

AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMIEN PALORISKIT JA SAMMUTUSTURVALLISUUS

KIRJALLISUUSSELVITYS JA NÄKEMYS SUOMEN TILANTEeseen 2019

SOLERAS

ASKO RASINKOSKI

5.1.2020

Sisällysluettelo

Sisällysluettelo	1-2
1 Taustaa	1-5
2 Yhteenveto: Aurinkovoimaloiden riskit ja roolit kiinteistöpalossa.....	2-6
2.1 Selvityksiä aurinkosähkölaitteistojen toteutuneista paloriskeistä	2-6
2.1.1 Palojen jakautuminen asennustyyppittäin	2-6
2.2 Aurinkosähkölaitteisto palon syttymissyynä	2-7
2.2.1 Syttymissyynä komponenteittain.....	2-7
2.2.2 Syttymissyynä taustatekijät.....	2-8
2.2.3 Tasasähkö (DC)-valokaari.....	2-8
2.3 Paneeliston vaikutus palojen leviämiseen.....	2-9
2.4 Vaikutus sammutustyöhön.....	2-9
2.4.1 Sähköiskun vaara	2-10
2.4.2 Menetelmiä paneelien tekemiseksi jännitteettömiksi	2-10
2.4.3 Myrkylliset palokaasut ja jäät	2-11
2.5 Yhteenvetoja suosituksista	2-11
2.6 Suositeltavaa luettavaa	2-12
3 Tutkimuksia aurinkovoimaloiden palo-ominaisuuksista	3-13
4 Lainsäädäntö, standardit ja niiden kaltaiset ohjeistukset	4-14
4.1 Lainsäädäntö ja viranomaismääräykset Suomessa	4-14
4.1.1 Ympäristöministeriö	4-14
4.1.2 Turvallisuus- ja kemikaalivirasto Tukes	4-14
4.2 Kansainväliset standardit ja ohjeistukset	4-15
4.2.1 IEC / EN / SFS	4-15
4.3 Paneelien sertifiointeista	4-16
4.3.2 Suomeksi käännetyt versiot	4-18
4.3.3 Muita asennusliikkeen tai loppukäyttäjän kannalta relevantteja SFS standardeja.....	4-19
4.4 Suomalaiset kansalliset standardit	4-19
4.5 Saksa	4-20
4.6 Iso-Britannia	4-20
4.7 Yhdysvallat.....	4-20
4.7.1 ASTM International.....	4-21

4.7.2	NFPA	4-21
4.7.3	Underwriter's Laboratories UL	4-21
4.7.4	California Department of Forestry and Fire Protection (CAL FIRE)	4-21
4.7.5	SABCs	4-22
5	Riskianalyysit, yhteenvedot ja suositukset	5-23
5.1	Saksa	5-23
5.1.1	Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE	5-23
5.2	UK	5-53
5.2.1	MCS	5-53
5.3	Suomi	5-53
5.3.1	Viranomaiset ja asiantuntijaorganisaatiot	5-53
5.3.2	Opinnäytetyöt	5-54
5.3.3	Urakoitsijoiden ja maahantuojaesitykset	5-57
5.4	Vakuutusyhtiöt	5-58
5.5	Muut	5-59
5.5.1	Electricity & Water Authority (EWA) Kingdom of Bahrain	5-59
6	Sammuttaminen ja sammutusturvallisuus	6-60
6.1	Saksa	6-60
6.2	Muut maat	6-60
7	Tietoa tapahtuneista paloista, tilastoja ja esimerkkejä	7-62
7.1	Saksa	7-62
	TÜV-Rheinland/Fraunhofer ISE/Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit "PV-Firebreaker"-projekti	7-62
7.2	Iso-Britannia UK	7-62
7.2.1	BRE National Solar Centre	7-62
7.3	Suomi	7-64
7.3.1	Pronto-tietokanta	7-64
7.4	Muu Eurooppa	7-65
7.4.1	Alankomaat	7-65
7.5	USA	7-65
7.5.1	Esimerkkitapaus Walmart vs Tesla	7-65
7.6	Australia	7-66
7.7	Japani	7-67

7.8	Ruotsi.....	7-67
8	Turvallisuuden parantaminen sähkötekniikalla.....	8-68
8.1	Inverttereiden sisäinen diagnostiikka.....	8-68
8.1.1	Eristysvastus, vikavirta.....	8-68
8.1.2	Valokaari-ilmaisu	8-68
8.2	Laitoskohtaiset ratkaisut (muualla kuin invertterissä)	8-69
8.2.1	Etäohjattavat DC-katkaisijat (47).....	8-69
8.2.2	Valokaari-ilmaisisimet (17) (19)	8-69
8.2.3	Paneelikohtainen tehoelektroniikka MLPE.....	8-69
8.2.4	Taustaa, argumentteja puolesta ja vastaan	8-69
8.2.5	Valmistajien ”neutraaleja” teknisiä dokumentteja	8-70
8.3	Invertterin asentaminen ulos	8-71
8.4	PVStop polymeeri	8-71
9	Tilanne Suomessa	9-72
9.1	Huolenaiheet, ongelmia ja tyypillisiä toteutusten puutteellisuuksia	9-72
9.1.1	Koulutus ja asiantuntemus	9-72
9.1.2	Asennusmekaniikka ja rakennetekniikka.....	9-72
9.1.3	Kaapelointi.....	9-72
9.1.4	Liittimet	9-73
9.1.5	Merkinnät ja informaatio	9-73
9.1.6	Käyttöönottotestit	9-73
9.1.7	Tarkastukset, huolto ja kunnossapito.....	9-74
9.2	Muutama esimerkkikuva	9-74
9.3	Kysymyksiä ja toimenpide-ehdotuksia	9-75
10	Lähdeluettelo.....	10-77
	Liite 1: aurinkosähkseen liittyvät SFS-standardit	10-82

1 Taustaa

Tämä aurinkosähköjärjestelmien paloriskejä ja sammutusturvallisuutta käsittelevä yhteenveto on tehty Motiva Oy:n toimeksiannosta marras-joulukuussa 2019.

Selvitystä varten on käyty kevyesti läpi yli 200 ja perusteellisemmin noin 70 selvitystä, standardia ja raporttia, Näistä noin 50 on esitelty tässä yhteenvedossa.

Selvitys on alustavasti jaoteltu kahdeksaan lukuun, tosin varsinkin lähde (1) kuuluu loogisesti useimpiin niistä:

2. Yhteenveto: Aurinkovoimaloiden riskit ja roolit kiinteistöpalossa
Tiivistelmä selvityksistä ja suosituksista
3. Tutkimuksia aurinkovoimaloiden palo-ominaisuuksista
Selvityksiä paneelien syttymisherkkyydestä ja paneeliston vaikutuksesta palojen leviämiseen
4. Lainsäädäntö, standardit ja niiden kaltaiset ohjeistukset
Eri maiden lainsäädäntöä ja määräyksiä, tärkeimmät standardit, paneelien sertifiointista
5. Riskianalyysit, yhteenvedot ja suositukset
Yhteenvetoja; TÜV/Fraunhofer Saksa , MCS UK, Suomi, vakuutusyhtiöt
6. Sammuttaminen ja sammutusturvallisuus
Selvityksiä riskitekijöistä erityisesti sammutusvallisuuden kannalta
7. Tietoja tapahtuneista paloista, tilastoja ja esimerkkejä
Palotilastoja ja -syiden analyyskejä Saksa, UK ja Alankomaat, tapaus Tesla – Walmart USA
8. Turvallisuuden parantaminen sähkötekniikalla
Lyhyt katsaus laitos- ja sammutusturvallisuuden parantamiseen sähköisillä lisälaitteilla
9. Tilanne Suomessa
Kokemusperäinen, subjektiivnen näkemys tilanteeseen Suomessa ja kehitystarpeeseen

Saksalaisen Firebreaker-projektin (mm. TÜV, Fraunhofer ISE jne.) yhteenveto Bewertung des Brandrisikos in Photovoltaik-Anlagenvuodelta 2015 (2) on nähdäkseen edelleen kattavin selvitys aurinkovoimaloiden paloturvallisuudesta, joskin joiltain osin hiukan vanhentunut. Koska kyseinen selvitys on pääasiallisena lähteenä monessa suomalaisessa esityksessä, noin puolet tästä selvityksestä on suomeksi käännetty tiivistelmä sen englanninkielisestä käännöksestä (1). Toisin kuin tässä yhteenvedossa käsitellyssä opinnäytetyössä (3), työ määrän pienentämiseksi viittauksien suhteen tätä dokumenttia on käsitelty kuin se olisi yksi alkuperäislähde.

Koska kotimaisia saatavilla lähteitä on suhteellisen vähän, mukana on opinnäytetöiden (4) (3) (5) lisäksi myös useita maahantuojien tai urakoitsijoiden jossain määrin tarkoitushakuisia esityksiä (6) (7) (8).

On erittäin tärkeää pitää mielessä, että lähdemateriaali edustaa yleensä tiettyä aikaa, maata ja teknologian tasoa. Perusteellinenkaan selvitys, jonka tekemisen jälkeen sekä teknologia että määräykset ja asennustavat ovat oleellisesti muuttuneet, ei nykypäivänä ole kaikilta osin pätevä. Samaten riskit, jotka johtuvat tietyissä maissa käytettyihin asennustapoihin, eivät välttämättä ole relevantteja Suomessa. Tämä näkyy erityisesti selvityksissä, joissa on käytetty runsaasti yhdysvaltalaista taustamateriaalia. Olen pyrkinyt omilla kommentteilla kiinnittämään huomiota kohtiin, joissa lähdemateriaalin kritiikitön lukeminen voi johtaa harahaan.

2 Yhteenveto: Aurinkovoimaloiden riskit ja roolit kiinteistöpalossa

2.1 Selvityksiä aurinkosähköjärjestelmien toteutuneista paloriskeistä

Jotta saadaan käsitys siitä, kuinka suuri riskitekijä aurinkosähköjärjestelmä on, olen kerännyt saatavilla olevaa tilastotietoa lähteistä (1) (9) (10) (11) (12) (13) :

Maa	Tilasto vv.	Järjestelmiä kiinteistöissä, arvio	Paloja joissa osallisena tai syttymissy	Osuus %	Huom.
Saksa	2001...2012	1300000	350	0.027 %	Katto BIPV ylliedustettu
UK	2010...2016(?)	800000	58	0.007 %	
Australia	...2016	1500000	400	0.027 %	Huomattavaa osavaltiokohtaista vaihtelua
Italia	2003...2015	625000	2000	0.320 %	
Alankomaat	2018	170000	23	0.014 %	
Japani	...2017	2400000	127	0.005 %	

Taulukon lähteitä on tarkasteltu tarkemmin luvussa 6.

Palotilastojen ongelmia:

- Palojen tilastointi on varsin sattumanvaraista, osassa kiinnostavia maita (esim. USA) tilastointia ei juurikaan ole. Niissäkin maissa, joissa paloja on jollain tasolla tilastoitu, aurinkosähköjärjestelmien oletettu määrä saattaa perustua arvioihin.
- Useimmissa listassa olevissa maissa tilastot perustuvat osittain vapaaehtoisesti tehtyihin ilmoituksiin, eivätkä ne ole välttämättä kattavia tai edustavia.
- Tilastot ovat sen hetkisiä katsauksia kyseisen maan edeltävien vuosien tilanteeseen: niistä voidaan ehkä päätellä mitä kyseisessä maassa on tehty väärin edeltävinä vuosina, mutta on virhe olettaa, että ne kertovat suoraan mitä Suomessa voidaan tulevana vuosina odottaa.
- Eri maissa on hyvin erilaiset ympäristöolosuhteet, markkinatilanne, määräykset ja vallitsevat asennustavat, ja sen takia varsinkin palojen syitä on syytä tarkastella maakohtaisesti.
- Kattopalojen yhteydessä on niukasti tai ei lainkaan tietoa katon rakenteesta, mikä on kuitenkin oleellista syttymisriskin kannalta.

