria (mA). Tällainen virtamäärä ei aiheuta ihmiselle vaaraa.
- Keltaisella värillä merkitään tuloksia, joissa tasavirran määrä on yli 2 mA, mutta alle 40 mA. Tällainen virtamäärä voi aiheuttaa ihmiselle vakavan vamman.

- Oranssilla värillä merkitään tuloksia, joissa tasavirran määrä on yli 40 mA, mutta alle 240 mA. Tällainen virtamäärä on ihmiselle vaarallinen ja saattaa aiheuttaa ihmisen kiinnijäämisen virtalähteeseen.
- Punaisella värillä merkitään tuloksia, joissa tasavirran määrä on yli 240 mA. Tällainen virtamäärä on ihmiselle hyvin vaarallinen ja voi aiheuttaa sydämen pysähtymisen.

Taulukko 4. Tutkimuksessa saatujen tulosten värikoodit (Backstrom ym. 2011, 23).

0 - 2 mA	2.1 - 40 mA	40.1 - 240 mA	> 240 mA
Safe	Perception	Lock On	Electrocution

Saksalaisessa tutkimuksessa (Prume ym. 2015) sähkövirran määrät ja niiden vaikutukset on jaoteltu neljään alueeseen. Taulukossa 5 on merkitty vasempaan reunaan neljä eri sähkövirran vaara-alueita, jotka on selitetty taulukon alaosassa. Taulukon yläreunassa on merkitty standardi IEC-60479-1, jonka mukaan ihmiselle vaaralliset virtamäärät on ilmoitettu standardin alapuolella vaihtovirran (AC) ja tasavirran (DC) määrinä. Taulukon oikeassa reunassa on merkitty yhdysvaltalaisen tutkimuksen (Backstrom ym. 2011) tasavirran vaara-alueet värikoodein. Nämä virta-alueet on merkitty tässä työssä myös taulukossa 4.

Taulukko 5. Virran voimakkuuden alueet ja vaikutukset ihmiseen (Prume ym. 2015, 121).

Sähkövirran alueet		IEC 60479-1		UL
		AC	DC	DC
Bereich 1	Safe	< 0,5 mA	< 2 mA	0 - 2 mA
Bereich 2	Perception	0,5 - 5 mA	2 - 25 mA	2,1 - 40 mA
Bereich 3	Lock On	5 - 35 mA	25 - 150 mA	40,1 - 240 mA
Bereich 4	Electrocution	> 35 mA	> 150 mA	> 240 mA

Bereich 1: Havainnointi mahdollista, ei fyysistä reaktiota.
 Bereich 2: Lihassupistukset ovat mahdollisia.
 Bereich 3: Voimakas tahaton lihasreaktio on mahdollista.
 Bereich 4: Kammiovärinä mahdollista

7.1 Veden aiheuttamat vaarat

Selvitin Yhdysvalloissa tehtyjen tutkimuksien perusteella vesisuihkun vaarallisuutta pestajille aurinkosähköjärjestelmissä. Tutkimuksissa suihkutettiin vettä kahdella erilaisella suihkuputkella eri etäisyyksien päästä kuparilevyyn, jonka jännitettä (DC) muutettiin testien aikana. Toinen suihkuputki oli suorasuihkuputki, jossa vesi tulee suoraan tiettyllä halkaisijalla olevan suuttimen läpi. Toinen suihkuputki oli varustettu suihkukulman säädöllä, jossa vesi tulee suihkuputken päässä olevien pyörivien hampaiden läpi. (Backstrom ym. 2011, 26.)

Sähkövirran voimakkuutta mitattiin kuparilevyn ja suihkuputken välillä kuvassa 26 esitetyllä tavalla. Tutkimuksessa käytettiin 50, 300, 600 ja 1000 voltin tasajännitettä. Tutkimuksessa oli huomioitu ihmisen resistanssi 500 ohmin vastuksella, joka oli asennettu järjestelmään. Tutkimuksessa käytetyn veden sähkönjohtavuus oli 1050–1125 microSiemenssiä senttimetriä kohti ($\mu\text{S}/\text{cm}$). (Backstrom ym. 2011, 26.)



Kuva 26. Vesisuihku jännitteelliseen kuparilevyyn (Backstrom ym. 2011, 27).

Tutkimuksessa suurimman sähkönjohtavuuden saavutti noin 1,5 metrin (5 jalkaa) etäisyydeltä ja 0,35 baarin (5,2 PSI) paineella suihkutettu vesi, jonka vuotovirta oli 16,9 mA. Vastaavalla etäisyydeltä suihkutettu vesi suorasuihkulla suihkuputken pään halkaisijan ollessa 2,54 cm (1 tuuma) vuotovirta oli 16,5 mA. Näissä tutkimuksissa käytettiin 1000 voltin tasajännitettä. (Backstrom ym. 2011, 30.)

Etäisyyden kasvaessa 3 metriin (10 jalkaa) ja paineen ollessa 1,45 baaria (21 PSI) sekä suorasuihkuputken pään ollessa halkaisijaltaan 2,54 cm (1 tuuma) vuotovirta oli 5,7 mA.

Vastaavasti säädettävällä suihkuputkella 3 metrin (10jalkaa) etäisyydeltä 2,4 barin (35 PSI) paineella suihkutettu vesi saavutti 3,7 mA:n vuotovirran. Etäisyyden kasvaessa 6,1 metriin (20 jalkaa) ja paineen ollessa 1,6 ja 4,2 baarin välillä (23–60 PSI) vuotovirta oli 1,5 mA. Näissäkin tutkimuksissa käytettiin 1000 voltin tasajännitettä. (Backstrom ym. 2011, 28–29.)

Testien tulokset osoittivat sen, että etäisyyden ja suihkukulman sekä suihkuputken pään halkaisijan kasvaessa sähkönjohtavuus pienenee. Lisäksi tutkimus osoitti, että vesisuihkun painetta kasvattaessa sähkönjohtavuus paranee tiettyyn rajaan asti. Suuri paine ei paranna sähkönjohtavuutta.

Saksalaisessa tutkimuksessa (Prume ym. 2015), jossa tehtiin samanlaisia tutkimuksia kuin Backstrom ym. 2011, tutkittiin veden sähkönjohtavuutta 1 metrin ja 5 metrin etäisyydeltä. Tutkimuksessa käytettiin 1000 voltin jännitettä samanlaisessa virtapiirissä kuin Backstrom ym. 2011 tutkimuksessa, mutta ihmisen resistanssia kuvasi 555 ohmin vastus. Tutkimuksessa vettä suihkutettiin 5 baarin paineella ja veden sähkönjohtavuus oli 630 $\mu\text{S}/\text{cm}$. (Prume ym. 2015, 124.)

Tutkimuksessa käytettiin kahta erilaista suihkuputkea. Näistä toinen oli monikäyttöinen suihkuputki, jossa oli kaksi asentoa. Toinen asento suihkutti vettä suoralla suihkulla ja toinen asento suihkutti vettä 15 asteen kulmassa. Vesivirta 5 baarin paineella oli noin 120 l/min suihkuputken pään halkaisijan ollessa 9 mm. (Prume ym. 2015, 123.)

Toinen suihkuputki oli ominaisuuksiltaan sumusuihkuputki, jossa vesisuihku ei ole kokonaan yhtenäinen, vaan vesisuihku on malliltaan kuin putki eli sisältä ontto. Sumusuihkuputkella suihkutettiin vettä suorasisuikulla ja 60 asteen kulmassa. Sumusuihkuputken vesivirtaa pystyi säätämään 55, 120 ja 215 l/min välillä. (Prume ym. 2015, 125.)

Tulokset osoittivat molemmilla suihkuputkilla sen, että virtamäärä jää alle 25 mA:n. Tulokset vaihtelivat noin 8 mA:n ja 22 mA:n välillä, joita ei voida pitää vielä hengenvaarallisina ihmiselle. Saksalaisen tutkimuksen mukaan alle 25 mA:n virtamäärä aiheuttaa lihasten supistumista ja yli 25 mA:n virtamäärä aiheuttaa mahdollisesti voimakasta lihasten supistelua. (Prume ym. 2015, 128–129.)

Tuloksista voidaan päätellä, että jännitteellinen aurinkosähköjärjestelmä voi aiheuttaa vaaraa pelastushenkilöstölle käytettäessä vettä onnettomuustilanteessa. Kuitenkin riittävä etäisyys sähkölaitteeseen antaa mahdollisuuden käyttää vettä. Pelastustehtävässä ei ole aina mahdollista nähdä tarkalleen, mihin vesisuihku osuu ja kuinka kaukana sammutettava kohde on. Lisäksi pelastushenkilöstön tiedossa ovat harvoin aurinkosähköjärjestelmän tuottama jännite- ja virtamäärät, joiden perusteella voitaisiin turvallista etäisyyttä aurinkosähköjärjestelmään arvioida.

7.1.1 Vaahtoneste

Yhdysvaltalaisessa tutkimuksessa käytettiin myös A- luokan vaahtonestettä 3 metrin (10 jalkaa) etäisyydeltä. Tutkimuksessa käytettiin säädettävää suihkuputkea, jolla suihkutettiin vaahtoa vaakatasossa olevan kuparilevyn päälle. Kuparilevyssä oli 1000 voltin tasajännite. Tutkimuksessa käytettiin 0,5 ja 1,0 -prosenttista vaahtoa. Näiden välillä ei juurikaan ollut eroa ja tulokseksi oli saatu 4,1 mA:n vuotovirta. (Backstrom ym. 2011, 32.)

7.1.2 KytKentäkotelot

Tutkimuksessa selvitettiin aurinkosähköjärjestelmään liittyvien koteloiden sähkönjohtavuutta. Tutkimuksessa suihkutettiin vettä kytkentäkoteloihin, jotka saattavat tulipalon aikana olla vaarassa syttyä palamaan tai ovat jo syttyneet palamaan. Tulipalossa tällaiset kotelot pitäisi sammuttaa, mikäli ne uhkaavat levittää paloa. Onnettomuuksissa on myös mahdollista, että pelastushenkilöstö suihkuttaa vettä vahingossa jännitteelliseen koteloon. (Backstrom ym. 2011, 38.)

Tutkimuksessa selvitettiin usean tyyppisiä koteloita, joista osa oli suojausluokaltaan ulkokäyttöön. Nämä kotelot on testattu tarjoamaan suojan likaa, sadetta, räntää ja lunta vastaan. Kotelot eivät kuitenkaan olleet luokiteltu suojaamaan veden tunkeutumista suoran vesisuihkun vaikutuksilta. Testin aikana koteloin ovi avautui, minkä jälkeen tutkittiin veden pääsyä koteloon. (Backstrom ym. 2011, 38.)

Testi tehtiin 600 voltin ja 1000 voltin tasajännitteellä 6 metrin (20 jalkaa) etäisyydeltä suorasuihkuputkella, jossa on halkaisijaltaan 2,54 cm:n (1 tuuma) suutin. Vettä suihku-

tettiin 2,5 minuuttia, minkä aikana suurin vuotovirta mitattiin. Testattaessa sähkönjohtavuutta 1000 voltin tasajännitteellä ei käytetty 500 ohmin vastusta kuvaamaan ihmisen aiheuttamaa impedanssia. Testattaessa 1000 voltin tasajännitteellä tulokset vaihtelivat 6 mA:n ja yli 250 mA:n välillä. (Backstrom ym. 2011, 38–39.)

7.1.3 Varusteet

Yhdysvaltalaisessa tutkimuksessa tutkittiin palomiesten käyttämien varusteiden antamaa suojaa sähköiskuille. Tutkimuksessa tutkittiin palomiesten tyypillisesti käyttämien hansikkaiden ja saappaiden eristyskykyä ja sähkönjohtavuutta. Tutkimuksessa käytettyjen hansikkaiden materiaali oli pääsääntöisesti nahkaa ja saappaat oli kumia ja nahkaa. Osassa saappaissa oli välipohjassa teräsvahvikkeet suojaamassa jalkapohjia ja varpaita. (Backstrom ym. 2011, 41–42.)

Tutkimuksessa tutkittiin kolmea erilaista hansikasta kuvassa 27 esitetyllä tavalla. Hansikkaat testattiin laittamalla metallirakeella täytetty hansikas sähköä johtamattomaan astiaan, joka oli myös täytetty osittain metallirakeella. Astiaan johdettiin 50, 300, 600 ja 1000 voltin tasajännite. Järjestelmään kytkettiin 500 ohmin vastus kuvaamaan ihmisen kehon muodostamaa impedanssia. (Backstrom ym. 2011, 43–44.)



Kuva 27. Hansikkaan sähkön eristävyys testaus (Backstrom ym. 2011, 44).

Tutkimuksessa tutkittiin uuden kuivan, uuden märän sekä käytetyn kuivan ja märän hansikkaan sähkön eristävyttä. Käytettyä hansikasta kuvasi hansikas, joka oli ensin liotettu

14 tuntia suolavesiliuoksessa, jonka sähkönjohtavuus oli 11000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Suolan tarkoitus oli kuvata ihmisen hikeä, jonka sähkönjohtavuus on 2000–11000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Tämän jälkeen hansikkaat oli kuivattu 60 asteisessa uunissa täysin kuivaksi. Hansikkaiden ulkopintaan levitettiin palaneen puun hiiltä peittämään vähintään 75 % hansikkaan pinta-alasta. Käytetty hansikas testattiin kastelemalla hansikas suolavesiliuoksella niin sisältä kuin ulkoa erikseen ja yhtä aikaa. (Backstrom ym. 2011, 44–45.)

Tulokset vaihtelivat kaiken kaikkiaan 0 mA:n ja yli 250 mA:n välillä. Mielestäni yllättävää on, että 1000 voltin tasajännitteellä testattaessa kuivia uusia hansikkaita niiden sisältä mitattu virta oli 0 mA. Uudet hansikkaat tarjoavat erittäin hyvän suojan sähköiskua vastaan. Hansikkaiden välillä oli huomattavia eroja testattaessa samalla jännitteellä. Jo 300 voltin tasajännitteellä ulkopuolelta kasteltu uusi hansikas läpäisi virtaa 2 mA, kun taas toinen hansikas samalla jännitteellä läpäisi yli 250 mA virtaa. Tuloksista käy myös ilmi, että käytetty kuiva hansikas antaa hyvän sähköneristävyyden, sillä niiden sisältä mitattu virta oli käytännössä 0 mA. Osa uusista ulkoa kastelluista hansikkaista suojasi hyvin jopa 1000 voltin tasajännitteellä tehdyn testin aikana. (Backstrom ym. 2011, 49.)

Taulukosta 6 voidaan nähdä hansikkaiden sähkönjohtavuus. Taulukon vasempaan sarakkeeseen on jokainen hansikas merkitty omalla numerolla. Seuraavista sarakkeista nähdään, onko hansikas käsitelty ennen testiä jollain tavalla. Taulukon oikeassa yläreunassa nähdään testauksessa käytettyjen jännitteiden arvot ja niiden alla mitatut milliampeerit.

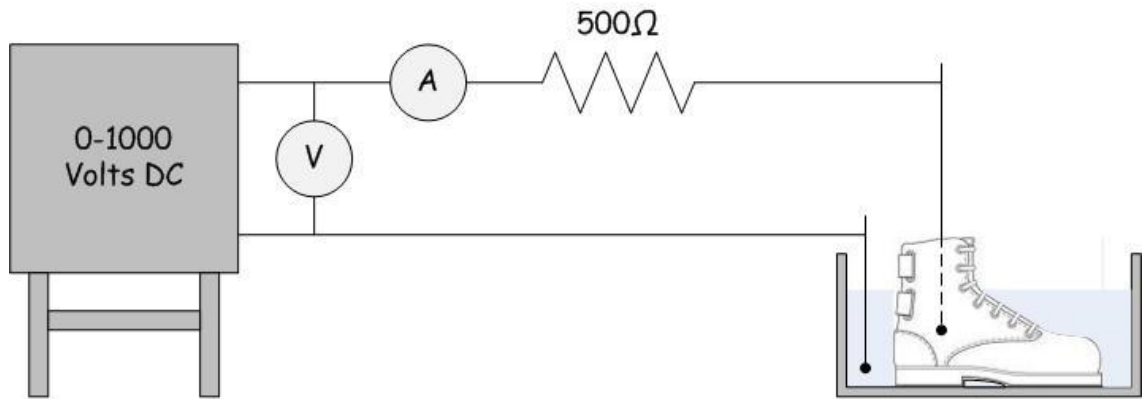
Taulukko 6. Hansikkaiden sähkönjohtavuuden mittaustulokset (Backstrom ym. 2011, 49).

Hansikas Näyte	Likainen	Kasteltu Ulkopuoli	Kasteltu Sisäpuoli	Mitattu milliampeerit, DC			
				50VDC	300VDC	600VDC	1000VDC
1	no	no	no				0
2	no	no	no				0
3	no	no	no				0
1	no	yes	no	91	>250		
2	no	yes	no	0.5	2	100	>250
2	no	yes	yes	38	89	>250	>250
3	no	yes	no	3	17	24	54
3	no	yes	yes	43	>250		
1	yes	no	no				0.5
2	yes	no	no				0
3	yes	no	no				0
1	yes	yes	no	91	>250		
1	yes	yes	yes	93	>250		
2	yes	yes	no	0	2	3	4
2	yes	yes	yes	64	>250		
3	yes	yes	no	0	0	0	0
3	yes	yes	yes	78	>250		

Saappaiden testauksessa käytettiin kolmea erilaista saapastyyppiä. Kahdet saappaat olivat kumia ja yhdet vedenpitävät nahksaappaat. Saappaita testattiin uutena sekä käytettynä kuvan 28 esittämällä tavalla. Saappaat täytettiin vesijohtovedellä noin 15 cm (6 tuumaa) saappaan pohjasta ja laitettiin sähköä johtamattomaan astiaan niin, että saapas oli vedessä noin 15 cm (6 tuumaa). Mittauselektrodeista toinen asennettiin sähköä johtamattomaan astiaan ja toinen saappaaseen. 500 ohmin vastus asennettiin virtapiiriin kuvaamaan ihmisen aiheuttamaa resistanssia. Mittauksessa käytettiin virtalähteenä 50, 300, 600 ja 1000 voltin tasavirtajännitettä. (Backstrom ym. 2011, 42–43, 47.)

Saappaat simuloitiin käytetyksi siten, että ensin saappaiden kärjen päältä poistettiin 50 % materiaalia pieneltä alueelta, minkä jälkeen saappaat täytettiin suolaliuksella ja testattiin sähkönjohtavuutta samalla lailla kuten uudet saappaat. Suolaliuksen sähkönjohtavuus oli 11000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, jonka tarkoitus oli kuvata ihmisen hikeä. Tämän jälkeen saappaan kär-

jen päältä poistettiin loput materiaalit pieneltä alueelta, jolloin saappaan turvakärki paljastui, ja tehtiin sama testi. Lopuksi saappaiden pohjaan porattiin 95 mm (3/8 tuumaa) reikä ja sama testi toistettiin. (Backstrom ym. 2011, 47–48.)



Kuva 28. Kenkien sähkönjohtavuustesti (Backstrom ym. 2011, 47).

Taulukosta 7 voidaan havaita, että uutena testin kahdet saappaat eristivät sähköä erittäin hyvin. Nämä saappaat olivat materiaaliltaan kumia ja numerolla kolme oleva saapas, jonka eristävyys oli muita huonompi, oli nahkaa. Lisäksi taulukosta havaitaan, että saapas numero yksi eristi parhaiten sähköä silloin, kun saappaan päältä kärjestä oli poistettu 50 % materiaalia. Tämän saappaan materiaali oli kumia, saappaan vuori oli tiheää villaa ja polyuretaanieristys peitti koko saapasta.

Taulukko 7. Saappaiden sähkönjohtavuus (Backstrom ym. 2011, 50).

Saapas Näyte	Materiaalia poistettu			Reikä pohjassa	Mitattu milliampeerit(mA), DC			
	Uusi	50 %	100 %		50 VDC	300VDC	600 VDC	1000 VDC
1	X							0
2	X							0
3	X				6	45	94	160
1		X			1	7	18	35
2		X			13	108	>250	
3		X			13	99	>250	
1			X		4	78	135	240
2			X		30	184	>250	
3			X		26	>250		
1				X	27	178	>250	
2				X	31	212	>250	
3				X	30	204	>250	

Saksalaisessa tutkimuksessa tutkittiin myös palomiehen varusteiden sähkönjohtavuutta. Tutkimuksessa tutkittiin varusteiden sähkönjohtavuutta 1000 voltin tasajännitteellä 555 ja 430 ohmin vastuksella. Tutkimuksessa käytettiin nukkea, jolle oli puettu palomiehen varusteet ja joka oli laitettu metallilevyn päälle seisomaan. Nukkeen oli asennettu sähköä johtavat alumiinilevyt kuvaamaan sähkön johtumista. Tutkimuksessa tutkittiin myös märkien varusteiden vaikutusta palomieheen, silloin kun hänellä ei ole saappaita jalassaan. (Prume ym. 2011, 133.)

Tutkimuksen tulokset osoittivat sen, että kuivat varusteet antavat hyvän suojan sähköiskuilta, mutta märät varusteet eivät suojaa palomiestä vaaralliselta sähkövirralta. Saappaiden antama suoja sähköiskuja vastaan on erittäin hyvä. Jo 500 voltin tasajännitteellä mitattiin nukesta 0,85 ampeerin virta, kun sillä ei ollut saappaita jalassaan ja varusteet olivat märät. (Prume ym. 2011, 134–135.)

Tutkimusten perusteella voidaan yleisesti todeta, että kuivat ja ehjät varusteet suojaavat pelastushenkilöstöä aurinkosähköjärjestelmän antamilta sähköiskuilta. Pelastushenkilös-

tön on kuitenkin aina tehtävä riittävät toimenpiteet työskennellessään jännitteellisten aurinkosähköjärjestelmien piirissä. Erityisesti märillä tai puutteellisilla varusteilla työskenneltäessä jännitteellisten aurinkosähköjärjestelmien piirissä hengenvaarallisen sähköiskun saaminen on mahdollista. Tämä riippuu tietenkin aurinkosähköjärjestelmän jännitteen ja virran voimakkuudesta, joita ei aina ole tiedossa.

7.2 Aurinkopaneelin peittäminen

Aurinkopaneeli tuottaa tasasähköä aina ollessaan valaistuna, joka aiheuttaa riskin pelastustoiminnassa työskenneltäessä aurinkosähköjärjestelmän vaikutusalueella. Pelastustoiminnassa on huomioitava työturvallisuus jollain tavalla. Yksi vaihtoehto on peittää aurinkopaneelit niin, etteivät ne enää tuottaisi sähköä ja aiheuttaisi lisävaaraa pelastushenkilöstölle. Peittäminen on kuitenkin haasteellista varsinkin isoissa aurinkosähköjärjestelmissä, joissa on suuri määrä paneeleita. Toinen haaste on saada aurinkopaneelit peitettyä jyrkillä katoilla ja tuulisella säällä. Lisäksi peitteiden pysyminen paikoillaan ja varmuus siitä, että aurinkosähköjärjestelmä ei tuota enää sähköä on huomioitava. (Backstrom ym. 2011, 56.)