Yllä olevista kommentteista huolimatta maakohtaiset erot ovat dramaattisia. Valitsemalla tilastoista omiin tarkoituksiin sopivat esimerkit voidaan aurinkosähköjärjestelmien paloriski arvioida huolestuttavaksi tai hyvin mitättömäksi. Henkilökohtainen näkemykseni on, että alan markkinatilanteesta ja norminpurkutalkoista johtuen Suomessa ollaan tällä hetkellä lähempänä Italian kuin Japanin riskitasoa. Turvallisuuden parantaminen hyvälle eurooppalaiselle tasolle ei kuitenkaan nähdäkseni aiheuttaisi merkittäviä lisäkustannuksia.

2.1.1 Palojen jakautuminen asennustyypeittäin

Saksassa kaikki aurinkosähköjärjestelmien tulipalot olivat jakautuneet asennustavoittain (1):

Harjakattoasennus	51 %
Kattoon integroitu asennus PVIB	10 %
Julkisivu	1 %
Tasakatto	14 %
Avokenttävoimala	24 %

Paloissa, joista oli aiheutunut rakennusvaurioita, integroitujen järjestelmien osuus on vielä suurempi (1):

Harjakattoasennus	60 %
Kattoon integroitu asennus PVIB	19 %
Tasakatto	21 %

Kun saksalaisista järjestelmistä lukumääräisesti n. 1 % oli kattoihin integroituja (BIPV), ne ovat tulipaloissa yliedustettuja, laskutavasta riippuen 10 % - 20 % osuudella (1) (11) . Matalasta riskitasosta huolimatta myös Japanissa koettiin kattoon integroidut paneelisto ongelmallisiksi (13), lisäksi Ranskassa ne on koettu ongelmaksi (11).

Alankomaissa (12) tilastoiduista 23 asuinkiinteistöjen palosta tyyppiä ”indak” eli BIPV oli 12. Ne ovat Alankomaissa pientaloissa suosittuja, joten on vaikea arvioida missä määrin ne ovat yliedustettuja. Sikälaiset asiantuntijat pitivät BIPV-ratkaisuja palojen leviämisen kannalta ongelmallisena sitä, että paikallisissa määräyksissä ei aluskatteen paloluokitukseksi ole asetettu erityisvaatimuksia. Kattopintojen päälle asennetuissa järjestelmissä esim. palamattomat kattotiilet vaikuttavat siihen, etteivät ylikuumenemiset helposti johda tulipaloihin.

2.2 Aurinkosähköjärjestelmä palon syttymissyynä

Saatavilla olevista tilastoista on vaikea päätellä, kuinka monessa tapauksessa aurinkosähköjärjestelmä on ollut palon syttymissyynä eikä vain osallisena palossa. Samaten varsinaisen syttymissyyn selvittäminen on tilastojen perusteella monasti vaikeaa. Sellaisissa tilastoissa, joissa on runsaasti ennen 2010-lukua tapahtuneita paloja, laite/tuotevikojen osuus saattaa olla nykyhetkeen verrattuna korkea. Ennen 2010-lukua tulleita tiukempia standardeja paneelien ylikuumenemiseen johtaneet tyyppiviat olivat varsin yleisiä.

Huoltojen ja määräaikaistarkastusten laiminlyöntiä (”aurinkosähköjärjestelmä on huoltovapaa”) pidetään merkittävän riskinä varsinkin pidemmällä aikavälillä (1) (10)

2.2.1 Syttymissyynä komponentteittain

Selkeimmin palon alkusyyksi todetut komponentit on jaoteltu Saksassa ja UK:ssa (1) (9) :

	DC-liittimet	DC-kytkimet	AC-asennukset	Paneelivika	Invertteri	Muut
Saksa	10 %	7 %	16 %	24 %	17 %	25 %
UK	22 %	39 %	0 %	7 %	15 %	17 %

Alankomaissa asiantuntijat arvioivat, että palon alkusyy on 80 % - 99 % tapauksissa DC-liitin, erityisesti ”cross-mating” eli käytetään eri valmistajien ”yhteensopivia” liittimiä (12).

Selvästikin tyyppilliset viat ovat vahvasti sidoksissa sekä tilastojen kattamaan ajankohtaan että kussakin maassa tyyppisiin asennustapoihin.

Sellaisissa maissa, joissa DC-kytkimen käyttö on pakollista (Australia) tai yleistä (UK), niiden osuus on ollut silmiinpistävä suuri. Toisaalta kyseisten maiden selvityksistä saa käsityksen, että DC-kytkinten kohdalla on huomattavan paljon joko väärän tyyppisiä tai väärin asennettuja kytkimiä. Kytkimien kohdalla huollon puutteen vaikutusta on vaikea arvioida, mutta koska huollon puutteesta johtuva ylijännitteen kasvaminen vaatii jonkin verran aikaa, niissä paloissa, jotka ovat syttyneet parin-kolmen vuoden aikana järjestelmän asentamisesta sillä ei liene suurta osuutta (9) (14) (10).

Saksalaisessa yhteenvedossa palon alkusyyksi on merkitty antaa esim. alumiinijohdin, vaikka kyseessä on ilmeisesti väärä asennustapa (1).

Maakohtaiset DC-kytkinongelmat pois lukien tasasähköpuolen ”yhteensopivien” liittimien yhteensopimattomuus vaikuttaa yleisimmältä palojen syytä (1) (9) (12) (15) .

Invertterit ovat myös yleinen palon aiheuttaja, erityisesti jos ne on asennettu palavalle alustalle (1) (9) .

Saksassa vaihtosähköpuolen vikojen osuus lähes yhtä suuri kuin tasasähköpuolen (1) (11) .

Ottaen huomioon miten paljon paneeleja on lukumääräisesti verrattuna muihin komponentteihin, niiden osuus on varsin pieni. Henkilökohtaisesti oletan, että syynä ovat tiukemmat turvallisuuteen liittyvät standardit, niiden parempi noudattaminen ja parantunut laadunvalvonta. Poikkeuksena tähän tuntuvat olevan systemaattiset viat esim. paneelien kytkentäkoteloidissa, joita aiemmin oli varsin yleisesti, mutta parantuneiden standardien ja laadunvalvonnan takia nykyisin harvinainen (11).

2.2.2 Syttymissyiden taustatekijät

Riippumatta siitä, mistä komponentista palo saa alkunsa, suunnittelu- ja asennusvirheet ovat eurooppalaisten lähteiden perusteella merkittävin yksittäinen alkusyy, esim. Englannissa niistä paloista, joissa alkusyy saatiin selville, vain 23 %:ssa kyse oli viallisesta tuotteesta, lopuissa 77 %:ssa kyse on ollut suunnittelu- ja/tai asennusvirheistä. verrattuna (9). Saksassa suunnittelu- ja asennusvirheiden osuuden on arvioitu olevan vain 55 %, johtuen todennäköisesti paneelivikojen suuresta määrästä. Mikäli Alankomaiden liitinvikoja pidetään suunnittelu- ja asennusvikoina, siellä niiden osuus on yli 80%.

Vain hieman kärjistäen voisi todeta, että lähdeaineistosta ja -maasta riippuen jopa noin 80 % viimeaikaisista paloista on johtunut suunnittelun ja asennuksen virheistä tai huollon laiminlyömisestä ja olisivat olleet vältettävissä.

Sekä saksalaisten, italialaisten että australialaisten tilastojen perusteella voi päätellä, että riskit ovat toteutuneet tyypillisesti parin vuoden kuluessa järjestelmien asentamisesta (1) (10) (11). Lisäksi ainakin Italian kohdalla markkinoiden ja alalle tulleiden uusien asennusliikkeiden äkillinen kasvu ovat aiheuttaneet piikin tulipalojen määränä ja osassa lähteitä varoitetaan markkinoiden äkillisestä kasvusta (16) .

2.2.3 Tasasähkö (DC)-valokaari

Vaikka komponentti josta palo saa alkunsa, selkeästi suurin fysikaalinen riskitekijä ja palojen aiheuttaja on DC-valokaari joka useimmiten saa alkunsa paikallisesta ylikuumenemisesta, jonka syynä voi olla eristevika tai useimmiten huonosta sähköisestä kontaktista, tyypillisesti DC-liittimissä ja -kytkimissä (1) (5) (12) (17) (18) (19) .

Yhdysvalloissa, joissa on perinteisesti käytetty toiminnallisesti maadoitettuja paneelistoja, jo yksittäinen eristevika saa aikaan maasulun/valokaaren, joten niiden torjuntaan on jouduttu kiinnittämään erityistä huomiota. Sikäläisillä markkinoille tarkoitetuissa inverttereissä on tämän takia valokaarien havaitsemiseen ja virtapiiriin katkaisemiseen nk. Arc Fault Circuit Interruption (AFCI) piiri. Euroopassa, jossa paneelistot ovat yleensä sähköisesti kelluvia, yksittäinen eristevika paneelistosta maadoitettuihin rakenteisiin havaitaan yleensä eristysvikana eikä aiheuta ylikuumenemista.

DC-liittimien ja kytkimien huonon kontaktin aiheuttamien valokaarien riskin minimoimiseksi suositellaan kytkimien osalta systeemien minimalistista suunnittelua (1) ja liittimien osalta tiukkaa pitäytymistä yksittäisissä liitoksissa saman aina saman valmistajan liittimiin (1) (12) (20) (21) (22) jne.

2.3 Paneeliston vaikutus palojen leviämiseen

Vaikka aurinkosähköjärjestelmä ei olisikaan palon alkusyy, paneelistolla voi olla suuri vaikutus kattojen palominaisuuksiin ja sitä kautta muista syistä johtuneiden palojen leviämiseen.

Paneelistojen paloherkkyyttä ja vaikutusta palon leviämiseen on selvitetty varsin runsaasti, alla muutamia havaintoja lähteineen:

- Mikäli paneelisto on asennettu katon suuntaisesti alle 20 cm etäisyydelle kattopinnasta voi syntyä savupiippuefekti, joka kiihdyttää ja levittää paloa (23) (24) (25). Samaten tasakatolle matalaan kulmaan asennetut paneelit heijastavat lämpöä (23). Tämä heijastusvaikutus voi vaikuttaa palon leviämiseen enemmän kuin paneelien oma palokuorma.
- Paneeleissa on jonkin verran palavia muovimateriaaleja, jotka voivat toimia polttoaineena. Määrä ja paloherkkyys vaihtelee paneelista toiseen, ja ainakin lähteessä (25) paneelien lisäpalokuormaa pidettiin suhteellisen merkityksettömänä.
- Paneelien asennus liian lähelle savunpoistoluukkuja tai palomuureja/katkoja lisää palon leviämisen riskiä.
- Tasasähkökaapeloinnin valokaari saattaa "vaelttaa" pitkiäkin matkoja paloa levittäen (21).
- Kattorakenteisiin integroidut paneelisto koetaan riskialttiimmiksi ja vaikeammiksi sammuttaa (1) (11) (13).
- Paneelien alle voi kertyä lehtiä tms. roskia, jotka voivat toimia lisäsytykkeenä ja levittää paloa (24).