7.2.1 Peite

Yhdysvaltalaisessa tutkimuksessa tutkittiin, miten aurinkopaneelien peittäminen erilaisilla materiaaleilla vaikuttaa aurinkopaneelien sähköntuottoon. Tutkimuksessa tutkittiin myös sammutusvaahdon vaikutusta aurinkopaneelin sähköntuottoon peittämällä aurinkopaneelit vaahdolla. (Backstrom ym. 2011, 56 ja 59.)

Tutkimuksessa käytettiin 0,10 mm (4 tuhannesosa tuumaa) paksuista mustaa muovipeitettä, 0,13 mm (5,1 tuhannesosa tuumaa) paksuista sinistä yleiskäyttöön tarkoitettua presua ja vihreää palo- ja pelastuskäyttöön tarkoitettua peitettä sekä punaista raskasta palo- ja pelastuskäyttöön tarkoitettua peitettä. Palo- ja pelastuskäyttöön tarkoitettujen peitteiden paksuutta ei ollut ilmoitettu. Jokaista peitettä oli aurinkopaneelien päällä yksi kerros. Tutkimuksessa käytetty aurinkosähköjärjestelmä tuotti aurinkoisella säällä ilman peittämistä noin 148 voltin jännitteen ja 8,1 ampeerin oikosulkuvirran. (Backstrom ym. 2011, 57–58.)

Taulukosta 8 voidaan nähdä, että musta ja vihreä peite eivät päästäneet valoa läpi, sillä näillä peitteillä mitattu virranmäärä oli nolla ampeeria. Sininen yleispressu päästi valoa läpi niin, että mitattu virrantuotto oli 2,1 ampeeria ja jännite oli 126 volttia. Punaisella pelastuspeitteellä mitattu virrantuotto oli 1,8 ampeeria ja jännite 124 volttia. (Backstrom ym. 2011, 5.)

Taulukko 8. Peitteiden eristävyys (Backstrom ym. 2011, 58).

Peite	Väri	Virtapiiri		Oikosulkuvirta		Vaara
		Kerroksia	Voltia	Ampeeria		
0,10 mm muovipeite	Musta	1	33	0		Safe
0,13 mm pressu	Sininen	1	126	2.1		Electrocution
Pelastuspeite	Vihreä	1	3.2	0		Safe
Raskas pel.peite	Punainen	1	124	1.8		Electrocution
Täysi auringonpaiste			148	8.1		

7.2.2 Vaahto

Yhdysvaltalaisessa tutkimuksessa tutkittiin aurinkopaneelien peittämistä vaahdolla. Tutkimuksessa käytettiin A-luokan vaahtonestettä 1 % pitoisuudella. Vaahtonestettä laitettiin kaltevalla katolla olleiden aurinkopaneelien päälle. Tutkimuksessa käytettiin kahta erilaista aurinkopaneelityyppiä, jotka nähdään kuvassa 25. Neljän aurinkopaneelin järjestelmän ulkopinta oli lasia ja kolmen paneelin järjestelmä oli ohutkalvopaneeli. Tutkimuksen aikana sää oli pilvinen, minkä vuoksi neljän aurinkopaneelin järjestelmä tuotti 136 voltin tasavirtajännitteen ja kolmen aurinkopaneelin järjestelmä tuotti 63 voltin tasavirtajännitteen, ennen kuin vaahtoa oli lisätty aurinkopaneelien päälle. (Backstrom ym. 2011, 59–60.)



Kuva 29. Aurinkopaneelit ennen vaahdotusta (Backstrom ym. 2011, 60).



Kuva 30. Aurinkopaneelit 10 minuuttia vaahdotuksen jälkeen (Backstrom ym. 2011, 60).

Tuloksista havaittiin, että neljän aurinkopaneelijärjestelmän jännite oli 117 voltia kaksi ja kymmenen minuuttia vaahdon lisäämisen jälkeen. Kolmen aurinkopaneelin järjestelmän jännite oli 48 voltia kaksi minuuttia vaahdon lisäämisen jälkeen ja 40 voltia kymmenen minuuttia vaahdon lisäämisen jälkeen. Testi lopetettiin kymmenen minuutin jälkeen taivaalle lisääntyneiden pilvien ja vähäisen auringonpaisteen johdosta. Vähäisen auringonpaisteen ja taivaalla olleiden pilvien johdosta oikosulkuvirtaa ei pystytty mittaamaan. (Backstrom ym. 2011, 60–61.)

Kymmenen minuutin jälkeen vahto oli edelleen hyvin kiinni ohutkalvopaneeleissa peittäen aurinkopaneelit kokonaan. Neljän aurinkopaneelin järjestelmässä kymmenen minuutin jälkeen vaahtokerrokseen alkoi ilmestyä aukkoja, paljastaen aurinkopaneelin lasipinnan. Testin keskeytyksen johdosta ei voitu tehdä tarpeeksi luotettavia havaintoja, mutta testin aikana havaittiin, että vaahdon pysymistä aurinkopaneelin päällä ei voida pitää luotettavana. (Backstrom ym. 2011, 61.)

Vaahdon valuminen aurinkopaneelin päältä aiheuttaa tietenkin sen, että valo pääsee aurinkokennoon ja alkaa tuottamaan sähköä. Lisäksi tuuli ja vesisade heikentävät vaahtopatjan pysymistä aurinkopaneelin päällä. Tämän johdosta vaahdolla peittämistä ei voida pitää mielestäni luotettavana tapana katkaista aurinkosähköjärjestelmän sähköntuottoa. Tuloksista voidaan myös havaita, että ehjä ja yhtenäinen vaahtopatja ei riitä peittämään

aurinkopaneelia niin, että se katkaisisi aurinkosähköjärjestelmän sähköntuoton. Tämä johtuu siitä, että vaahto ei tee aurinkopaneelin pinnalle täysin eristävää kalvoa, jolloin valo läpäisee vaahtopatjan.

7.3 Työkalut

Yhdysvaltalaisessa tutkimuksessa tutkittiin erilaisten työkalujen sähkönjohtavuutta ja vaikutusta silloin, kun työkalulla katkaistaan tasavirtakaapeli. Tutkimuksessa tutkittiin isojen kaapelileikkureiden, palokirveen, laikkaleikkurin ja moottorisahan sähkönjohtavuutta. (Backstrom ym. 2011, 63–64.)

Tutkimuksessa havainnollistettiin tilannetta, jossa ihminen katkaisee vahingossa tai on muuten kontaktissa jollain työkalulla aurinkosähköjärjestelmään kuuluvaan tasavirtakaapeliin. Onnettomuustilanteessa tällainen tilanne voisi tulla esiin esimerkiksi katon aukaisutilanteessa, jossa työkalulla leikattaisiin vahingossa sähkökaapeli poikki. Tutkimuksessa työkalut oli kytketty virtapiiriin kuvaamaan ihmistä leikkaamassa jännitteellistä kaapelia poikki. (Backstrom ym. 2011, 63–64.)

Kaapelileikkureiden sähkönjohtavuutta tutkittaessa virtapiiriin syötettiin 1000 voltin jännite. Kaapelileikkureilla tehtiin kaksi leikkausta, toinen hitaasti sähkökaapelia katkaisten ja toinen nopeasti katkaisten. Kaapelia hitaasti katkaisten oikosulkuvirta oli 2 ampeeria. Toisessa testissä sähkökaapeli katkaistiin nopeasti, jolloin oikosulkuvirta oli 2 ampeeria 200 millisekuntia, jonka jälkeen virta laski nolnaan 300 millisekunnissa. (Backstrom ym. 2011, 66.)

Palokirveen sähkönjohtavuutta tutkittaessa palokirves kytkettiin 1000 voltin jännitteen virtapiiriin. Kirveellä lyötiin ensin sähkökaapeli poikki hitaalla lyönnillä, joka tuotti 1,5 ampeerin virran 180 millisekunniksi. Tämän jälkeen virtamäärä laski nolnaan 220 millisekunnissa. Testi toistettiin nopealla lyönnillä, jolloin tulokseksi saatiin 1,5 ampeeria 40 millisekunniksi, minkä jälkeen virta laski nolnaan 50 millisekunnissa. (Backstrom ym. 2011, 67.)

Tutkimuksessa tutkittiin myös moottorisahan ja laikkaleikkurin sähkönjohtavuutta 1000 voltin jännitteen virtapiirissä. Tutkimuksessa käytettiin 500 ohmin vastusta virtapiirissä

kuvaamaan ihmisen aiheuttamaa resistanssia. Tutkimuksessa sähkökaapeli oli asennettu suojaputkeen. (Backstrom ym. 2011, 65.)

Laikkaleikkurilla leikattaessa tulokseksi saatiin 8 ampeerin virta ja katkaisun jälkeen kipinäinti jatkui positiivisen ja negatiivisen johtimen välillä synnyttäen liekkejä. Moottorisahalla katkaistaessa syntyi positiivisen ja negatiivisen johtimen välillä kipinäintiä ja liekkejä. Liekit sytyttivät metalliputken alla olevan tukipuun palamaan. Lisäksi moottorisaharepi sähköjohtoa ulos suojaputkesta. (Backstrom ym. 2011, 65.)

Tutkimuksista voidaan päätellä, että aurinkosähköjärjestelmien sähkökaapeleiden katkaisu voi aiheuttaa vaarallisen sähköiskun. Sähköiskun voimakkuus riippuu aurinkosähköjärjestelmän jännitteen ja virran voimakkuuksista, joita ei välttämättä tiedetä. Onnettomuustilanteessa saattaa olla tarpeellista tehdä työkaluilla aukkoja rakenteisiin, joissa jännitteellisiä sähkökaapeleita saattaa kulkea. (Backstrom ym. 2011, 70.)

Tutkimuksissa tehdyt sähkökaapeleiden katkaisut ja siitä johtuneet virran voimakkuudet jäivät kestoltaan ajallisesti lyhyeksi. Tämä johtui siitä, että sähkökaapelit katkaistiin kokonaan ja ettei katkaisu jäänyt niin sanotusti kesken. Tällöin virran vaikutuksen kesto jäi lyhyeksi, jolloin sähköiskun vaikutuksen seuraukset ihmiselle voivat jäädä pieniksi. Lisäksi työkalut, joita käytetään tällaisissa tilanteissa, tulisi olla huonosti sähköä johtavat. (Backstrom ym. 2011, 70.)

7.4 Vaurioituneet aurinkopaneelit

Yhdysvaltalaisessa tutkimuksessa tutkittiin vaurioituneen aurinkopaneelin vaarallisuutta. Tutkimuksessa lyötiin palokirveellä aurinkopaneelin läpi ja mitattiin virtapiirissä kulkevan virran määrää. Palokirves oli kytketty 1000 voltin aurinkosähköjärjestelmään, jossa oikosulkuvirta oli 8 ampeeria. Palokirveen kapeammalla terällä eli hakkuterällä lyötiin aurinkopaneelin läpi. (Backstrom ym. 2011, 72.)

Tuloksista havaittiin, että aurinkopaneelissa olevien plus ja miinus -johtimien ottaessa kontaktia toisiinsa lyönnin johdosta syntyy kipinäintiä ja liekkejä. Lisäksi kirveen terä tulee jännitteelliseksi ja aiheuttaa sähköiskun vaaran. (Backstrom ym. 2011, 75.)

7.5 Valaistuksen vaikutukset

7.5.1 Keinovalo

Yhdysvaltalaisessa tutkimuksessa tutkittiin keinovalon vaikutusta aurinkosähköjärjestelmän sähköntuottoon. Tutkimuksissa käytettiin 26 aurinkopaneelin järjestelmää. Tutkimukset tehtiin auringonlaskun jälkeen, jolloin aurinkosähköjärjestelmä ei tuottanut ollenkaan virtaa jännitteen ollessa 48 voltia. Tutkimuksessa käytettiin kahta ajoneuvoa, joihin oli kytketty yhteensä neljä eri teholuokan valaisinta. Ajoneuvojen valaisimia käytettiin eri etäisyyksiltä yhtä aikaa ja erikseen. (Backstrom ym. 2011, 76–77.)

Tutkimuksessa käytetyissä ajoneuvoissa ensimmäisessä oli 8 kpl 1500 watin (yhteensä 12 kW) valaisimia lyhyen puomin päässä ja 4 kpl 1500 watin (yhteensä 6 kW) valaisimia nivelpuomin päässä. Toisessa ajoneuvossa oli 4 kpl 1500 watin (yhteensä 6 kW) valaisimia ajoneuvon lavalle asennettuna ja 3 kpl 1500 watin (yhteensä 4,5 kW) valaisimia nivelletyn puomin päähän asennettuna. Molempien ajoneuvojen valaisinteho oli yhteensä 28,5 kW. Tutkimuksessa valaisimia käytettiin 7,6 metrin (25 jalkaa), 11,6 metrin (38 jalkaa), 15,2 metrin (50 jalkaa) ja 22,9 (75 jalkaa) metrin päästä aurinkopaneeleista. Lisäksi valaisimia sijoitettiin välillä 45 asteen kulmaan aurinkopaneeleihin nähden. (Backstrom ym. 2011, 76–77.)

Tuloksissa havaittiin, että keinovalolla saatiin aikaiseksi sähkön tuotantoa aurinkosähköjärjestelmässä. Suurimmat jännite- ja virta-arvot saavutettiin, kun kaikki tutkimuksessa olleet valaisimet olivat valaistuina valaisutehon ollessa 28,5 kW. Tällöin avoimen virtapiirin jännite oli 836 voltia ja oikosulkuvirta 212 milliampeeria valaisimien ollessa 7,6 metrin ja 11,6 metrin päässä aurinkopaneeleista. Pienimmät arvot saavutettiin 1,5 kW valaisuteholla 15,2 metrin etäisyydeltä arvojen ollessa 340 voltia ja 1,5 milliampeeria. (Backstrom ym. 2011, 79.)

Taulukosta 9 voidaan havaita tulokset tarkemmin. Taulukosta nähdään jokaisessa testissä käytetyt valaisintehot ja niiden tulokset. Testissä numero 9 käytettiin 500 ohmin vastusta kuvaamaan ihmisen aiheuttamaa impedanssia ja testissä numero 10 yhtä 1,5 kW:n tehoista valaisinta. (Backstrom ym. 2011, 79.)

Taulukko 9. 1000 voltin aurinkosähköjärjestelmä paloauton valaistuksessa (Backstrom ym. 2011, 79).

Testi	Auto 1 Valo 12 kW Puomi 6 kW	Auto 2 Valo 6 kW Puomi 4,5 kW	Kokonais valoteho kW	Etäisyys paneeleista jalkaa	Virtapiirin jännite V	Oikosulku virta mA	Vaara
			None		48	0	Safe
1	Bed + Boom		18	25	812	132	Lock On
2		Bed + Boom	10.5	38	780	88	Lock On
3		Boom	4.5	38	738	50	Lock On
4	Bed + Boom	Bed + Boom	28.5	25 & 38	836	212	Lock On
5	Partial Bed		3	25	657	22	Perception
6	Partial Bed		1.5	25	575	11	Perception
7	Bed + Boom		18	50	735	37	Perception
8		Bed + Boom	10.5	75	700	22	Perception
9	Bed + Boom	Bed + Boom	28.5	50 & 75	773	49	Lock On
10	Partial Bed		1.5	50	340	1.5	Safe

Saksalaisessa tutkimuksessa tutkittiin myös keinovalon vaikutusta aurinkosähköjärjestelmän sähköntuotantoon. Tutkimukset osoittivat samankaltaisia tuloksia kuin yhdysvaltalainen tutkimus (Backstrom ym. 2011). Saksalaisessa tutkimuksessa käytettiin erilaisia valaisimia ja valotehoja 5 metrin etäisyydeltä aina 20 metriin saakka. (Prume ym. 2011, 144.)

Saksalaisessa tutkimuksessa) havaittiin keinovalon saavan aurinkosähköjärjestelmässä aikaan ihmiselle vaarallisia virran voimakkuuksia. Valolähteen etäisyyden kasvaessa paneeleihin nähden virran voimakkuus pienenee. Valotehon kasvaessa ja etäisyyden pysyessä samana virranvoimakkuus suurenee. (Prume ym. 2011, 144–146.)

Tutkimuksessa on esitetty suojaetäisyydet aurinkopaneeleihin erilaisilla valotehoilla, jotka nähdään taulukossa 10. Valotehon ollessa enintään 1000 wattia eli 1 kW suojaetäisyys on 10 metriä. Valotehon ylittäessä 1 kW:n suojaetäisyys kasvaa puolitoistakertaiseksi 1 kW:n ylittävältä osalta.

Alla on laskentakaavat erilaisille valotehoille (Prume ym. 2011, 145):

<p>Valotehon ollessa maksimissaan 1 kW suositeltu suojaetäisyys on:</p> <p>$d_{P_{\text{valo}} < 1 \text{ kW}} = 10 \text{ m}$</p> <p>Valotehon ollessa yli 1 kW suositeltu vähimmäisetäisyys lasketaan:</p> <p>$d_{P_{\text{valo}} > 1 \text{ kW}} = 10 \text{ m} + P_{\text{valo}}(\text{kW}) * 1,5 \text{ m/kW}$</p>

Taulukko 10. Suositellut vähimmäisetäisyydet tyypillisille valaisimille (Prume ym. 2011, 145).

Valoteho (kW)	Suosittelun vähimmäisetäisyys (m)
1	10
2	13
4	16
6	19
8	22

7.5.2 Tulipalo

Yhdysvaltalaisessa tutkimuksessa tutkittiin tulipalosta aiheutuvan valon vaikutusta aurinkosähköjärjestelmän sähköntuottoon. Tutkimuksessa käytettiin kahta aurinkopaneelia, joiden teho oli 230 wattia, virtapiirin nimellisjännite 37 voltia ja oikosulkuvirta 7,5 ampeeria. Aurinkopaneelit olivat asennettu vierekkäin liikuteltavaan karruun, jota pystyi siirtämään eri etäisyyksille tulipalosta. (Backstrom ym. 2011, 79.)

Tulipalossa poltettiin puita, jotka olivat pinottu päällekkäin kahteen riviin, kuuteen kerrokseen. Tarkempia tietoja tulipalon koosta tai palotehosta ei tutkimuksesta selvinnyt.

Tutkimuksessa mitattiin virtapiirin jännite toisesta paneelista ja toisesta paneelista mitattiin virran voimakkuus 500 ohmin vastuksen läpi. Vastuksella oli tarkoitus kuvata ihmisen aiheuttamaa impedanssia. Tutkimuksessa aurinkopaneeleja liikuteltiin jatkuvasti lähemmäksi tulipaloa. (Backstrom ym. 2011, 79.)

Tutkimuksessa poltettiin puita aluksi 22,9 metrin (75 jalkaa) etäisyydeltä aurinkopaneelista viiden minuutin ajan. Viimeinen mittaus tehtiin, kun aurinkopaneelit olivat 4,6 metrin (15 jalkaa) etäisyydellä palosta ja tulipalo oli kestänyt yhteensä 10 minuuttia. Taulukosta 11 voidaan havaita, että tulipalon aiheuttama valo saa aikaan aurinkosähköjärjestelmässä sähköntuotantoa. (Backstrom ym. 2011, 80.)

Taulukko 11. Tulipalosta syntyvän valon aiheuttama jännite ja virranvoimakkuus (Backstrom ym. 2011, 80).

Etäisyys palosta (m)	Virtapiiri Volttia	Oikosulku Milliampeeria	Vaara
22,9 (75 jalkaa)	30	52	Lock On
15,2 (50 jalkaa)	31	57	Lock On
12,1 (40 jalkaa)	32	59	Lock On
4,6 (15 jalkaa)	33	62	Lock On
Auringonpaiste	37	7500	

7.6 Palaneiden aurinkopaneelien sähköntuotto

Yhdysvaltalaisessa tutkimuksessa tutkittiin aurinkopaneelien sähköntuotantoa tulipalon jälkeen. Tutkimuksessa tehtiin useita erilaisia polttokokeita erilaisille aurinkopaneelille. Aurinkopaneelit oli asetettu rakennuksien katoille ja tulipalot sytytettiin joko suoraan aurinkopaneelien alle tai rakennusten sisäpuolelle. Tutkimuksessa tutkittiin myös liekkien vaikutusta ikkunoiden kautta katolla oleviin aurinkopaneelisiin luomalla tilanne, jossa liekit tulevat avoimesta ikkunasta ulos ja polttavat katolla olevia aurinkopaneeleja. (Backstrom ym. 2011, 84–140.)

Tutkimuksessa olleista aurinkopaneeleista mitattiin sähköntuotto tulipalon jälkeen. Tästä selvisi, että tulipalossa vaurioituneet aurinkopaneelit voivat tuottaa vielä sähköä. Osa au-

rinkopaneeleista oli tuhoutunut palossa kokonaan, ne eivät tuottaneet sähköä. Osittain tuhoutuneet aurinkopaneelit pystyivät tuottamaan sähköä ja tulipalon aikana pystyttiin mittaamaan ihmiselle vaarallisia virran voimakkuuksia. Tutkimuksessa havaittiin, että tulipalon johdosta sähkökaapelien eristeet paloivat, jolloin johtimet olivat paljaana. Tällainen tilanne aiheuttaa vaaratilanteen ihmiselle erityisesti silloin, jos sähkökaapeleiden läheisyydessä tarvitsee työskennellä. (Backstrom ym. 2011, 102–138.)

Tutkimuksessa sytytettiin tulipalo suoraan aurinkopaneelien alle katon yläpuolelle. Tulipalon havaittiin sytyttävän useita aurinkopaneeleita palamaan ja lisäksi kattomateriaali alkoi palamaan. Tulipalon edetessä liekit polttivat kattomateriaalin ja tulipalo pääsi rakennuksen sisätiloihin. (Backstrom ym. 2011, 135–140.)

8 KYSELY AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMISTÄ JA HAVAINNOT

Tein aurinkosähköjärjestelmien parissa työskenteleville henkilöille kyselyn (liite 1) aurinkosähköjärjestelmien turvallisuudesta ja vaaroista pelastushenkilöstölle. Lähetin kyselyn sähköpostitse kolmelle yritykselle ja niiden yhteyshenkilöille, jotka ovat olleet jo pitkään aurinkosähköjärjestelmien kanssa tekemisissä tai ovat suunnitelleet suuria aurinkosähköjärjestelmiä. Kyselyyn vastanneet henkilöt selvittivät oman yrityksensä asiantuntijoilta vastauksia niiltä osin, joihin he eivät itse osanneet vastata. Käytännössä kyselyyn osallistui useita henkilöitä, jotka vastasivat yrityksessään omasta erityisosaamisestaan.

Kyselyyn osallistuneet henkilöt toimivat yrityksessään toimitusjohtajina, teknisenä johtajana ja IT- sekä markkinointipuolella. Kyselyyn osallistui valtakunnallisesti hyvin tunnettu aurinkosähköjärjestelmiä valmistava yritys, pitkään alalla ollut sähköinsinööritoimisto ja aurinkosähköjärjestelmiin erikoistunut yritys. Kaikki kyselyyn osallistuneet henkilöt vastasivat mielellään kaikkiin kysymyksiin.