Asiaa syvemmin tuntemattoman on vaikea arvioida, missä määrin tilanne, jossa kattopinnoite on korvattu akryylilevyllä ja/tai palo aiheutetaan usean kilowatin kaasupolttimella vastaa todellisuutta. Se, voidaanko johtopäätöksiä soveltaa Suomeen, riippuneen kuitenkin oleellisesti katon paloteknisistä ominaisuuksista.

2.4 Vaikutus sammutustyyliin

Pelastuslaitosten huolenaiheet aurinkosähköjärjestelmien palojen suhteen olivat sekä UK:ssa että Saksassa samankaltaisia, alla lähteen (9) kyselyn tuloksia:

- Sähköiskun vaara
- Sortumavaarat ja jännitteiset kaapelit
- Vaikeudet tehdä DC-kaapelit jännitteettömiksi
- Vaikeudet päästä sammuttamaan ullakolle asennettuja laitteita
- Katoilla kulkeminen vaikeampaa kuin tavallisesti
- Pelko metallikattojen tulemisesta jännitteisiksi
- Jakeluverkon haltijalla vain vähän tietoa järjestelmistä eivätkä osanneet neuvoa, miten tehdä laitos turvallisesti
- Paljon epävarmuuksia, jotka hidastivat pelastustyyliin aloittamista
- Epävarmuutta jälkiraivauksen turvallisuuden suhteen

Samankaltaisia asioita tuodaan esille useimmissa asiaa pelastuslaitoksen kannalta katsovissa selvityksissä, esim. (1) (26) (4) (3) (27) (28).

Vaikka kohteesta riippuen detaljit voivat vaihdella vaikuttaa siltä, että sammutustilanteessa tärkeintä on saada vastauksia kysymyksiin:

1. Onko kohteessa aurinkosähköjärjestelmä
2. Millä alueella järjestelmä on asennettu ja missä voi esiintyä vaarallisia jännitteitä
3. Miten sähköiskun riskejä voi pienentää, ja mistä saa apua (esim. järjestelmän tunteva sähköasentaja)

4. Miten paloa on turvallista sammuttaa, mm. sammutusmenetelmät

Sammutushenkilökunnalla tulee joka tapauksessa olla etukäteen käsitys siitä, mitä riskejä aurinkosähköjärjestelmien palojen sammutukseen liittyy ja miten niitä voi välttää.

2.4.1 Sähköiskun vaara

Useimmissa lähteissä pelastushenkilökuntaa kehoitetaan suhtautumaan paneelistoon jännitteisenä. Pelastushenkilökunnan on ehdottomasti saatava tieto siitä, missä kohdin rakennusta paneeleja on asennettu. Tavanomaiset, katon päälle asennetut paneelistot on suhteellisen helppo havaita, kun niiden olemassaolo tiedetään. Sen sijaan kattoihin integroidut, tarkoituksella kattopinnoitteiden kanssa yhdennäköisiksi tarkoitettut paneelit voivat olla lähes mahdottomia havaita varsinkaan pimeällä. Yllättävää kyllä, paneelistoon voi tulla vaarallinen jännite ja virta myös voimakkaassa keinovalossa (1). Lähteessä annetaan turvallisen valaistuksen tehon ja etäisyyden laskemiseen on suhteellisen yksinkertainen kaava, joka kuitenkin olisi aiheellista päivittää vastaamaan nykyisiä paneeleja.

Sammutus vesisuihkulla

Tehtyjen testien perusteella vesisuihkua voidaan käyttää turvallisesti aina 1500 Vdc jännitteisten paneelistojen ympäristön sammutukseen, kunhan noudatetaan suojaetäisyyksiä: suorasuihkulla 5 m ja sumusuihkulla 1 m, esim. (1) ja (28). Sammutusvahtoa ei tule käyttää, koska se saattaa johtaa sähköä huomattavasti paremmin kuin vesisuihku (1).

Riskit rakennusten sisällä

Rakennusten sisällä sähköiskun vaara on suurempi, kaapelista ei näe päällepäin onko se jännitteinen. Sen takia saksalaisissa lähteissä painotetaan erityisesti sitä, että rakennusten sisällä ei ole sellaisia kaapeleita joista on sähköiskun vaara (1). Suojauksen tulee olla ensisijaisesti rakenteellinen, rakennuksen sisällä olevat mahdollisesti jännitteiset tasajännitekaapelit minimoidaan ja/tai asennetaan palosuojatusti.

Suomessa näin ei voi olettaa olevan: usein rakennusten sisällä on kymmeniä metrejä jännitteisiä, palosuojamattomia ja merkitsemättömiä tasajännitekaapeleita.

Vaatetuksen vaikutus

Normaali suojavaatetus antaa normaaleissa sammutustilanteissa riittävän suojan sähköiskuja vastaan, kunhan suojaetäisyyksiä noudatetaan. Veden valtaamissa tiloissa, esim. tulvivat kellarit, niiden antama suoja on riittämätön, ja johtojen jännitteettömyys on erityisen tärkeää.

2.4.2 Menetelmiä paneelien tekemiseksi jännitteettömiksi

Perusvaihtoehdot ovat valon pääsyn estäminen paneeliin, jolloin se ei tuota sähköä, tai paneelin ulostulon kytkeminen jännitteettömäksi. elektroniikkaa sisältäviä menetelmiä on käsitelty luvussa 7, alla lyhyesti selvitetyksissä testattuja menetelmiä estää valon pääsy paneeliin.

2.4.2.1 Peitot

Paneelien peittäminen pressulla on testattu periaatteessa toimivaksi vaihtoehdoksi (1), siinä on kuitenkin selkeitä ongelmia:

Vähänkään isommissa järjestelmissä koko paneeliston peittäminen voi olla käytännössä mahdotonta. Jo tyyppillisen pienen omakotijärjestelmän noin 10 – 12 paneelin vaatisi yli 20 m² riittävän paksua pressua. Saavutettavaan turvallisuustasoon vaikuttaa pressuun tyyppi, väri ja se, kumpi pressun puoli on ulospäin. Nämä asiat pitäisi selvittää etukäteen, varata riittävän paljon soveltuvaa pressua ja miettiä tapa, jolla ne kiinnitetään paikoilleen.

2.4.2.2 Sammutusvaahto

Sammutusvaahto läpäisee liikaa valoa, eikä sillä saada paneeleja turvallisiksi. Lisäksi vaahdon tasainen levittäminen voi olla mahdotonta, ja sen on havaittu valuvan muutamassa minuutissa pois paneelien päältä. Lähteessä (1) varoitetaan lisäksi, että sammutusvaahdon sähkönjohtavuus on suurempi kuin sammutusveden, ja sen käyttö voi lisätä sähköiskun riskiä.

2.4.2.3 PVStop-polymeeri

PVStop on spalamatonta mustaa polymeeriä, jonka toimivuutta on kokeiltu myös Suomessa (4) (29). Sitä toimitetaan tyypillisesti yhdeksän litran paineistetuissa kanistereissa, joita käytetään vaahtosammuttimen tapaan. Kuivunut polymeeri voidaan irrottaa paneelin pinnalta.

Vaikka tuote toimii koetilanteissa ilmeisen hyvin, nähdäkseni sen käyttöä rajoittavaa sen riittoisuus: yhden kanisterin peitto on noin 15 m², joten yhdellä kanisterilla voi peittää noin 3 kWp järjestelmän paneelit. Käytännössä jo omakotitalon kattojärjestelmän sammutukseenkin olisi syytä varautua kahdella kanisterilla. Tasakatoilla järjestelmät ovat säännönmukaisesti teholtaan ja pinta-alaltaan niin suuria, että PVStopin käyttö tuskin onnistuu.

2.4.3 Myrkylliset palokaasut ja jäämät

Aurinkosähköjärjestelmien palokaasujen terveyshaittoja on käsitelty esim. lähteissä (1) ja (30). Niiden perusteella paneelisto eivät oleellisesti lisää palokaasujen terveyshaittoja, mutta palopaikan ympäristössä saattaa olla palon jäljiltä esim. sammutusveden mukana kulkeutuneita raskasmetalleja, lähinnä lyijyä.

2.5 Yhteenvetoja suosituksista

Lähteissä on listattu runsaasti toimenpiteitä, joilla toisaalta minimoidaan paloriskejä ja toisaalta parannetaan sammutusturvallisuutta (1) (21) (31) (32) (33) (34) (35) (26) (14) jne. Suomen oloihin ja tilanteeseen sovellettu yhteenveto ehdotuksista tullaan tekemään erikseen.

2.6 Suositeltavaa luettavaa

Alla on luettelo yhteenvedoista ohjeista ja taustamateriaaleista, joiden arvioisin olevan hyödyllisiä aiheeseen **ensi vaiheessa** tutustuttaessa. Niille, jotka tarvitsevat syventävää tietoa, erityisesti lähteistä (1) ja (36) lähdeluetteloihin löytyy runsain määrin lisämateriaalia.

PV Systems and Fire Hazard: Experiences and discussion topics in Germany (+ ROW) (11)

Hermann Laukamp, Jerome Tschupp, (Fraunhofer ISE), Björn Maiworm, Horst Thiem (Munich fire department), Anett Sepanski, Florian Reil (TÜV Rheinland), Helmut Godard (Energossa)

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE 2018

Varsin tuore yhteenvedo, tiivis ja helppolukuinen tietopaketti sekä paloriskeistä että niiden minimoimisesta pääosin saksalaisesta ja eurooppalaisesta näkökulmasta. Yhteenvedo muiden maiden kokemuksiin hyödyllinen. Kevyt tapa tutustua lähteen (1) johtopäätöksiin.

BRE P100874-1000-D1 Fire and Solar PV Systems - Literature Review (36)

Pester S, Woodman S.

BRE National Solar Centre, 2017

Erittäin hyvä katsaus brittiläisiin ja yhdysvaltalaisiin tutkimuksiin, havaintoihin ja suosituksiin. Lopussa katava, lähes 200 julkaisua englanninkielistä julkaisua sisältävä lähdeluettelo tiivistelmien.

Aurinkosähköjärjestelmien riskit pelastustoimelle (3)

Vesa Läderberg,

Savonia-AMK, Palopäällystön koulutusohjelma 2017

Opinnäytetyö, jossa on yhteenvedo sekä suomalaisesta lainsäädännöstä 2017 että runsaasti pääasiassa raportin (2) lähteaineistoon perustuvia analyysejä ja suosituksia. Ansiokas yhteenvedo myös siksi, että se on tehty ennen kuin lähteen (2) englanninkielinen käännös (1) on ollut saatavilla.

Standardit:

Alla ne standardit joihin tutustumista pidän välttämättömänä. Muita asiaan liittyviä, mutta mielestäni vähemmän tärkeitä tämän dokumentin luvussa 3. Mielestäni nämä ovat ainoat relevantit suomennetut standardit syksyllä 2019, ja sekä viranomaismääräysten että koulutuksen pitäisi perustua kaikkiin kolmeen.

IEC 62548:2016:fi Aurinkosähköpaneelistot. Suunnitteluvaatimukset (37)

Hyvä standardi, jossa paljon asiantuntevaa ja käytännönläheistä suunnitteluohjeistusta.

SFS-EN 62446-1:2016/A1:2018 Aurinkosähköjärjestelmät. Vaatimukset dokumentaatiolle, kunnossapidolle ja testaamiselle. Osa 1: Sähköverkkoon kytketyt järjestelmät. Dokumentaatio, käyttöönototestit ja tarkastus (38)

Dokumentaation ja DC-puolen testien perusohje. Testipöytäkirjat sisällytetty osaksi ST-korttia 55.35 (39), suosittelen kuitenkin tätä standardia koska se muodostaa kattavamman ja loogisen kokonaisuuden.