Vastaukset olivat pääosin kaikki samansuuntaisia, vastauksissa ei ollut juurikaan ristiriitaisuuksia. Jokainen vastasi luonnollisesti omalla tavallaan, jolloin vastauksen ymmärtäminen jäi lukijan vastuulle. Kaikki vastaukset olivat kuitenkin helposti ymmärrettävissä ja niistä pystyi tekemään johtopäätöksiä.

8.1 Kyselyn tarkoitus

Kyselyssä oli tarkoitus selvittää sähköalan ammattilaisten tietämystä ja näkemystä aurinkosähköjärjestelmien vaaroista silloin, kun aurinkosähköjärjestelmä ei toimi kuten pitäisi tai se altistuu jollekin onnettomuudelle. Kyselyssä oli myös tarkoitus saada selville aurinkosähköjärjestelmien ominaisuuksia ja täydentää sekä vahvistaa omia näkemyksiäni aurinkosähköjärjestelmien mahdollisista vaaroista onnettomuustilanteessa.

Kyselyyn vastanneet henkilöt eivät ottaneet kantaa pelastushenkilöstön toimintatapoihin onnettomuustilanteessa aurinkosähköjärjestelmien parissa, vaan he vastasivat asettamiini kysymyksiin aurinkosähköjärjestelmien asennuksista ja suunnittelusta. Asettamani kysymykset koskivat aurinkosähköjärjestelmiin ja -asennuksiin liittyviä määräyksiä sekä käy-

tännössä tapahtuvia toiminta- ja asennustapoja. Tarkoitukseni oli selvittää, miten aurinkosähköjärjestelmiä ja niihin liittyviä komponentteja asennetaan, kuinka kaapeloinnit kulkevat kiinteistöissä ja millaisia turvamääräyksiä aurinkosähköjärjestelmiin liittyy.

8.2 Kyselyn tulokset

Vastauksista selvisi, että tällä hetkellä on mahdollista saada aurinkopaneeli melkein kokonaan jännitteettömäksi. Markkinoilla on aurinkopaneeli, joka tuottaa 1 voltin jännitteen silloin, kun sähköverkkojännite (AC) katkaistaan tai laite sammutetaan. Ketjutetuissa järjestelmissä tämä tarkoittaa sitä, että jännitteen määrä (1 V) kerrotaan aurinkopaneelien määrällä. 20 aurinkopaneelin ketjutuksessa jännite olisi virran katkaisun jälkeen 20 V. Valtaosa aurinkopaneeleista on kuitenkin niin sanottuja perinteisiä aurinkopaneeleja, joista ei voi katkaista virtaa.

Lisäksi kyselyissä selvisi, että aurinkopaneeleilta tuleva tasasähkö tulee DC-kytkimelle asti, jonka sijoituspaikkaa ei ole määritelty ja se asennetaan ennen invertteriä. Kaikki toimittajat/asentajat eivät kuitenkaan käytä DC-kytkimiä kaikissa kohteissaan, vaan ainoastaan isoissa kohteissa. He asentavat joskus isoissa järjestelmissä DC-kytkimen ja sulakeboxin, jonne aurinkopaneeliketjut kootaan ennen invertterille kytkemistä.

Isoissa kohteissa on useita aurinkopaneeliketjuja. Mikäli aurinkopaneeliketjut kootaan yhteen ja vasta sitten kytketään invertteriin, tässä välissä jännite on korkea. Invertterille tuleva DC-jännite ohjautuu rakennuksen sisäverkosta valtakunnan verkkoon päin. Näin ollen invertteri ei kuormitu enempää, vaikka rakennuksessa ei kulutusta olisikaan silloin, kun aurinkosähköjärjestelmä tuottaa sähköä.

Kyselyssä yritin selvittää sähköalan ammattilaisten näkemyksiä turvallisuudesta. Vastauksista selvisi, että mekaanisesti vaurioituneesta aurinkopaneelistä on aina mahdollista saada sähköisku, suojaetäisyyttä ei ole määritelty. Sähköiskun voi saada, jos ihminen on kiinni (+)- ja (-) -johtimissa eli on johdinten välissä. Pääsääntöisesti aurinkopaneeliketju mitoitetaan maksimissaan 1000 voltin tasajännitteelle (VDC) ja niin sanottu jännitehyppy on pituudeltaan millimetrejä, jos ollaan kiinni johdinten välissä.

Aurinkosähköjärjestelmien DC-kaapeloinnit kulkevat kaapelihyllyillä tai muilla vastaavilla johtoteillä turvallisuusmääräysten mukaisesti. Paikoissa, joissa on mekaanisen vaurioitumisen vaara, kaapeloinnit ovat suojattu umpinaisella johtotiellä esimerkiksi metalliputkella. Kaapelit on kaksoiseristettyjä UV- ja pakkassuojattuja maksimissaan 1000 VDC kaapeleita. Lisäksi (+)- ja (-) -kaapelit saattavat kulkea erillään toisistaan turvallisuuden johdosta.

9 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Kirjallisuustutkimuksesta ja kyselystä voidaan helposti päätellä, että aurinkosähköjärjestelmä saattaa aiheuttaa pelastushenkilöstölle vaaraa silloin, kun aurinkosähköjärjestelmän laitteet eivät toimi oikein ja ne vaurioituvat onnettomuustilanteessa. Silloin, kun aurinkosähköjärjestelmä toimii niin kuin sen on suunniteltu toimivan ja siihen ei tule ongelmia, se ei aiheuta vaaraa pelastushenkilöstölle. On tärkeää tietää aurinkosähköjärjestelmän toimintaperiaate ja mahdolliset vaarat onnettomuustilanteessa. Onnettomuustilanteessa on osattava toimia oikein ja varautua oikeanlaisilla varusteilla ja välineillä sekä oikeanlainen taktiikka on oltava kaikille selvä.

Mielestäni onnettomuustilanteessa aurinkosähköjärjestelmien parissa työskenneltäessä tulee tarkkaan miettiä turvallisuusnäkökulmia. Pelastushenkilöstö joutuu muutenkin miettimään työturvallisuuttaan onnettomuustilanteissa hyvinkin tarkkaan, aurinkosähköjärjestelmät eivät ainakaan helpota tätä tilannetta. Pelastustoiminnan johtaja ei voi kuitenkaan ottaa vastuuta työturvallisuuden rikkomisesta, vaan hänen on perehdyttävä aurinkosähköjärjestelmien ominaisuuksiin ja mahdollisiin vaaroihin erilaisissa tilanteissa.

9.1 Pelastustoimintaan liittyvät havainnot

Tutkimuksissa selvisi, että vettä voidaan käyttää tulipaloissa, joissa aurinkosähköjärjestelmät ovat osallisena. Sähköiskun vaara on riippuvainen aurinkosähköjärjestelmän jännitteestä, veden johtumiskyvystä, sammuttajan etäisyydestä jännitteellisiin osiin ja vesisuihkun muodosta. Erilaisille vesisuihkun muodoille on omat turvaetäisyydet jännitteellisiin osiin. Tulipalotilanteessa savun johdosta ei aina voida tietää, missä jännitteellisiä laitteita ja osia kulkee, mikä lisää sähköiskun vaaraa. Muutenkaan laitteiden sijainti ei välttämättä ole pelastushenkilöstön tiedossa, koska niiden sijaintia ei mahdollisesti ole merkitty mihinkään.

Sähköiskun vaara on myös olemassa, kun käytetään työkaluja rakenteiden purkamiseen tai läpäisyyn. Pelastusalalla on totuttu tekemään savunpoistoaukkoja rakennusten katoille, mutta aurinkosähköjärjestelmien parissa työskenteleminen tekee tästä haasteen. Rakenteiden läpäisyssä on mahdollista osua aurinkosähköjärjestelmän jännitteellisiin osiin ja saada sähköisku. Työkalujen sähkönjohtavuus tulisi ottaa huomioon ja pohtia,

millaisilla välineillä voidaan työskennellä aurinkosähköjärjestelmien parissa onnettomuustilanteessa.

Pelastushenkilöstön varusteet tulee olla hyvässä kunnossa ja kuivat. Erityisesti saappaiden ja hansikkaiden tulisi olla mahdollisimman ehjät ja kuivat, jolloin ne tarjoaisivat parhaan suojan sähköiskuja vastaan. Tutkimusten mukaan parhaan suojan sähköiskuja vastaan antavat uudet, ehjät ja kuivat varusteet. On huomioitava se, että Suomen olosuhteissa vesisateen mahdollisuus on hyvin suuri, mikä omalta osaltaan lisää sähköiskun vaaraa.

Aurinkosähköjärjestelmän virrattomaksi saaminen ei ole aivan yksinkertaista. Pilkkopiimeällä aurinkosähköjärjestelmä ei tuota sähköä. Aurinkopaneelien peittäminen on yksi vaihtoehto tehdä aurinkosähköjärjestelmä virrattomaksi, mutta se vaatisi isoissa kohteissa useita peitteitä. Lisäksi keliolosuhteet voisivat tehdä peittämisestä hyvin haastavaa. Pienissä kohteissa tuulettomalla kelillä voisi peittäminen onnistua valoa läpäisemättömällä peitteellä. Tutkimusten mukaan valoa läpäisemättömät peitteet estävät aurinkosähköjärjestelmän sähköntuottoa niin, että niiden virrantuotto loppuu lähes kokonaan. Kuitenkin tulisi huomioida, että märkä peite saattaa johtaa sähköä. Sitä ei pitäisi käyttää, jos on mahdollisuus olla kontaktissa jännitteellisten komponenttien kanssa.

Aurinkopaneelien peittämiseen ei tulisi käyttää sammutusvaahtoa. Tutkimusten mukaan auringonvalo pääsee vaahtopatjan läpi ja aurinkosähköjärjestelmä tuottaa sähköä peittämisestä huolimatta. Lisäksi kaltevilla katoilla vaahto valuu pois aurinkopaneelin pinnalta, jolloin auringonvaloa pääsee aurinkokennoon ja aurinkosähköjärjestelmä on jännitteellinen.

Aurinkosähköjärjestelmissä on myös huomioitava kytkentäkotelot/DC-kotelot. Aurinkopaneelilta saattaa tulla useita kaapeleita. Ne kytketään kytkentälaatikkoon/DC-koteloon, joissa jännite voi olla korkea. Aina, kun aurinkopaneeliin tulee valoa, tulee kytkentälaatikkoonkin sähköä. Tulipalotilanteessa veden suihkuttaminen kytkentälaatikkoon voi aiheuttaa sammuttajalle sähköiskun vaaran.

Auringonvalo ei ole ainoa valo, jolla aurinkosähköjärjestelmä tuottaa sähköä. Tutkimusten mukaan myös keinovalolla saadaan aurinkosähköjärjestelmä tuottamaan sähköä. Onnettomuustilanteessa pimeällä voitaisiin helposti ajatella, että aurinkosähköjärjestelmästä

ei ole vaaraa eikä se tuota sähköä. Kuitenkin pimeällä pelastushenkilöstö käyttää pelastusajoneuvojen valomastoja sekä irrallisia valaisimia, jotka saavat aurinkosähköjärjestelmässä aikaan sähköntuotantoa. Lisäksi tulipalosta syntyvän valon on todettu saavan aikaan sähköntuotantoa. Voidaankin sanoa, että pimeään aikaan tapahtunut tulipalo, joka on vaurioittanut aurinkosähköjärjestelmän osia, ja kaapelointia on erittäin vaarallinen pelastushenkilöstölle.