SFS 6000-7-712:2017 Erikoistilojen ja -asennusten vaatimukset. Aurinkosähköjärjestelmät (40)

Asentajien sertifiointikoulutuksen kulmakivi, joka on TUKESin turvallisiin pienjänniteasennuksiin liittyvässä standardiluettelossa.

Oma kommentti: standardi, jonka aiemmat versiot jokseenkin hyödyttömiä, mutta uusin versio sisältää jo asiaakin. Yksinään kuitenkin riittämätön mikäli tavoitteena laadukkaat ja turvalliset järjestelmät.

3 Tutkimuksia aurinkovoimaloiden palo-ominaisuuksista

Selvityksiä, joissa käsitellään paneelien syttymisherkkyttä tai paneeliston vaikutusta palojen leviämiseen.

3.1.1.1 *University of Edinburgh Flame Propagation Between Flat Roofing and Photovoltaic Installations.pdf (2019 89 s.) (23)*

Binte, Faudzi

Tuore opinnäytetyö, jonka omaa antia on sarja palokokeita, joissa selvitettiin kattopinnan ja paneelin välisen etäisyyden vaikutukseen. Palon leviämisen kannalta oleellisen ”kriittisen raon” (critical gap) arvoksi saatiin n. 20 cm, mikä vastaa muualla saatuja tuloksia.

Hyvää: perusteellinen kuvaus koejärjestelystä, varsin hyvä taustayhteenveto.

Ongelmia: keskittyy vain yhteen asennustapaan. Testit on tehty korvaavilla materiaaleilla ja vaaka-asennuksella, joten niiden perusteella on vaikea sanoa missä määrin tulokset vastaavat todellisia palotilanteita.

3.1.1.2 *Fire-induced re-radiation underneath photovoltaic arrays on flat roofs (25)*

Steemann Kristensen, J., Merci, B., & Jomaas, G. (2017). Fire-induced re-radiation underneath photovoltaic arrays on flat roofs. In *Proceedings of the Fire and Materials 2017 Conference* (pp. 34-43). San Francisco, USA: Interscience Communications.

Sarja mittauksia, joissa tutkittiin kaasupolttimesta tulevan lämmön heijastuksen vaikutusta kallistetun aurinkopaneeliston ja tasakaton tulipalossa. Kokeissa havaittiin huomattavaa lämpövuon nousua paneelin korkeamman reunan alla. Tämän heijastusvaikutuksen arvioitiin olevan palotilanteissa merkittävämpi paloa edistävä tekijä kuin paneelien oma palokuorma.

Teknisyydessään raportti soveltunee parhaiten paloturvallisuuden ja siihen liittyvän rakennetekniikan asiantuntijoille.

3.1.1.3 *The fire risk in photovoltaic installations - Checking the PV modules safety in case of fire (41)*

69th Conference of the Italian Thermal Engineering Association, ATI 2014

Giovanni Manzini, Pasqualino Gramazio, Salvatore Guastella, Claudio Liciotti, Gian Luigi Baffoni

Kuvaus joukosta testejä, joissa mitattiin (vuonna 2013) tyyppisten paneelien ja materiaalien paloherkkyyttä standardin 62730-2 erilaisilla testimenetelmillä ja erilaisilla paneelien kallistuskulmilla. Havainnot:

- Testeissä käytettyjen paneelien taustamuovit (”polymeerejä”) varsin huonosti syttyviä.
- Sisäkerrosten EVA paloherkkää saavutettuaan syttymispisteensä.
- Paneelien kallistuskulmalla vaikutus palon leviämiseen, matala kulma johti suurempiin vaurioihin ja palon nopeampaan leviämiseen.

Hyvää: monipuolinen testi, vastaavia materiaaleja edelleen käytössä, joten tulokset vielä ainakin osittain relevantteja.

Ongelmallista: käytetyt kallistuskulmat eivät vastaa tyyppisiä nykyisiä kallistuskulmia.

4 Lainsäädäntö, standardit ja niiden kaltaiset ohjeistukset

4.1 Lainsäädäntö ja viranomaismääräykset Suomessa

4.1.1 Ympäristöministeriö

Peruslainsäädäntö:

4.1.1.1 848/2017 Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta (42)

<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170848>

Asetuksessa ei mainita aurinkovoimaloita, mutta sen perustelumuiotissa (43) todetaan:

Yleensä aurinkopaneelien asentaminen katolle ei aiheuta paloturvallisuuden kannalta erityistoimenpiteitä. Mikäli rakennuksen katolle asennetaan laajahko pinta-ala aurinkopaneeleita, on tarpeen tarkistaa, että ne eivät oleellisesti lisää palon leviämisen vaaraa katteessa eikä sen alustassa. Tämä voi perustua aurinkopaneelien ja käytettyjen asennustarvikkeiden palokuorman määrään ja palo-ominaisuuksiin suhteessa hyväksyttyihin katteisiin. Pelastushenkilöstön työturvallisuutta arvioitaessa otetaan huomioon sähköturvallisuus.

Kommentti: asetusta 848/2017 on käytetty perusteluna paneelikohtaisen poiskytkemisen vaatimukselle. Perusteluna on: "asetusta voidaan tulkita myös siten, että tällainen järjestelmä voidaan vaatia". Määräysten faktaperustainen tarkentaminen ja yhdenmukaistaminen palvelisi sekä pelastuslaitoksia, viranomaisia että alan teollisuutta.

4.1.2 Turvallisuus- ja kemikaalivirasto Tukes

Tukes on valtakunnallinen lupa- ja valvontaviranomainen, joka edistää tuotteiden, palveluiden ja teollisen toiminnan turvallisuutta ja luotettavuutta. Sisältää entisen Sähkötarkastuskeskuksen viranomaistoiminnot, valvoo **sähköturvallisuusmääräysten** noudattamista. Lisäksi Tukes valvoo tuotteiden EU-vaatimuksenmukaisuutta.

Aurinkosähköjärjestelmien turvallisuuden kannalta oleellisia määräyksiä ja tietoja:

4.1.2.1 Luettelo S10-2019 Sähkölaitteistojen turvallisuutta ja sähkötyöturvallisuutta koskevat standardit (44)

Ajantasainen luettelo Suomessa noudatettavista standardeista.

Oma kommentti: listan puutteena on se, että siitä puuttuu oleellisia aurinkosähköstandardeja, jotka ovat parempia ja vähintään yhtä tarpeellisia kuin SFS-6000-sarjaan kuuluva SFS 6000-7-712.

4.1.2.2 Sähköasennusten käyttöönottovaiheen tarkastukset

<https://tukes.fi/sahko/sahkoasennusten-kayttoonottovaiheen-tarkastukset>

Varmennustarkastus on käytännössä lakisääteinen järjestelmille, joiden sulakekoko yli 35 A. invertterin teho siis noin 24 KW. Periaatteessa jos kohteessa on käytön johtaja, varmennustarkastuksen tarve on hänen harkinnassaan 250 A sulakekokoon asti. Suosittelemme varmennustarkastusta, kunhan varmistetaan että tarkastaja tuntee aurinkovoimaloiden erityispiirteet.

4.1.2.3 Tukes-tiedote 2/2019: Aurinkosähköasennusten pätevyysvaatimukset

<https://uutiskirje.tukes.fi/a/s/27535474-8e01bab26ecdf806be53fd520a3040ae/499827>

Linjaus siitä, että kun paneeliston jännite ylittää 120 V, asentamiseen vaaditaan S2-pätevyys. Pätevyys vaaditaan myös katolla tehtävään paneelien sarjaankytkentään.

4.2 Kansainväliset standardit ja ohjeistukset

Kannattaa muistaa, että asiakas saa vaatia enemmän kuin standardin minimitasoa. Myös ratkaisuja, joita vain "suositellaan", saa vaatia.

4.2.1 IEC / EN / SFS

Tärkein kansainvälinen organisaatio on International Electrotechnical Commission (IEC), [/www.iec.ch/](http://www.iec.ch/), jonka tekemät standardit ovat suoraan tai muokattuina pohjana useille EN standardeille. EN-standardi on eurooppalaisten standardisoimisjärjestöjen CENin, CENELECin ja ETSIn laatimaa/hyväksymää standardia. Tarkempaa tietoa Suomen Standardisoimisliiton sivuilta [/www.sfs.fi/](http://www.sfs.fi/).

IEC:n työryhmä TC82 "Solar photovoltaic energy systems" on ollut viime vuosina organisaation aktiivisimpia, eikä tahti näytä hiljentyneen. Joulukuun 2019 ryhmän työlliställä on 82 uutta standardia tai muutosta. [// https://www.iec.ch/dyn/www/f?p=103:23:0::::FSP_ORG_ID:1276](https://www.iec.ch/dyn/www/f?p=103:23:0::::FSP_ORG_ID:1276) //

Kannattaa siis pitää mielessä, että standardien tunteminen ja niiden mukaan toimiminen on erittäin liikkuva maali, ja ajan tasalla pysyminen vaatii tilanteen tarkistamista ainakin parin vuoden välein.

Joulukuussa 2019 IEC:n verkkokaupasta löytyy 128 kpl voimassa olevaa standardia hakusanalla "Photovoltaic" [// https://webstore.iec.ch/searchform&q=photovoltaic](https://webstore.iec.ch/searchform&q=photovoltaic) //

Suurin osa standardeista ei ota kantaa asennuksen (palo)turvallisuuteen tai ole ylipäättään relevantteja kiteisten aurinkopaneelien kannalta. Suomennetut standardit on listattu erikseen alla, ja turvallisuuden kannalta oleelliset kommentoitu erikseen. Koska luotettava tuote ja ammattimainen asennus ovat perusedellytyksiä järjestelmän paloturvallisuudelle, alla on käsitelty myös muita kuin suoraan paloturvallisuuteen liittyviä standardeja.

Toistaiseksi suomentamattomista tämän selvityksen kannalta oleellisimpia ovat:

4.2.1.1 EN 61215-1 ja -2, 2016, "Terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval"

Kiteisten piipaneelien "tyyppitestauksen" perustandardi, ja määrittelee niistä vaadittavia perustietoja ja niille tehtävät tärkeimmät ympäristötestit. Osittainen luettelo vaatimuksista ja testeistä:

- Paneelin tarraan tuleva informaatio
- Dokumentaatio
- Nimellisteho STC
- Sähköturvallisuus (tarkemmin EN 61730)
- Ulkonäkövirheet
- Lämpösyklit
- Lämpösyklit kosteudella
- Kuuma kosteus
- Staattinen mekaaninen kuormitus

- Rae (teräskuula) testi
- Ohitusdiodien kuumeneminen

Viimeaikaisen näkemyksen mukaan tämän standardin täyttäminen antaa kohtuullisen varmuuden siitä, että paneeli kestää käytössä ainakin viitisen vuotta. Koska paneelien takuut ovat huomattavasti pidempiä, useat valmistajat ja testauslaitokset ovat alkaneet tehdä pitkitettyjä testejä joissa testisykliä määrä tai kesto ovat 2..3 -kertaiset perustesteihin verrattuna.

4.2.1.2 EN 61730-1 2018 Photovoltaic (PV) module safety qualification - Part 1 : Requirements for construction

Yksityiskohtaiset vaatimukset paneelien rakenteesta, materiaaleista jne..

4.2.1.3 EN 61730-2 2018 Photovoltaic (PV) module safety qualification - Part 2 : Requirements for testing

Kuvaus menetelmistä, joilla erilaiset turvallisuuteen ominaisuudet tulee testata.

- EN 61730-2 sisältää ohjeet paloturvallisuuden kannalta oleellisista testeistä:
- MST 21 Temperature tests
- MST 22 Hot-spot endurance tests
- MST 23 Fire tests (yleensä vain BIPV-tuotteille paikallisten viranomais määräysten mukaan)
- MST 24 Ignitability test
- MST 25 Bypass diode thermal test
- MST 26 Reverse current overload test

Vaikka 61730 standardipari on hyvin tekninen, ja periaatteessa paneelivalmistajan pitäisi varmistaa että näitä noudatetaan, suosittelen ainakin pintapuolista tutustumista; silloin saa käsityksen kuinka monet asiat vaikuttavat paneelien turvallisuuteen.

4.3 Paneelien sertifiointeista

EN 61215 on EN 61730:n ovat perustandardit, joiden vaatimusten täyttäminen on lähtökohta paneelin sertifiointiselle ja vähintään nämä yleensä mainitaan paneelien datalehdissä. Näiden lisäksi paneelien materiaaleihin ja testaamisen liittyy suuri joukko yksityiskohtaisempia standardeja, joihin näissä standardeissa viitataan.

Tunnetuimmat sertifiointilaitokset ovat TÜV:it (joita on useampia, ainakin T Nord, T Süd ja T Rheinland) ja VDE.

Jotta paneeli saadaan sertifioitua, pitää paitsi saada määritellyillä materiaaleilla (joissa voi olla useita vaihtoehtoja) ja tuotantospesifikaatioilla valmistetut paneelit läpi testeistä, myös hyväksyttää niitä mahdollisesti valmistavat tehtaot tarkistuslaitoksen auditeilla. Sertifikaatti annetaan näiden perusteella määrääjäksi.

Mahdollisia (tyypillisiä?) sertifiointeihin/valmistukseen liittyviä ongelmia:

- Paneeleja ei ole sertifioitu, vaikka esitteet ja tarrat muuta väittävät.

- Paneeleista annetaan harhaanjohtava kuva, että ne on sertifioitu, kuitenkin tarkkaan ottaen väittämättä, että ne olisivat.
- Paneelit valmistetaan ei-sertifioituilla materiaaleilla tai niiden yhdistelmillä.
- Paneelit valmistetaan tehtaassa, jota ei ole auditoitu/sertifioitu.
- Tuotteet myydään sertifioituina, vaikka sertifikaatin viimeinen käyttöpäivä on mennyt.
- Tuotantotesti ja tehomittaus (tai ainakin datalehteen sopivat tulokset) tehdään excelissä.

Koska standardeja päivitetään vastaamaan uusia materiaaleja, valmistusmenetelmiä ja käytännön kokemuksia, mitä tuoreempi sertifikaatti sen parempi. Erot standardien eri versioiden välillä ovat huomattavia.

4.3.1.1 IEC TR 63225 (2019-11) "Technical report: Incompatibility of connectors for DC-application in photovoltaic systems" (22)

Tuore IEC-raportti, jossa käydään läpi "yhteensopivien" DC-liittimien käyttöön liittyvät riskit ja toimenpidesuosituksia siitä miten vaatimus "sama tyyppi samalta valmistajalta" saataisiin toteutettua.

4.3.1.2 Cenelec EN 50583-1 "Photovoltaics in buildings - Part 1: BIPV modules"

4.3.1.3 Cenelec EN 50583-1 "Photovoltaics in buildings - Part 2: BIPV systems"

Standardit käsittelevät aurinkosähköpaneelien ja systeemien, jotka ovat osa rakennuksen ulkovaippaa ja rakennetta, Building Integrated Photovoltaics BIPV. Näitä koskevat "Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) N:o 305/2011 rakennustuotteiden kaupan pitämistä koskevien ehtojen yhdenmukaistamisesta ja neuvoston direktiivin 89/106/ETY kumoamisesta (Rakennustuoteasetus)". Siinä rakennustuotteille (tässä lähinnä paneelit ja niiden kiinnitystekniikka) asetetaan perusvaatimuksia liittyen seuraaviin asioihin:

- Mekaaninen lujuus ja vakaus
- Paloturvallisuus
- Hygienia, terveys ja ympäristö
- Käyttöturvallisuus ja esteettömyys
- Meluntorjunta
- Energiansäästö ja lämmöneristys
- Luonnonvarojen kestävä käyttö

EN 50583-1 ja -2 määrittelee BIPV-paneelien ja asennuksille standardeihin perustuvia lisävaateita perustuen niiden asennustapoihin, jotka on jaettu viiteen kategoriaan A-E. Standardin kuvaus eri asennustavoista ja vaatimuksista on mielestäni selkeä ja sen perusteella on helppo saada selkeä mitkä rakennustuotteisiin liittyvät standardit kussakin tapauksessa tulee huomioida. Ainoistaan kategoria E, rakennuksen seinään kiinnitetyt PV-varjostuslipat, ei vaadi paloluokitusta. Lisäksi standardissa määritellään erillisiä vaatimuksia metalli- ja polymeeripohjaisille BIPV-paneelien. Näihin standardeihin on syytä tutustua kokonaisuutena eikä tukeutua pelkästään paneelistandardiin EN 50583-1, koska EN 50583-2 sisältää jonkin verran tarkempia määrittelyjä mm. vaadittavasta paloluokituksesta.

4.3.1.4 CENELEC Technical Report CLC/TR 50670:2016 External fire exposure to roofs in combination with photovoltaic (PV) arrays - Test method(s)

Testiohjeet siitä, miten katon päälle asennettujen paneelistojen vaikutusta katon palokäyttäytymiseen testataan. Kohderyhmä alan ammattiorganisaatiot.

Dokumentissa mainitaan erikseen, että BIPV testaus ei kuulu sen piiriin.

4.3.2 Suomennetut versiot

SFS:n verkkokaupassa avainsanalla "aurinkosähkö" löytyy liiteluettelossa mainitut suomennetut SFS-EN standardit.

Näistä standardeista olennaisimpia asennustekniikan kannalta ovat:

4.3.2.1 SFS 6000-7-712:2017 Erikoistilojen ja -asennusten vaatimukset. Aurinkosähköjärjestelmät (40)

Pakollinen luettava koska osa pienjänniteasennusten standardeja ja perusdokumentti asentajien sertifiointikoulutuksessa. Versio 2017 kohtuullinen ja sisältää myös oikeita ohjeita, vaikka sisältää edelleen turhan paljon sanoja "jos tarpeen" ja "tarvittaessa", ilman selitystä milloin on tarpeen tai tarvitaan. Esim. standardin kohta DC-liittimien yhteensopivuudesta on muodossa "syytä varmistaa" (esim. paneelien DC-liittimien yhteensopivuus) mikä johtaa helposti siihen, että jos tuotteen esitteessä lukeva "compatible" se tulkitaan varmistukseksi.

Hyvää: sisältää jo jonkin verran konkreettista ohjeistusta, esim. ylijännitesuojauksen tarpeellisuus.

Huonoa: paljon asioita jätetään lukijan oman tiedon ja ymmärryksen varaan.

4.3.2.2 IEC 62548:2016:fi Aurinkosähköpaneelistot. Suunnitteluvaatimukset (37)

Oma suosikkini, minusta tämä on suunnittelun pohjaksi ehdottomasti parempi kuin 6000-7-712. Johtuu osittain siitä, että 62548:ssa on ollut paljon selkeästi kokemusperäistä tietoa, joka aiemmin puuttui kokonaan 6000-7-712:sta.

Hyvää: runsaasti käytännön ohjeistusta ja selkeitä neuvoja

Huonoa: joidenkin asioiden selventäminen olisi saatu viedä pidemmälle, mm. potentiaalintasauksen tarpeellisuus

Näiden perusstandardien välillä on joitain ristiriitoja, esim.:

Paneeliketjujen kytkeminen rinnakkain: 6000-7-712 ketjuissa oltava sama jännite, 62548 sallii 5% eron ja erityistapauksissa enemmänkin.

DC-liittimet: 6000-7-712 yhteensopivuus "on suositeltavaa tarkastaa" ja 62548 "oltava samaa tyyppiä samalta valmistajalta".

Henkilökohtainen mielipiteeni on, että asentajakoulutuksen tulisi perustua pääosin 62548:een täydennettyä lakisääteisillä kohdilla 6000-7-712:sta.

4.3.2.3 SFS-EN 62446-1:2016/A1:2018 Aurinkosähköjärjestelmät. Vaatimukset dokumentaatiolle, kunnossapidolle ja testaamiselle. Osa 1: Sähköverkkoon kytketyt järjestelmät. Dokumentaatio, käyttöönottotestit ja tarkastus (38)

Hyvä standardi, jota suosittelen lähtökohdaksi käyttöönottotesteille ja laitoksen dokumentaatiolle. Tämän noudattaminen on osoittautunut urakoitsijoille yllättävän vaikeaksi.

Muut listan SFS-En-standardit eivät ole asennuksen kannalta erityisen relevantteja.

4.3.3 Muita asennusliikkeen tai loppukäyttäjän kannalta relevantteja SFS standardeja

4.3.3.1 SFS 6000-sarja

Standardisarja, joka on oleellinen vaihtosähköpuolen turvallisen asennuksen kannalta ja oletuksena on, että urakointioikeudet omaava tuntee ja noudattaa näitä.

4.3.3.2 ST-kortit

ST-kortit ovat Sähköinfo Oy:n julkaisuja, joista aurinkosähköjärjestelmien asennuksen kannalta oleellimmat:

4.3.3.3 ST 55.36 Aurinkosähköjärjestelmän käyttöönottotarkastuspöytäkirja (39)

Julkaistu 10.7.2017

Pöytäkirja on tarkoitettu aurinkosähköjärjestelmien käyttöönottotarkastusten dokumentointiin. Oikein täytettynä sitä voi käyttää myös aurinkosähköasentaja- sertifioinnin edellyttämänä referenssinä.

Kommentti: noudattaa pääosin standardia SFS 62446, jota kuitenkin itse pidän parempana.

4.3.3.4 ST 51.21.05 Käyttöönottotarkastuspöytäkirja (45)

4.3.3.5 ST 51.21.06 Käyttöönottotarkastuspöytäkirja ryhmäjohtotason sähköasennuksille (46)

Julkaistu 4.10.2019

Käyttöönottotarkastuspöytäkirja on tarkoitettu käytettäväksi sähkölaitteistojen ja sähköasennusten käyttöönottotarkastusten dokumentointiin. Pöytäkirja täyttää oikein käytettynä/täytettynä sähköturvallisuuslaissa ja siihen liittyvissä Valtioneuvoston asetuksissa sekä standardeissa asetetut vaatimukset.

Ryhmäjohtotason käyttöönottopöytäkirjalomake on tarkoitettu käytettäväksi laajemman version (ST 51.21.05) sijasta pienten korjaus-, muutos- tai laajennustöiden sekä osakokonaisuuksien käyttöönottotarkastusten dokumentointiin. Pöytäkirja täyttää oikein käytettynä/täytettynä sähköturvallisuuslaissa sekä siihen liittyvissä Valtioneuvoston asetuksissa asetetut vaatimukset.

4.3.3.6 ST 51.24.02 Tarkastusloste sähkölaitteiston varmennustarkastuksesta

4.3.3.7 ST 51.24.01 Todistus sähkölaitteiston varmennustarkastuksesta

Julkaistu 22.8.2019

Lomake sähkölaitteiston varmennustarkastuksen tarkastuslosteen laadintaan.

Lomake sähkölaitteiston varmennustarkastustodistuksen laadintaan.