Tutkimukset osoittivat myös sen, että tulipalossa vaurioitunut aurinkopaneeli voi tuottaa vielä sähköä. Tutkimuksessa havaittiin tulipalon aikana ja sen jälkeen, että osa aurinkopaneeleista tuottaa edelleen sähköä, vaikka oli pahasti vaurioitunut. Tämä aiheuttaa pelastushenkilöstölle suuren haasteen, sillä tulipalossa saattavat myös kaapelien eristeet vaurioitua ja palaa pois sähköjohdon päältä. Tällöin esimerkiksi raivattaessa onnettomuuspaikkaa on suuri vaara saada sähköisku.

Tutkimuksissa tehdyt polttokokeet, joissa sytytettiin tulipalot aurinkopaneelien alle, osoittivat, että tulipalo voi levitä palavien kattomateriaalien läpi. On hyvin harvinaista, että aurinkopaneeli syttyy itsestään palamaan. Aurinkopaneelien alla kulkee kuitenkin sähkökaapeleita, minkä lisäksi sinne saattaa kertyä helposti syttyviä roskia ja risuja. Riittävän lämmön lähteen johdosta voi olla mahdollista, että aurinkopaneelien alla olevat roskat alkavat lämmitä ja syttyä palamaan. Tämän johdosta on myös tärkeää tarkastaa ja huoltaa aurinkosähköjärjestelmät laitteita säännöllisesti.

Havainnot lyhyesti:

- Aurinkosähköjärjestelmät pääosin hyvin turvallisia
 - toimiessaan oikein ja suunnitellusti eivät aiheuta vaaraa
- Aurinkosähköjärjestelmien aiheuttamat onnettomuudet
 - inverttereistä alkanut tulipaloja
 - aurinkopaneelien palaessa levittävät paloa
 - vaurioituneesta aurinkopaneelistä sähköiskun vaara
- Veden käyttö mahdollista
 - turvaetäisyydet huomioiden
 - jännitteellisten osien ja kaapelointien havainnointi hankalaa
- Sähköiskun vaara on riippuvainen
 - aurinkosähköjärjestelmän jännitteestä
 - veden johtumiskyvystä
 - sammuttajan etäisyydestä jännitteeseen

- vesisuihkun muodosta
- Työkalujen käyttö
 - työkalujen sähkönjohtavuus huomioitava
 - kaapelointien havainnointi haastavaa
- Varusteiden käyttö
 - uudet, ehjät ja kuivat eristävät sähköä hyvin
- Aurinkosähköjärjestelmän virrattomaksi tekeminen peittämällä
 - peittäminen hankalaa ja vaatii täysin valoa läpäisemättömän kankaan
 - märkä peite voi johtaa sähköä, jos kosketuksissa jännitteen kanssa
 - vaahto ei välttämättä pysy aurinkopaneelin pinnalla
- Kytchentäkotelot/DC-kotelot
 - koteloon saattaa tulla paljon kaapelointeja, jolloin jännite voi olla korkea
 - sähköiskun vaara
- Keinovalon vaikutus aurinkosähköjärjestelmään
 - saa aikaan sähköntuotantoa aurinkosähköjärjestelmässä
 - myös tulipalosta syntyvä valo saa aikaan sähköntuotantoa
- Tulipalossa vaurioituneet aurinkopaneelit
 - saattavat tuottaa edelleen sähköä
 - kaapelien eristeet mahdollisesti palaneet, jolloin on sähköiskun vaara

9.2 Toimintaohje-ehdotuksia pelastustoimintaan

Pelastustehtävien erityispiirteisiin kuuluu yleensä epätietoisuus. Usein onnettomuustilanteessa on paljon epävarmoja asioita, jotka vaikuttavat tehtyihin ratkaisuihin. Pelastustoiminnassa on aina huomioitava työturvallisuusriskit, minkä johdosta pelastushenkilöstö toimii aina mahdollisimman turvallisesti. Onnettomuustilanne ei aina vaadi kaikkia turvatoimia, mutta käyttämällä pelastustoimintaan oikeita turvavälineitä varmistetaan pelastustehtävän onnistuminen. Oikeanlainen taktiikka ja tekniikka yhdistettynä kuhunkin tehtävään liittyviin turvalaitteisiin varmistavat hyvin onnistuneen pelastustehtävän.

Aurinkosähköjärjestelmiin liittyy paljon asioita, jotka ovat pelastushenkilöstölle vielä epäselviä. Onnettomuuspaikalle saavuttaessa ei välttämättä tiedetä, millainen aurinkosähköjärjestelmä on kyseessä ja millaisia vaaroja siihen liittyy. Lisäksi jokainen onnettomuus on erilainen, minkä vuoksi on vaikea määrittellä tarkkoja toimintaohjeita.

Onnettomuuspaikalle saavuttaessa on ensimmäiseksi huomioitava mahdolliset aurinkosähköjärjestelmät joko havainnoimalla kohteen mahdollisia aurinkopaneeleja tai muita

tunnusmerkkejä jo kauempaa ennen kohdetta. On myös mahdollista, että paikalla on ilmoittaja tai kohteen edustaja, joka tuntee kohteen tekniset järjestelyt ja on tietoinen aurinkosähköjärjestelmästä. Kohteessa on myös saatettu merkitä aurinkosähköjärjestelmätavalla, josta selviää kohteen aurinkosähköjärjestelmän tiedot.

Mikäli kohteeseen saavuttaessa havaitaan paneeleja katolla ja muita tunnusmerkkejä ei ole näkyvissä tai tiedossa, on hyvä varmistua siitä, että kyseessä on joko aurinkosähköjärjestelmä tai aurinkokeräin. Tämä tieto tulee välittää kaikille kohteessa oleville henkilöille, jotta he osaavat toimia oikein ja varautua tilanteen vaatimalla tavalla. Myös tilanteissa, joissa ei ole aluksi ollut tietoa aurinkosähköjärjestelmästä, on siitä kerrottava eteenpäin pelastustoiminnanjohtajalle asti.

Rakennuspalossa, jossa aurinkopaneeleita on palavan rakennuksen kaltevalla katolla, tulee huomioida aurinkopaneelien putoamisvaara. Onnettomuuspaikalle saavuttaessa olisi tärkeää heti havaita mahdolliset aurinkopaneelit ja sijoittaa ajoneuvot putoamisvaara-alueen ulkopuolelle. Pimeässä tämä ei välttämättä ole mahdollista eikä kohteessa ole tilaa muualla kuin putoamisvaara-alueella, jolloin pelastusajoneuvot täytyy jättää kauemmaksi kohteesta. Tämä voi tarkoittaa ongelmia selvitysten tekemisessä, selvitysmatkoissa tai kohteen ohikulkevan tien katkaisemista. Myös myrskytilanteessa on hyvä huomioida katolla olevat aurinkopaneelit ja miettiä niiden putoamisvaara-aluetta. Kuitenkin yleensä aurinkopaneelit on kiinnitetty niin hyvin, etteivät ne lähde irti kovassakaan tuulessa.

Onnettomuuspaikalle saavuttaessa on rakennus tarvittaessa tehtävä virrattomaksi. Aurinkosähköjärjestelmän virrattomaksi tekeminen ei välttämättä ole mahdollista, mutta siihen liittyvät toimenpiteet on tehtävä oikeassa järjestyksessä. Pääsääntönä voidaan sanoa, että tasajännitepuolen kytkimiä tai sulakkeita ei saa kytkeä päälle tai pois päältä, ennen kuin invertteri on kytketty irti vaihtosähköverkosta. Väärässä järjestyksessä tehdyt toimenpiteet voivat aiheuttaa tasajännitevalokaaren, komponenttien mahdollisen vaurioitumisen ja jopa hengenvaaran. On olemassa erilaisia järjestelmiä, joilla voidaan katkaista tai ainakin vähentää aurinkopaneeleista tulevaa virtaa.

Onnettomuustilanteessa ja muutenkin on hyvä muistaa, että aurinkopaneelien päällä liikkuminen on kielletty. Osa aurinkopaneeleista on liukkaita varsinkin märkänä, jolloin liu-

kastumisvaara on suuri ja saattaa aiheuttaa katolta putoamisen. Aurinkopaneelien rakenne on myös saattanut kärsiä onnettomuuden johdosta, jolloin päälle astuminen voi aiheuttaa sähköiskun.

Tulipalotilanteessa tulee muistaa vedenkäytön vaarat. Riittävän etäältä suihkutettu vesi ei aiheuta vaaraa sammuttajalle suurillakaan jännitteillä, mutta jokainen onnettomuustilanne on erilainen ja etäisyydet voivat olla välillä vaikea arvioida. Olisi tärkeää tunnistaa aurinkosähköjärjestelmän eri osat ja niiden vaarat, mutta esimerkiksi tulipalotilanteessa tämä ei aina ole mahdollista. Sisätiloissa sammuttaminen ja aurinkosähköjärjestelmien havainnointi on haasteellista, mutta ulkotiloissa voi olla helpompi pitää riittävä etäisyys jännitteellisiin osiin.

On hyvä muistaa, että tulipalon jälkeen aurinkosähköjärjestelmän osat saattavat olla vielä jännitteellisiä. Varsinkin niin sanotuissa perinteisissä aurinkosähköjärjestelmissä ei ole mitään turvalaitteita, jotka vähentäisivät aurinkopaneelilta tulevan jännitteen. Aurinkosähköjärjestelmän kaapelit saattavat olla paljaana, ja aurinkopaneelit tuottavat edelleen virtaa. Liikkuminen jännitteellisten osien päällä voi olla vaarallista ja aiheuttaa sähköiskun. Onnettomuuspaikka tulisi eristää ja liikkuminen kohteessa tulisi olla harkittua. Palaneiden aurinkosähköjärjestelmien päällä liikkuminen tulisi olla kiellettyä.

Onnettomuuspaikan raivaus tuottaa oman haasteen. Kaikki aurinkopaneelit tulisi saada pois onnettomuuspaikalta ennen kuin turvallinen raivaus voidaan aloittaa. Raivausautojen kourien käyttöä ei ole tutkittu tällaisessa tilanteessa, joten on vaikea sanoa, miten turvallista se olisi. Varsinkin mahdollisessa purkutilanteessa tulisi huomioida aurinkopaneelien kaapeleiden heilahtelut. Lisäksi yhteen paikkaan kasatut aurinkopaneelit ovat edelleen turvallisuusriski, joten niiden sijoituspaikka tulisi miettiä tarkkaan ja eristää.

Oman haasteen tuo myös uudistuva teknologia. Katoilla näkyvät aurinkopaneelit kiinnitystelineineen kertovat rakennuksen aurinkosähköjärjestelmästä. Teknologia kuitenkin kehittyy, ja nykypäivänä aurinkopaneelit voivat olla katemateriaalina, jolloin ne eivät erotu muusta katemateriaalista juuri lainkaan. Kuvassa 31 nähdään aurinkopaneelin ja kattopellin yhdistelmä.

Aurinkopaneelit voivat olla myös muualla kuin katolla. Uusi teknologia on mahdollistanut aurinkokennojen kiinnittämisen esimerkiksi seinään tai melkein mihin tahansa rakenteeseen.



Kuva 31. Ohutkalvopaneelin ja kattopellin yhdistelmä (Virte-Metalli Oy 2016).