4.4 Suomalaiset kansalliset standardit

Allekirjoittaneella ei ole tiedossa aurinkosähköön liittyviä suomalaisia kansallisia standardeja. Lähinnä sellaisia ovat Energiateollisuus ry:n suositukset mikrotuotannon liittämistä sähköverkkoon.

4.5 Saksa

Koska Saksa on ollut aurinkosähkön edelläkävijä, ja esimerkillinen standardoija muutenkin, . Osa on identtisiä IEC/En-standardien kanssa, mutta myös puhtaasti kansallisia standardeja on varsin runsaasti. Alla selvityksen kannalta tärkein:

4.5.1.1 *VDE-AR-E 2100-712:2018-12 Maßnahmen für den DC- Bereich einer Photovoltaikanlage zum Einhalten der elektrischen Sicherheit im Falle einer Brandbekämpfung oder einer technischen Hilfeleistung (Measures for the DC range of a PV installation for the maintenance of safety in the case of firefighting or technical assistance) (47)*

Lupaavasta nimestään huolimatta hieman ongelmallinen dokumentti, saatavilla vain paperilla ja saksaksi. Luku 7 sisältää useita esimerkkejä teknisistä menetelmistä tehdä paneelisto jännitteettömäksi tai erottaa se DC-kaapeloinnista pelastushenkilökunnan turvallisuuden lisäämiseksi. Dokumentti ei ole selkokielistä, avainlause "Unabhängig von der zu betrachtenden Einrichtung kann nur das augangssaitige DC-system als geschützter Bereich betrachtet werden" ei ollut selkeä tai yksiselitteinen alalla pitkään olleelle saksaa äidinkielenään puhuvalle asiantuntijalle. Standardin virallinen käännös (edes tai mieluummin englanniksi) olisi tarpeen. Siitä huolimatta, käännöstä odotellessa tämän standardin nykyversion hankkiminen on erittäin suositeltavaa.

4.6 Iso-Britannia

BRE National Solar Centre / <https://www.bre.co.uk/nsc/page.jsp?id=3435> / julkaisee alaan liittyviä tutkimuksia ja ohjeistuksia. Vaikka kyseessä eivät ole viralliset (BS) standardit, BRE:n ohjeistukset esim. paneelien asennuksen suhteen tuntuvat olevan de facto standardi. Organisaation selvitys aurinkojärjestelmien tulipaloista Isossa-Britanniassa on esitelty muualla tässä selvityksessä, ja on erittäin suositeltava. Suoraan paloturvallisuuteen liittyvä hyvä ja suositeltava ohje:

4.6.1.1 *BRE FB 68 "DC isolators for photovoltaic systems" 2015 (14)*

Kattava tietopaketti DC-kytkimistä: valinta, rakenne, merkinnät, riskit ja niiden välttäminen.

4.6.1.2 *IET (institution of Engineering and Technology) / BRE National Solar Centre: Code Practice for Grid Connected Solar Photovoltaic Systems (48)*

Vuonna 2015 julkaistu selkeä ja hyvin lähestyttävissä oleva ohjekirja/standardi, joka kattaa jokseenkin kaikki verkkoon kytkettyjen aurinkovoimaloiden toteutuksen osa-alueet. Kovin syvälle detaljeihin 200 sivun kuvite-tussa kirjassa ei päästä, mutta toisaalta sisältö kattaa järjestelmät omakotitaloista keskijänniteverkkoon kyt-kettäviin maa-asenteisiin voimaloihin.

Vaikka osa kirjan materiaalia in Britannia-spesifistä, suuri osa on yleispätevää ja mm. viittaa myös BS-standardeja vastaaviin EN-standardeihin. Ja vaikka esim. standardi EN 62548 on ajanut paikoin ohi, tästä pidän tätä yhtenä parhaista alaan liittyvistä yhteenvedoista. Vaikuttaa perustuvan ja käsittääkseni ainakin osittain korvannut MCS (Microgeneration Certification Scheme) 2012-asennusohjeistuksen (49).

4.7 Yhdysvallat

Yhdysvalloissa on useita organisaatiota ja yrityksiä, jotka tekevät tuoteturvallisuuteen liittyviä standardeja ja testejä. Osavaltioiden suuri itsemääräämisoikeus tuntuu johtaneen siihen, että osa "standardeista" on esim. jossain osavaltiossa (usein Kaliforniassa) toimivan ammattiorganisaation tekemiä, ja niissä olevien suositusten soveltaminen muualle kuin ko. osavaltioon tai Yhdysvaltoihin on erittäin ongelmallista. Sisältö sinänsä on tasokasta ja mielenkiintoista taustatietoa.

4.7.1 ASTM International

American Society for Testing and Materials (ASTM) on tehnyt parikymmentä aurinkosähkseen liittyvää standardia, joista osaa päivitetään. Osa on käsittääkseni päällekkäisiä IEC/ISO-standardien kanssa, mutta ainakin aiemmin osassa on erilaisia vaatimuksia. ASTM-standardeilla on mielenkiintoa lähinnä jos käytetään tuotteita jotka on tarkoitettu USA:n markkinoille ja jotka on ehkä sen takia testattu tavoilla joille ei ole eurooppalaista vastinetta. Turvallisuuden kannalta lupaavin on:

4.7.1.1 *E2908-12(2018) Standard Guide for Fire Prevention for Photovoltaic Panels, Modules, and Systems*

Nelisivuinen (ei kuvia) dokumentti, jossa tiiviisti/lyhyesti paloriskejä ja komponenttien valintaan ja asennukseen liittyviä ohjeita.

4.7.2 NFPA

NFPA (National Fire Protection Association) on yritysten muodostama yhdistys. Se ylläpitää sikäläistä sähköturvallisuusraamattua:

4.7.2.1 *National Electrical Code (NEC) NFPA 70 (50)*

NEC ole liittovaltion laki, vaan sen käytöstä päätetään osavaltio- tai paikkakuntatasolla. Vaikka NEC lienee käytössä kaikissa 50 osavaltiossa, kaikissa ei välttämättä ole siirrytty uusimpaan versioon. Ohjeistoa päivitetään muutaman vuoden välein, tällä hetkellä uusin on vuodelta 2017, ja päivitetty versio on tulossa 2020.

Aurinkovoimaloiden paloturvallisuuden kannalta vuoden 2017 versio oli merkittävä, koska siinä pelastuslaitosturvallisuuteen liittyvässä nopeassa jännitteettömäksi tekemisessä (Rapid Shutdown System, RSD) siirryttiin edellisen version vaatimuksesta "kytkettävissä jännitteettömäksi 10 jalan etäisyydellä paneelistosta" käytännössä paneelikohtaiseen poiskytkentään. Vanhemman vaatimuksen voi täyttää viemällä invertterit lähelle paneelistoa, jälkimmäinen vaatii käytännössä paneelikohtaista tehoelektroniikkaa.

Netistä löytyy varsin hyviä referaatteja NEC 2017:n vaikutuksesta aurinkovoimaloihin, joten koko opuksen hankkiminen ei ole tarpeen.

4.7.3 Underwriter's Laboratories UL

Suuri tuoteturvallisuuden testejä tekevä yritys, joka on myös tehnyt useita pääosin sähkölaitteiden turvallisuuteen liittyviä standardeja. Laitteiden ja komponenttien UL-hyväksyntä on käytännössä edellytys USA:n markkinoille pääsemiseen.

Aurinkosähkseen liittyvät standardit:

4.7.3.1 *UL 1703 Photovoltaic Flat-Plate Modules*

Sisällöllisesti pitkälle päällekkäinen EN 61215 ja EN 61730 kanssa, joskin ainakin ennen osa testeistä menelmiltään ja vaatimuksiltaan erilaisia.

4.7.4 California Department of Forestry and Fire Protection (CAL FIRE)

4.7.4.1 *CAL FIRE "Solar Photovoltaic Installation Guideline" 2008*

Jo osittain vanhentunut ohjeistus aurinkovoimaloiden asentamisesta, mm. turvaetäisyydet, pelastuslaitosten hyökkäysväylät jne.

Ajantasaisin ohjeistus lienee tällä hetkellä sisällytetty määräyskokoelmaan:

4.7.4.2 2016 California Fire Code (51)

/ <https://www.citymb.info/Home/ShowDocument?id=28089> /.

Aurinkosähköä käsitellään pääosin tämän 736-sivuisen (!) dokumentin kohdassa 605.11 "Solar photovoltaic power systems". CAL FIRE 2008 sisältää selventävää kuvitusta ja on sikäli helpommin lähestyttävä, molemmat kuitenkin tiukasti sidoksissa yhdysvaltalaiseen tapaan tehdä asiat. Huom! Dokumentista on olemassa maksullinen uudempi versio vuodelta 2019 / <https://shop.iccsafe.org/2019-california-fire-code-title-24-part-9.html> /.

4.7.5 SABCs

Solar America Board for Codes and Standards (Solar ABCs) on asiantuntijaorganisaatio, joka on julkaissut suuren määrän asiantuntevia ja perusteellisia oppaita. Erityisesti palo- ja sammutusturvallisuuteen liittyviä asioita käsitteleviä linkkejä sivulla <http://www.solarabcs.org/current-issues/fire.html>. Ongelmia: näkökanta on (ymmärrettävästi) USA-keskeinen, osa raporteista / ohjeista jo hiukan vanhoja. Osa sivujen linkeistä johtaa sivulle 404.

Tämän selvityksen kannalta kiinnostavin julkaisu:

4.7.5.1 Understanding the CAL FIRE Solar Photovoltaic Installation Guideline 2011 (52)

Perusteellista taustatietoa, kommenttia yllä olevaan vuoden 2008 CAL FIRE-ohjeeseen.

Solar ABS Oppaat ovat sinänsä hyviä (ja ilmaisia), mutta lähestyminen esim. viranomaisvaatimuksiin on ymmärrettävästi puhtaasti USA-lähtöinen ja mittamaailma perustuu jalkoihin, tuumiin ja paunoihin.

Suhteellisen tuoretta lisätietoa alan standardoinnista USA:ssa:

<https://www.seia.org/sites/default/files/Solar%20Standards%20Development%20vFinal.pdf>

5 Riskianalyysit, yhteenvedot ja suositukset

5.1 Saksa

5.1.1 Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE

Vuonna 1981 perustettu tutkimuslaitos, jonka tunnuspiirteenä on saksalaisen perusteellinen tekniikan tuntemus. Suurin osa esityksiä perustuu materiaaliin "PV-Brandschutz"-projektin tuloksiin. Tärkein dokumentti yhteenvetoraportti:

5.1.1.1 *Bewertung des Brandrisikos in Photovoltaik-Anlagen und Erstellung von Sicherheitskonzepten zur Risikominimierung (2)*

TÜV Rheinland energie und Umwelt GmbH 2015-07
ja sen englanninkielinen käännös:

5.1.1.2 *Assessing Fire Risks in Photovoltaic Systems and Developing Safety Concepts for Risk Minimization (1)*

TÜV Rheinland energie und Umwelt GmbH 2018-06

Noin 300-sivuinen dokumentti joka, sisältää yhteenvedon PV-Brandsicherheit-projektissa tehdyistä tutkimuksista ja niihin perustuvia suosituksia. Erittäin asiantuntevaa ja perusteellista työtä, jota luettaessa ja tulkittavissa on kuitenkin syytä muistaa, että se perustuu tilastoihin tulipaloista vuoden 2012 loppuun, ja osa selvityksistä ja johtopäätöksistä on sidoksissa saksalaiseen tapaan tehdä asioita.