Toimintaohjeet lyhyesti:

- Lähestyminen kohteeseen
 - aurinkopaneelien putoamisvaara-alue
- Aurinkosähköjärjestelmän havainnointi
 - näkyvyys
 - merkinnät
 - ennakkotieto
- Aurinkosähköjärjestelmän tunnistaminen
 - aurinkosähkö/aurinkopaneelit
 - aurinkolämpö/aurinkokeräimet
- Aurinkosähköjärjestelmästä ilmoittaminen
 - pelastushenkilöstölle
 - muille viranomaisille ja toimijoille

- Aurinkosähköjärjestelmän huomioiminen pelastustoiminnan aikana
 - aurinkopaneelit
 - kaapelointi
 - muut komponentit ja laitteet
- Aurinkosähköjärjestelmän virrankatkaisu
 - päävirtakatkaisija
 - turvakytkin
 - paneelista
- Veden käyttö
 - suojaetäisyydet
- Työvälineiden käyttö
 - sähkönjohtavuus
- Liikkuminen onnettomuuskohteessa
 - vaurioituneet aurinkopaneelit ja kaapelit
- Toiminta onnettomuuskohteessa
 - kattotyöskentely
 - raivausauton/kouran käyttö
- Toiminta onnettomuuden jälkeen
 - raivaus
 - aurinkosähköjärjestelmän kunto
 - vaurioituneiden laitteiden sijoitus ja eristäminen

9.3 Ennaltaehkäiseviä ratkaisuja

Tutkimuksissa selvisi aurinkosähköjärjestelmien aiheuttamien onnettomuuksien syytä. Pääsääntöisesti kyse oli oikosulusta, joka on muidenkin sähkölaitteiden tyypillinen onnettomuuksien aiheuttaja. Lisäksi invertterin vikaantuminen oli aiheuttanut onnettomuuden. Aurinkosähköjärjestelmät ovat sähkölaitteita siinä missä muutkin jännitteelliset laitteet, niiden toimintavarmuudessa ei ole moitittavaa.

Nykyisin on kehitetty aurinkopaneeleja ja laitteita, jotka vähentävät tai katkaisevat aurinkosähköjärjestelmän tasavirran syötön, kun kiinteistöstä katkaistaan sähkö. Näiden laitteiden kehittäminen ja lisääntyminen kiinteistöihin vähentäisivät pelastushenkilöstön työturvallisuusriskejä onnettomuustilanteessa. Ymmärrettävää kuitenkin on, että tällainen päätös olisi hyvin vaikea monelle valmistajalle, joka on tuottanut niin sanottuja perinteisiä aurinkosähköjärjestelmiä. Lisäksi aurinkosähköjärjestelmäkannan vaihtuminen pelas-

tushenkilöstölle turvallisempiin laitteisiin veisi aikaa vuosikymmeniä. Jo olemassa ole-
viin aurinkosähköjärjestelmiin olisi varmasti vaikea vaatia lisäturvallaitteita ja se toisi
omistajille lisäkustannuksia.

Ennaltaehkäiseviä asioita voisi olla ainakin aurinkosähköjärjestelmien turvalaitteiden si-
joittamisessa ja merkinnöissä. Turvalaitteiden tulisi mielestäni sijaita paikassa, josta ne
olisi helppo löytää ja ne merkittäisiin hyvin. Merkinnöiden ansioista turvalaitteet löytyi-
sivät helposti ja niistä tietäisi niiden toiminnan. Lisäksi kiinteistössä olevan aurinkosäh-
köjärjestelmän tiedot ja laitteiden sekä kaapeloinnin sijainnit selviäisivät merkintöjen ja
selkeiden piirrosten avulla.

Palavien materiaalien päälle asennettavien aurinkosähkölaitteiden vaatimuksia voisi poh-
tia. Aurinkopaneelit eivät juuri itsestään syty palamaan, mutta niiden alapuolinen raken-
nusmateriaali tulisi olla palamatonta. Suurissa aurinkosähköjärjestelmissä tulipalon sam-
muttaminen aurinkopaneelin alta on haasteellista ja palo voi levitä rakenteisiin ja sieltä
muihin tiloihin. Myös invertterin sijoituspaikkaan ja kiinnitysalustan materiaaliin tulisi
kiinnittää huomiota. Invertterin aiheuttamat tulipalot ovat harvinaisia, mutta invertterit
voitaisiin sijoittaa tilaan, josta ne eivät ainakaan levittäisi paloa.

Aurinkosähköjärjestelmän akuston sijaintia olisi myös hyvä miettiä. PRONTO- järjestel-
mässä tekemieni tutkimusten mukaan akusto oli ainakin Suomessa aiheuttanut osan on-
nettomuuksista. Akustoja käytetään myös isoissakin kohteissa turvaamaan sähkönsaantia,
jolloin akustot saattavat olla hyvinkin isoja. Akustot tulisi sijoittaa paikkaan tai tilaan,
josta ne eivät pääsisi levittämään paloa.

Palotarkastuksilla voisi ottaa esille aurinkosähköjärjestelmään liittyviä riskejä ja antaa
neuvoja turvallisuuden parantamiseksi. Palotarkastuksilla voisi suositella merkintöjen pa-
rantamista, mikäli kohteessa olevan aurinkosähköjärjestelmän merkinnät olisivat puut-
teelliset ja eivät antaisi riittävästi informaatiota järjestelmästä. Palotarkastaja voisi antaa
valmiita merkintäpohjia, joiden avulla kohteen aurinkosähköjärjestelmä tulisi merkittyä
riittävän informatiivisesti.

Ennaltaehkäiseviä huomioita:

- Sähkövirran katkaisu
 - invertteristä
 - turvakytkimestä
 - aurinkopaneelista
- Laitteiden sijainti
 - ei aiheuta lisävaaraa (paloa levittämätön paikka ja alusta?)
 - helposti näkyvillä
 - keskeinen paikka
 - muiden kiinteistön teknisten laitteiden kanssa samassa paikassa
- Merkinnät
 - yleisesti käytetyt
 - hyvin näkyvillä
 - kattavasti informatiiviset

9.4 Kehittämisehdotuksia

9.4.1 Tietojen kirjaaminen

Aurinkosähköjärjestelmien kirjaamista PRONTO-järjestelmään voisi kehittää. Tällä hetkellä aurinkosähköjärjestelmille ei ole omaa tietokenttää, vaan energialähteeksi on kirjattava sähkö. Tulevaisuuden kannalta olisi mielestäni hyvä, jos aurinkosähköjärjestelmille löytyisi oma tietokenttä, josta avautuisi tietokenttä siitä, mikä osa aurinkosähköjärjestelmää aiheutti onnettomuuden. Tämä helpottaisi tulevaisuudessa aurinkosähköjärjestelmien aiheuttamien onnettomuuksien löytämistä. Näin voisi tarkemmin selvittää, mikä osa järjestelmää aiheutti onnettomuuden.

Ajatuksenani on, että energialähde-tietokentässä energialähteeksi kirjattaisiin sähkö, kuten aiemminkin, mutta kone tai laite- tietokentästä löytyisi aurinkosähköjärjestelmä, joka valittaisiin. Tämän valinnan jälkeen voisi valita aurinkosähköjärjestelmän osan, joka on aiheuttanut onnettomuuden. Tietokentästä löytyisi valintoja kuten aurinkopaneeli, kaapelointi, invertteri, lataussäädin tai akusto.

9.4.2 Koulutus

Pelastustoiminnan johtajille ja palontutkijoille aurinkosähköjärjestelmän tunteminen olisi tärkeää. Onnettomuuden aiheuttajan kirjaaminen oikein vaatisi laitteiston tuntemista, minkä vuoksi täytyisi tuntea järjestelmän eri osat ja komponentit. Onnettomuuspaikkaa tutkiessa tulisi olla selvillä, millaisia vaaroja vaurioituneet aurinkosähköjärjestelmät voivat aiheuttaa. Lisäksi pitäisi tietää järjestelmän toiminta ja se, miten onnettomuus on aiheutunut. Sähköalan tuntemus helpottaisi onnettomuuden syyn selvittämisessä.

Pelastusalalla työskenteleviä henkilöitä tulisi kouluttaa toimimaan aurinkosähköjärjestelmien kanssa. Operatiivisen henkilöstön tulisi osata toimia onnettomuustilanteessa siten, ettei aiheuttaisi itselle tai muille vaaraa väärällä toiminnallaan. Taktiset ja tekniset periaatteet pelastustoiminnassa tulisi olla kaikille selvät.

9.4.3 Merkinnät ja laitteiden sijainnit

Rakennukseen tulevan pelastushenkilöstön tulisi heti sisään tullessaan saada tieto rakennuksessa olevasta aurinkosähköjärjestelmästä. Kuva kertoisi pelastushenkilöstölle, että kohteessa on aurinkosähköjärjestelmä, ja tarkennuksena olisivat lyhyesti järjestelmän käyttöjännite ja -virta sekä maksimijännite ja -virta. Lisäksi kohteesta tulisi mielestäni löytyä pohjapiirros rakennuksesta ja siinä tulisi olla tiedot siitä, missä aurinkosähköjärjestelmiin liittyviä komponentteja ja laitteita on. Aurinkopaneelien sijainti ja niiltä tulevat kaapeloinnit sekä niiden reitit tulisi merkitä pohjakuvaan.

10 POHDINTA

Opinnäytetyötä suunnitellessani en tiennyt aurinkosähköjärjestelmistä ja niiden toimintaperiaatteista juuri mitään. Jonkin verran olin lukenut aiheesta, mutta en osannut ajatella, millaisia riskejä ja ongelmia ne voisivat aiheuttaa pelastushenkilöstölle. Olen aina luottanut siihen, että Suomeen tulevat erilaiset sähköjärjestelmät ovat turvallisia oikein käytettynä. Aurinkosähköjärjestelmien kohdallakin tämä pitää paikkansa, mutta tiettyjen toimintaperiaatteiden mukaisesti ne voivat aiheuttaa suurtakin vaaraa, jos pelastushenkilöstö ei ole tietoinen niistä eikä osaa varautua oikein.

10.1 Tavoitteet ja niiden saavuttaminen

Tätä työtä suunnitellessani pohdin aluksi, riittääkö asettamani tutkimusongelma opinnäytetyön aiheeksi ja onko aiheesta riittävästi materiaalia tutkimuksen tekemiseen. Suomalaista materiaalia oli riittävästi aurinkosähköjärjestelmien laitteiden ja toimintaperiaatteiden selvittämiseen, mutta pelastushenkilöstölle aiheutuvien riskien tutkimiseen sitä ei ollut lainkaan. Ulkomaalaista materiaalia sen sijaan löytyi riittävästi, vaikkakin moni pohjautui muutamaankin aiemmin tehtyyn tutkimukseen.

Työn tekeminen oli haasteellista, koska välillä tuntui, että materiaalia on liiankin kanssa. Välillä taas materiaalia ei ollut kuin yhdessä tutkimuksessa, mikä toisaalta helpotti työn tekemistä. Haasteellisinta oli ulkomaalaisen materiaalin, erityisesti saksalaisen, tutkiminen huonon saksan kielen taitoni takia. Jouduinkin hyödyntämään saksankielentaitoisia tuttaviani sekä kääntämään raportin aina ensin englannin kielelle. Englannin kielen taitoni riitti pääosin selvittämään materiaalin sisällön.

Kuten työssäni käy selville, aurinkosähköjärjestelmät ovat pääsääntöisesti vähän vaaraa aiheuttavia sähkölaitteita. Tosiasia kuitenkin on, että aurinkosähköjärjestelmät tuovat esimerkiksi rakennukseen aina ylimääräisen turvallisuusrisikin, joka on jollain tavalla huomioitava. Lisäksi työssäni selviää, että pelastushenkilöstön käyttämien varusteiden ja työkalujen on oltava kunnossa, jotta pelastustoiminta olisi turvallista. Työni antaa mielestäni kattavan kuvan mahdollisista vaaroista ja oikeanlaiset toimintatavat suojautumaan niiltä.

10.2 Työn hyödyntäminen

Työn tuloksista selviää monta asiaa, jotka antavat perusteet huomioida aurinkosähköjärjestelmien aiheuttamat mahdolliset vaarat. Työssä esitetään useita turvallisuusehdotuksia, joilla voidaan parantaa pelastushenkilöstön työturvallisuutta. Lisäksi työssä esitetään muutamia ennaltaehkäiseviä asioita turvallisuuden parantamiseksi kiinteistöissä, joissa on aurinkosähköjärjestelmä. Nämä asiat tulisi huomioida jo rakennuksen suunnitteluvaiheessa, jotta aurinkosähköjärjestelmistä aiheutuvia riskejä voitaisiin pienentää.

Työ antaa mielestäni myös hyvän pohjan mahdollisia jatkotutkimuksia ajatellen. Mielestäni tulisi tutkia, miten pelastuslaitosten käytössä olevaa kalustoa voitaisiin hyödyntää onnettomuustilanteessa, jossa toimitaan aurinkosähköjärjestelmän parissa. Raivausautojen ja niissä olevien erilaisten kourien käyttöä ja hyödyntämistä olisi hyvä tutkia ja kokeilla käytännössä. Asiaa tulisi tutkia myös turvallisuuden kannalta, jotta selviäisi, aiheuttaako raivausauton ja sen kouran käyttö turvallisuusriskin pelastushenkilöstölle toiminnan aikana. Lisäksi raivausauton kuljettajan ja kouran käyttäjän turvallisuus tulisi huomioida ja tutkia.

10.3 Oma oppiminen

Työn aikana sain tutustua erilaisiin materiaaleihin, joissa käydään läpi aurinkosähköjärjestelmiä. Opin paljon aurinkosähköjärjestelmistä ja niiden laitteista sekä toimintaperiaatteista. Työn aikana opin paljon tietojen keräämisestä ja niiden analysoinnista. Kirjallisuustutkimuksen tekeminen oli haastavaa vieraan kielen johdosta, mutta myös materiaalin kerääminen tuotti aluksi vaikeuksia. Prosessin aikana materiaalia alkoi löytyä hyvin, ja jossain vaiheessa sitä tuntui olevan jopa liikaa, minkä vuoksi materiaalin valikoiminen ja valitseminen työhön oli haasteellista.

Työ eteni hiukan suunnitelmasta jäljessä muiden koulutehtävien johdosta. Aloitin materiaalin keräämisen ja sen analysoinnin hyvissä ajoin, mutta itse raportin ja tulosten kirjoittaminen alkoi aikataulusta jäljessä. Tämän takia työ alkoi aiheuttamaan hieman stressiä, mutta loppujen lopuksi mielestäni onnistuin saamaan työstäni suunnitelman mukaisen. Onnistuin mielestäni löytämään aurinkosähköjärjestelmien aiheuttamia riskejä ja löytämään ratkaisuja niihin.

Loppujen lopuksi työn tekeminen oli antoisaa ja opetti asioiden käsittelystä paljon. Oli hienoa huomata ihmisten kiinnostus työni aihetta kohtaan. Lisäksi sain useilta ihmisiltä vinkkejä ja materiaalia työn tekemiseen. Työn aikana huomasin myös oman kiinnostukseni heräävän aiheen jatkotutkimuksia kohtaan. Työn aikana havaitsin aurinkosähköjärjestelmiin liittyvän monen uuden asian ja ongelman tulevan esille, joita pyrin tuomaan esille. Kaikkia asioita en kuitenkaan aiheen rajauksen vuoksi voinut ottaa esille.

Toivon, että työni lisää pelastusalan kiinnostusta aurinkosähköjärjestelmiä kohtaan. Toivon, että valtakunnallisesti kehitettäisiin aurinkosähköjärjestelmiin liittyvää ohjeistusta niin pelastushenkilöstön työturvallisuuden kuin ennaltaehkäisevien asioidenkin parantamiseksi.

LÄHTEET

Anttonen, I., 2015. *Aurinkosähköjärjestelmät*. Insinöörityö. Metropolia ammattikorkeakoulu. Helsinki.

Auringosta lämpöä ja sähköä 2014. www-dokumentti. http://www.motiva.fi/files/12322/Auringosta_lampoa_ja_sahkoa_2016.pdf. 20.10.2016.

Aurinkoenergia 2016. www-dokumentti. http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia. 15.9.2016.

Aurinkopaneelit omakotitaloon 2016. www-dokumentti. <http://www.arevasolar.fi/fi/aurinkopaneelit-omakotitaloon>. 20.9.2016.

Aurinkosähkön perusteet 2016. www-dokumentti. http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringosta_sahkoa. 10.9.2016.

Aurinkosähköteknologiat 2016. www-dokumentti. <http://tfy.tkk.fi/aes/AES/projects/renew/pv/pv-tekno.html>. 27.9.2016.

Aurinkosähköjärjestelmän teho 2016. www-dokumentti. http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/aurinkosahkojarjestelman_teho. 10.10.2016.

Aurinkosähkö sopii maataloille 2016. www-dokumentti. <http://www.arevasolar.fi/fi/aurinkosahko-maatilalle>. 18.11.2016.

Aurinkosähköllä arjen mukavuudet mökin rauhaan 2016. www-dokumentti. <http://www.arevasolar.fi/fi/aurinkosahko-vapaa-ajan-asuntoon>. 18.11.2016.

Backström, R. ja Dini, D. 2011. *Firefighter Safety and Photovoltaic Installations Research Project*. Underwriters Laboratories Inc.

Carlstedt, I., 2014. *Järjestelmäjännitteen vaikutukset 1 500 VDC – aurinkosähköjärjestelmissä*. Diplomityö. Aalto-yliopisto.

European Photovoltaic Industry Association 2012. *Photovoltaic energy electricity from the sun.*

Grant, C., 2010. *Fire Fighter Safety and Emergency Response for Solar Power Systems.* The Fire Protection Research Foundation.

Haverinen, A. 2013. *Aurinkoenergia asuinrakennuksissa.* Insinööriyö. Metropolia ammattikorkeakoulu. Helsinki.

Helakorpi, S. 1999. *Opinnäytetyö ja tutkimustoiminta ammattikorkeakoulussa.* Hämeen ammattikorkeakoulu. Hämeenlinna.

Hinkkainen, P. 2016. *Aurinkoenergia arktisella alueella.* Opinnäytetyö. Lapin ammattikorkeakoulu. Rovaniemi.

Höfflin, C. 2012. *Understanding the Fire Hazards of Photovoltaic Systems.* Allianz Global Corporate & Specialty.

Isojunno, V. 2014. *Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu.* Insinööriyö. Metropolia ammattikorkeakoulu. Helsinki.

Kvick, P. 2010. *Verkkoon kytketty aurinkosähköjärjestelmä.* Opinnäytetyö. Savonia-ammattikorkeakoulu. Varkaus.

Kurvinen, V. 2010. *Uudet määräykset vikavirtasuojauksesta ja niiden vaikutukset sähkökeskusten rakenteisiin ja sähkösuunnitteluun.* Insinööriyö. Metropolia ammattikorkeakoulu. Helsinki.

Köntges, M., Kurtz, S., Packard, C., Jahn, U. 2014. *Performance and Reliability of Photovoltaic Systems.* Report IEA-PVPS T13-01:2014. International Energy Agency.

Lainsäädäntö ja muu ohjaus 2016. www-dokumentti. http://www.motiva.fi/toimi-alueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/ennen_jarjestelman_hankintaa/lainsaadanto_ja_muu_ohjaus. 20.11.2016.

Mittnecker, M. 2016. *Feuerwehreinsatz bei Photovoltaikanlagen.* Leiter der Brandverhütungsstelle im Landesfeuerwehrverband Burgenland.

Miten aurinkokenno toimii? 2016. www-dokumentti. <http://tfy.tkk.fi/aes/AES/projects/renew/pv/pv-toiminta.html>. 19.9.2016.

Motiva 2012. *Opas sähkön pientuottajalle*.

OAMK 2014. *Pienten tuuli- ja aurinkosähköjärjestelmien asennusopas*.

Paavola, M. 2012. *Verkkoon kytkettyjen aurinkosähköjärjestelmien potentiaali Tampereella*. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Tampere.

Prume, K., Viehweg, J. 2015. *Bewertung des Brandrisikos in Photovoltaik-Anlagen und Erstellung von Sicherheitskonzepten zur Risikominimierung*. TÜV Rheinland Energie und Umwelt GmbH.

PV fireman's switch SOL30-SAFETY 2013. www-dokumentti. <http://www.eaton.com/SEAsia/ProductsSolutions/Electrical/ProductsServices/PowerDistributionComponents/SolarSwitchesInverters/PVfiremansswitchSOL30-SAFETY/index.htm>. 10.1.2017.

Satakuntaliitto. *Esiselvitys aurinkoenergian tuotantoalueista 2016*.

Smith, S. 2015. *The Recognition of Fires Originating from Photovoltaic (PV) Solar Systems*. University of Kent UK.

Sähköpalot 2013. www-dokumentti. <http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Sahko-ja-hissit/sahkolaitteiden-paloturvallisuus>. 5.11.2016.

Sähköturvallisuus 2013. www-dokumentti. http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honHar/ma/ST_PPT1_S2012.pdf. 5.11.2016.

Tasokeräin 2017. www-dokumentti. <http://suomenaurinkoenergia.fi/tuotteet/aurinkoke-raitet/sae202-tasoker%C3%A4in>. 15.3.2017.

Takala, A. 2014. *Uusiutuvan energian käyttömahdollisuudet Liikuntakeskus Pajulahdessa*. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Lappeenranta.

Verkkoon kytkemätön aurinkosähköjärjestelmä 2016. www-dokumentti. http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/tarvittava_laitteisto/verkkoon_kytkeaton_aurinkosahkojarjestelma. 19.9.2016.

Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä 2016. www-dokumentti. http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/tarvittava_laitteisto/verkkoon_liitetty_aurinkosahkojarjestelma. 19.9.2016.

Villiger, M. 2012. *Feuerwehr und Photovoltaik (Solarstrom)*. Ch-Solar GmbH.

Yleistä aurinkosähköstä 2016. www-dokumentti. <http://www.aurinkosahko.net/page/7/aurinkosahkojarjestelma-12v>. 20.9.2016.

LIITTEET

LIITE 1: KYSYMYKSET

1. Onko tällä hetkellä mahdollista saada aurinkosähköjärjestelmää täysin virrattomaksi?
2. Onko mahdollista saada sähköntuotto katkaistua heti paneelien päästä niin, että sähköä ei kulje yhtään paneeleista eteenpäin?
3. Jos kiinteistöstä katkaistaan sähkö, mihin asti aurinkopaneelien tuottama sähkö kulkee?
4. Onko erotinkytkimiä ennen invertteriä? Eli mitkä alueet/kiinteistön osat ovat jännitteellisiä?
5. Jos kulutusta ei ole lainkaan valoisaan aikaan, niin kuormittuuko invertteri vai miten sähkö johdetaan?
6. Millaisia jännitteitä ja virran voimakkuuksia invertterissä voi olla?
7. Onko vaurioituneista paneeleista vaaraa saada sähköisku? Onko tällaisessa tilanteessa jokin suojaetäisyys?
8. Miten paneeleista lähtevät kaapeloinnit kulkevat? Ovatko ne merkitty jotenkin? Ovatko ne suojattu?
9. Millaisia jännitteitä ja virran voimakkuuksia paneelit tuottavat rinnan/sarjaan kytkettäessä?
10. Millaisia eroja jännitteissä ja virran voimakkuuksissa on pienissä kohteissa (kesämökkit tai omakotitalot) verrattuna isoihin kohteisiin. Eroja ei ilmeisesti ole ns. perinteisten paneelien ja ohutkalvopaneelien välillä?
11. Onko aurinkopaneelien toiminnassa tapahtunut kehitystä? Onko aurinkokennojen jännitteen- ja virrantuotoissa tapahtunut muutoksia?