Koska raporttia käytetään laajasti perusteluna aurinkosähkön luotettavuudelle ja miksi asioita pitää tehdä tai jättää tekemättä, olen kerännyt alle varsin kattavasti raportin pääsisältöä ja mielestäni tärkeimpiä havaintoja, otsikoiden luku- ja sivunumerot viittaavat alkuperäisen englanninkielisen dokumentin sivujen numerointiin:

5.1.1.2.1 1 Status of PV system designs and requirements s. 10

1.1 PV system design s. 10

1.2 Categorization of different PV systems s. 11

1.3 Status of the requirements on components, systems and installation s. 12

1.3.1 Standards, regulations and guidelines s. 12

1.3.2 Requirements on PV modules s. 15

Yleisluontoista taustatietoa erilaisista aurinkosähköjärjestelmistä ja niiden pääkomponenteista. Katsaus (suurelta osin **saksalaisiin**) standardeihin ja määräyksiin **kirjoitusajankohtana**.

1.3.3 Manufacturers' installation instructions s. 21

Katsaus eri komponenttien valmistajien asennusohjeisiin

- Paneelien kohdalla todetaan niiden varsin kirjava sisältö ja taso, ja johtopäätöksensä on, että paneelien asennusohjeille tarvittaisiin standardi.
- Invertterien kohdalla todetaan, että sisältö on kirjoitusajankohtana muihin komponentteihin verrattuna kattavampi, mutta sisältö vaihtelee varsinkin mitä tulee kaapelointiin ja sähköturvallisuuteen.
- DC-kaapelien ja liittimien osalta sisältö on edelleen ajankohtaista, mielestäni Suomessa vallalla olevien asennustapojen perusteella näiden ohjeiden tiedottaminen ja noudattamisen valvominen on erityisen tärkeää. Tiivistettynä: oikean tyyppiset liittimet kootaan valmistajan ohjeiden mukaisilla työkaluilla ja oikein menetelmin, eikä kokoamista tai liittäntä tehdä kosteissa oloissa. Kaapeleita tai liittimiä ei asenneta niin, että ne ovat alttiina vedelle tai auringonvalolle (!) pitkiä aikoja.
- Telineiden asennusohjeiden kohdalla kommentit puutteellisista tuuli- ja lumikuormien ohjeistuksista ovat osittain vanhentuneet, suurimmilla eurooppalaisilla valmistajilla on siihen varsin monipuoliset ohjelmistot. Suhtaudun kuitenkin omakohtaisten kokemusten ja selvitysten perusteella epäillen sekä

ohjelmiin että niiden käyttäjiin, varsinkin jos ohjelma on annettu asennusfirman käyttöön ilman asianmukaista perusasioiden koulutusta.

1.3.4 Installation requirements of the distribution grid operators s. 28

Ohjeistus sähköverkkoon liittymisestä, saksalainen ja osittain vanhentunut, vaikka Suomessa laajalti käytetäänkin standardin VDE-AR-N 4105 suosituksia saarekekäytön eston asetuksille.

5.1.1.2.1.1 1.4 Maintenance status and quality assurance s. 30

1.4.1 Manufacturer's warranty and guarantee conditions s. 30

Hyvä katsaus komponenttien, erityisesti paneelien, takuuehtoihin. Mielenkiintoista taustatietoa englanninkielisten termien "warranty" ja "guarantee" eroista. Koska suurin osa komponenttien takuuehdoista ei ole suomeksi, alkukielisellä termillä voi olla vaikutusta "takuun" sisältöön.

Paneelit: vaikka takuuehdot ovat raportin kirjoittamisajankohdasta jonkin verran muuttuneet, loppukäyttäjän kannalta oleelliset kommentit (=varoitukset) pitävät edelleen paikkansa:

- Mitä virheitä takuu oikeastaan kattaa ja missä tilanteissa takuu raukeaa?
- Miten takuutapaus todetaan, kuka maksaa varmentamisen kustannukset?
- Tehotakuun kohdalla mikä on se todellinen teho, joka taataan, huomioiden takuutekstistä olevat toleranssit?
- Mitä takuu kattaa: materiaalit, rahdit, työ, tuotantotappiot?
- Miten tehotakuu korvataan: usein luvataan toimittaa puuttuvan tehon edestä lisää paneeleja?
- Mitä edellytyksiä valmistaja asettaa takuun voimassa ololle, esim. vuosittaiset tarkastukset?

Suosittelavaa luettavaa niille, jotka perustavat tuotteen valinnan takuuehdoissa mainituille vuosille luke-matta takuuehtoja (ja selvittämättä millaiset edellytykset valmistajalla tai takuun antajalla on olla toiminnassa takuun jälkipuoliskolla).

Inverttereiden kohdalla edelleen pääkohdiltaan pätevä vertailutaulukko takuiden sisällöstä, mm:

- Takuun (warranty/guarantee) kesto, ja mahdollisuus maksulliseen jatkamiseen?
- Koskeeko takuu vain ensiostajaa(käyttäjää)?
- Mitä virheitä takuu kattaa: valmistusvirheet, heikentynyt suorituskyky, ulkonäkö?
- Mitä toimenpiteitä takuu kattaa: uusi laite, korjaus, vaihtotyö, pro-rata-korvaus, tuotantotappio?
- Voimassaoloehdot: ohjeiden mukainen asennus, säännöllinen huolto, poikkeukset?

Asennustelineiden osalta vastaava taulukko, pääkohdat:

- Takuun (warranty/guarantee) kesto?
- Koskeeko takuu vain ensiostajaa(käyttäjää)?
- Mitä virheitä takuu kattaa: valmistusvirheet, ulkonäkö?
- Mitä toimenpiteitä takuu kattaa: uusi teline, vanhan korjaus, vaihtotyö, pro-rata-korvaus, tuotantotappio?
- Voimassaoloehdot: ohjeiden mukainen asennus, säännöllinen huolto, vain alkuperäisasennuksessa, poikkeukset?

Erikseen mainitaan takuiden ehtona se, että asennuksen tekee ohjeiden mukaisesti asennukseen pätevä henkilö. Lisäksi telineen tulee soveltua kohteen kuormitusolosuhteisiin, asia, joka on usein urakoitsijan vastuulla. Oma kommentti: asennusta valvottaessa on syytä varmistaa, että telineurakoitsijalla on asennusohjeet, ne on luettu ja niitä noudatetaan.

1.4.2 Facilities for quality assurance and maintenance s. 35

Katsaus kirjoitusajankohtana olleisiin laadunvalvontaan liittyviin standardeihin ja tarkistuksia tekeviin organisaatioihin. Jossain määrin vanhentunut ja Saksaan orientoitunut.

Asennusten laadunvalvonnan suhteen painotetaan tarkastuksia yleensä ja vastaanottotarkastuksen DC-osion suhteen erityisesti standardia DIN/EN 62446.

Huollon ja kunnossapidon suhteen käydään läpi saksalaiset suositukset (2014?), määräaikaistarkastusten sisältönä pidetään standardia 62446(-1) mutta todetaan että kirjoitusajankohtana missään ei selkeästi määritellä tarkastusväliä. Tuolloin tekeillä olleeseen standardiin DIN VDE 0100-712 oli tulossa suositus 2 – 3 vuotta. Oma kommentti: muulla dokumentissa suositellaan (painavasti) järjestelmän DC-kytkimien verryttelyä vuosittain. Koska tämä on toimenpide jonka myös loppukäyttäjä helposti ja turvallisesti voi tehdä, tätä voisi tuoda esille suomalaisissa ohjeissa. Vaikka tässä tai muissa dokumenteissa ei erikseen mainita invertterin sisäisiä DC-kytkimiä, nähdäkseni niihin liittyy samoja riskejä kuin ulkoisiin ja ulkoisen DC-kytkimen puuttuminen ei tee tätä suositusta tarpeettomaksi.

1.4.3 Requirements by law and by institutions (VDS, GDV, BSW) s. 38

Katsaus eri viranomaisista ja heidän vaatimuksistaan Saksassa, ei vaikuta relevantilta Suomessa.

5.1.1.2.2 2 Electric arcs: Physical background and DC issues s. 39

5.1.1.2.2.1 2.1 Definition and properties of an electric arc s. 39

Hyvä katsaus valokaariin, painopiste aurinkosähköjärjestelmissä oleellisissa tasasähkövalokaarissa. Valokaarien havaitsemisen suhteen todetaan, että suurtaajuiset sähköhäiriöt ovat niille tyypillisiä, niiltä puuttuu yleispätevä ”sormenjälki” mikä tekee niiden luotettavan havaitsemisen vaikeaksi ja on vaikeuttanut elektronisten suojausten kehittämistä.

5.1.1.2.2.2 2.2 Arc quenching s. 41

Lyhyt katsaus perinteisiin esim. kytkimissä ja johdonsuojissa käytettyihin tapoihin sammuttaa valokaari.

2.2.1 Arc flashes in AC and DC systems s. 41

Lyhyt kommentti siitä, että vaihtosähköjärjestelmissä virran nollakohta mahdollistaa usein (mutta ei välttämättä) valokaaren sammumisen, kun taas aurinkosähköjärjestelmän tasasähköpiireissä valokaarella on taipumus jäädä palamaan.

2.2.2 Electric arc characteristics with different DC sources s. 42

Lyhyt selitys miksi resistiiviselle tasasähkökuormalle soveltuva kytkin ei sovellu aurinkosähköjärjestelmien kytkemisen erilaisen virta-jännitekäyrän ja siitä johtuvan valokaaririskin takia.

5.1.1.2.3 3 Safety and quality in photovoltaics – risks and errors s. 44

Yhteenveto selvityksistä joissa käsitellään toisaalta paneelia/paneelistoa osallisena palossa, ja toisaalta aurinkosähköjärjestelmän roolia palon alkusyynä

5.1.1.2.3.1 3.1 Fire behavior of modules s. 44

Perinteiset kiteiset paneelit sisältävät noin 600 – 1200 g/m² polymeerejä, taustakalvona usein PET ja PVF, kennojen kapseloinnissa EVA. Niiden paloarvo on samaa suuruusluokkaa tai hiukan suurempi kuin lämmitysöljyllä, 43 MJ/kg. Lisäksi järjestelmän muissa osissa on materiaaleja, jotka lisäävät palokuormaa.

Oma kommentti: vaikka viime aikoina yleistyneissä lasi-lasi-paneeleissa ei ole taustamuovia, suurin osa paloherkästä massasta on kennojen kapseloinnissa. Toistaiseksi en ole löytänyt hyvää vertailevaa selvitystä erilaisista lasi-lasi-paneeleista, verrattuna tyypillisiin perinteisiin paneeleihin.

3.1.1 Fire tests (resistance to flying sparks and heat) s. 45

Lista paneelien palotesteihin liittyvistä standardeista, erikseen huomautus siitä, että kattoon integroitaville paneeleille sovelletaan samoja testejä ja määräyksiä kuin kattopinnoitteille. Rakennuksen ulkovaipan ulkopuolelle asennettaville paneeleille ei ole omia vaatimuksia, vaan niihin sovelletaan paikallisia rakennusmääräyksiä.

3.1.2 Flammability and fire spreading s. 46

Alussa yhteenveto Currenta-palotestilaboratorion vuosikymmenen alussa yleisimmin käytössä paneelitekno-
logioille (c-Si, CIS, CdTe) tehdyistä palokokeista. Koejärjestelyssä paneelit oli asennettu 23° kulmaan testika-
ton suuntaisesti, ja palolähteenä käytettiin 25 kW ja 150 kW kaasupolttimia. Tärkeimmät tulokset:

- 25 kW polttimella paneeleissa havaittiin vain paikallista palamista.
- 150 kW polttimella paneeleista jäi jäljelle pahasti vääntyneet raamit.
- Lasi-taustamuovipaneelit: palavaa materiaalia alkoi tippua 1.5 – 4 minuutin kokeen aloittamisesta, paneeli syttyi noin 6 -8 minuutin kuluttua, lasi särkyi 7 – 10 minuutin kuluttua ja palo sammui noin 12 minuutin kuluttua palavan materiaalin loppumisen.
- Lasi-lasi-paneelista (CdTe) alkoi tippua palavaa materiaalia n. 2.5 minuutissa, taustalasi murtui noin 4 minuutissa ja palo eteni paneelin sisään 30 minuutissa.
- Kun poltin sammutettiin, 150 kW testissä palo jatkui 2 -3 minuuttia mikäli paneelissa oli jäljellä pala-
vaa materiaalia. 25 kW testeissä palaminen loppui, kun poltin sammutettiin.
- Johtopäätöksenä oli, että pienellä kuormalla paneelin palo ei leviä, mutta täysimittaisessa palossa
paneelit voivat lisätä palokuormaa ja levittää paloa.

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (Federal Institute for Materials Research and Testing, BAM) teki palotestejä 30 kW pistemäisellä kaasupolttimella, päätulokset:

- Polttimen sijoitus paneelin alle aiheutti huomattavasti pahemmat vauriot kuin standardien mukainen
testi, jossa palolähde paneelin päällä.
- Kiteisillä paneeleilla ei havaittu liekin tunkeutumista (?), "flame penetration", vaikka paneeli ites-
sään vaurioitui laajalta alueelta.

Päätelmät tehdyistä palotesteistä:

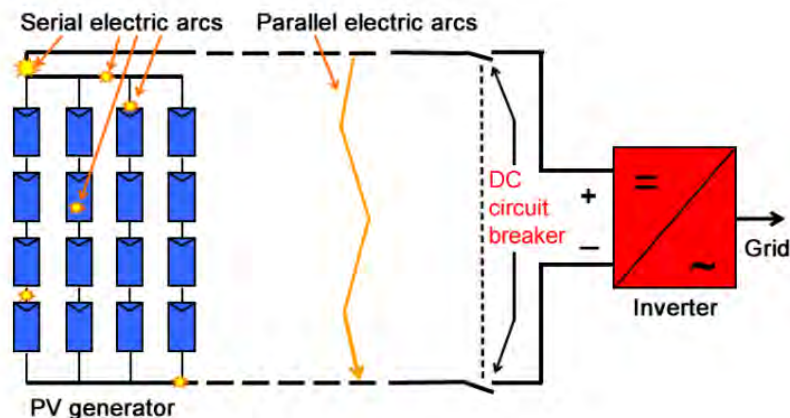
- Aurinkopaneelit ovat käytetystä teknologiasta riippumatta palavia, ja voivat laajassa palossa ylläptää
palamista.
- Palavaa materiaalia alkaa tippua paneelista muutamassa minuutissa. Paneelin lasilevyt voivat särkyä
(räjähtää, "burst"?) muutamassa minuutissa.
- Lasi-lasi-paneelit tuottavat vähemmän lämpöä ja palokaasuja niiden pienemmän polymeerisisällön
ansiosta.

Oma kommentti: niissä kuvissa, joita olen nähnyt perinteisten paneelien (karkaistu lasi joka laminoitu EVA-
kalvoon) palotesteistä en ole nähnyt merkkejä lasin räjähdysmäisestä hajoamisesta. Osa ohutkalvopanee-
leista on kuitenkin valmistettu karkaisemattomasta lasista ja ilman sitovaa polymeeriä, joten periaatteessa
teräviä sirpaleita aiheuttava hajoaminen on mahdollista.

5.1.1.2.3.2 3.2 Assessment of the electric arc risk in PV systems s. 49

Valokaarien arvioidaan olevan aurinkosähköjärjestelmien suurin riskitekijä. Tyypillisiä valokaaren aiheuttajia:

- Sarjavastus: huonot kontaktit johtavat liitoksen kuumenemiseen, eristyksen heikkenemiseen ja ajan
mittaan liitoksen palamiseen ja/tai valokaareen. Riskinä ovat paitsi paneeliston johtojen ulkoiset lii-
tynnät myös paneelien sisäiset kennojen väliset liitokset. Valokaari on sarjassa paneeliston virtapiirin
kanssa ja johdon kytkeminen virrattomaksi riittää yleensä sammuttamaan valokaaren.
- Maasulku: maasulkujen aiheuttama valokaaren riski arvioidaan Saksassa pieneksi, koska paneelitoja
ei yleensä ole maadoitettu ja yksinkertainen maasulku ei aiheuta valokaareen tarvittavaa virtaa. Yh-
dysvalloissa, jossa paneeliton maadoittaminen on ollut viranomaisvaatimus, tämä riski on huom-
tavasti suurempi.
- Rinnakkaisvalokaari: järjestelmässä kaksi eri potentiaalissa olevaa pistettä, esim. päävirtapiirin + ja -
johtimet, joutuvat kosketuksiin toistensa kanssa ja niiden välille syntyy valokaari. Valokaari ei toden-
näköisesti ole sarjassa päävirtapiirin kanssa eikä sitä saa sammutettua esim. kytkemällä invertteri
pois päältä. Vika on harvinainen, koska se vaatii kahden kaksoiseristetyn johtimen vaurioitumisen
samaa johtavaan piiriin.



Lähde: H. Häberlin, *Was tun bei Detektion? Sinnvolle Strategien zum Erreichen eines sicheren Anlagenzustands bei Auslösen des Lichtbogendetektors*, 2. PV-Brandschutz-Workshop, Freiburg, 2013

5.1.1.2.3.3 3.3 Damage and fire event analysis of PV systems s. 52

3.3.1 Introduction s. 52

Analyysi projektiryhmän tietoon tulleista aurinkosähköjärjestelmiin liittyneistä paloista vuoden 2013 alkuun. Tuolloin Saksassa noin 1,3 miljoonaa järjestelmää yhteensä noin 30 GWp. Kerätty tietokanta ei todennäköisesti sisällä kaikkia paloja, mutta on laajin käytettävissä oleva.

Yhteenvedo:

- Saksassa raportoitu noin 430 aurinkosähköjärjestelmän paloa tai ylikuumenemista.
- Niistä noin 220:ssa palon aiheuttaja oli järjestelmän ulkopuolella.
- Noin 210 tapauksessa aurinkosähköjärjestelmä oli palon aiheuttaja.

3.3.2 Statistical damage analyses s. 54

Luvussa käydään paloja läpi tilastollisesti eri näkökulmista, alla päähavaintoja:

Vahinkojen laajuus:

- | | |
|---|------|
| • Yksittäinen PV-komponentti vaurioitunut | 28 % |
| • PV-järjestelmä vaurioitunut | 34 % |
| • Rakennus vaurioitunut | 32 % |
| • Rakennus tuhoutunut | 6 % |

Paloista pyrittiin selvittämään käytettävissä olleiden tietojen perusteella:

- Palon syy
- Palon aiheuttanut komponentti
- Järjestelmän ikä
- Järjestelmän tyyppi
- Vahinkojen laajuus ja vaikutukset

Yleisenä huomiona todetaan, että valokaaren aiheuttama tuho on paljon suurempi jos sarjavalokaari pääsee etenemään rinnakkaisvalokaareksi, esim. kun yksittäinen palava/sulava johdin etenee kohtaan jossa on samassa nipussa useiden paneeliketjujen virtapiirejä.

Eri tyyppisten järjestelmien osuus paloista N = 139 :

- | | |
|------------------------------|------|
| • Kattoasennus, harjakatto | 51 % |
| • Kattoon integroitu asennus | 10 % |

- | | |
|---------------------------|------|
| • Julkisivu | 1 % |
| • Kattoasennus, tasakatto | 14 % |
| • Avokenttä (voimala) | 24 % |

Jakautuma vastaa tuolloin asennettujen järjestelmien määrien jakautumista, lukuun ottamatta kattoon integroitua järjestelmiä, joiden osuus asennuksista oli alle 1%.

Osuus paloista, joissa rakennus oli vaurioitunut N = 57:

- | | |
|------------------------------|------|
| • Kattoasennus, harjakatto | 60 % |
| • Kattoon integroitu asennus | 19 % |
| • Kattoasennus, tasakatto | 21 % |

Kattoon integroitujen (BIPV) osuus on noin 20-kertainen niiden määrään nähden. Yhtenä syynä esitetään katon suojaavan vaikutuksen puuttumista: jos paneelisto on palonlähde, se sijaitsee jo valmiiksi rakennuksen sisällä.

3.3.2.2 Cause of damage

Palon syiden jakautuminen, N = 103.

Tuoteviat	36 kpl
• Suunnitteluvirheet	18 kpl
• Asennusvirheet	39 kpl
• Ulkoiset tekijät	10 kpl
• Alumiinikaapelit osallisina kaikista	14 kpl

”Tuoteviat”: koskee erityisesti paneeleja ja invertteitä, aiemmin useilla paneelivalmistajia oli systemaattisia vikoja, jotka johtivat paloihin ja/tai tuotteiden takaisenvetoihin. Sama päti myös joihinkin invertterimalleihin.

”Suunnitteluvirheet”: sekä mekaaniseen että sähköiseen suunnitteluun liittyvät virheet:

- Paneelit sullottu yhteen väkivalloin, aiheuttanut säröjä ja myöhemmin valokaaria.
- Paneelit asennettu virheellisesti, niin että esim. kytkentäkoteloihin kohdistunut vääntöä, joka on irtottanut ne.
- Invertterit asennettu ulos ilman riittävää mekaanista suojaa, seurauksena esim. kosteuden kondensoitumista laitteiden sisään ja siitä johtuvia paloja.
- Palokatkot puuttuneet seinäläpivienneistä.
- Ulos asennettu olosuhteisiin sopimattomia inverttereitä.
- Inverttereiden asennuspaikka soveltumaton, korroosiota aiheuttavia kaasuja, suora auringonpaiste.
- Alimitoitettut kaapelit.
- Alimitoitettu DC-kytkin.
- Väärän tyyppiset DC-sulakkeet.
- Sulakkeiden aiheuttama lämpökuorma huomioimatta koteloinnissa.
- DC-kaapelit pääsevät hankautumaan metallireunoihin.
- Väärin toteutetut alumiinikaapeleiden liitokset.
- Järjestelmän myöhempi laajennus huomioimatta olemassa olevien sähkölaitteiden ja kaapeleiden mitoitus.

”Asennusvirheet”: syynä oletetaan olevan osaltaan vaikeat olosuhteet ja aikataulupaineet, mutta myös puutteellinen ammattitaito:

- DC-liittimet eivät kunnolla yhdessä.
- DC-puristusliitos huono tai jätetty tekemättä.
- Ruuviliittimet kiristämättä
- Kaapelien riittämätön mekaaninen suojaus.
- Alumiinikaapelien virheellinen asennus, väärän tyyppiset liittimet ei kiristetty oikeaan momenttiin.
- Kaapeleissa ei ole vedonpoistoa.

“Ulkopuoliset tekijät”: kaapeleita jyrsivät eläimet, satunnaiset salamaniskut jne.

”Alumiinikaapelit”: mukana jo yllä, mutta otettu erikseen jotta niiden osuus huomioidaan paremmin.

Oma kommentti: suurin osa suunnitteluun ja asentukseen liittyvistä kommentteista relevantteja myös tämän hetken suomalaisissa asennuksissa.

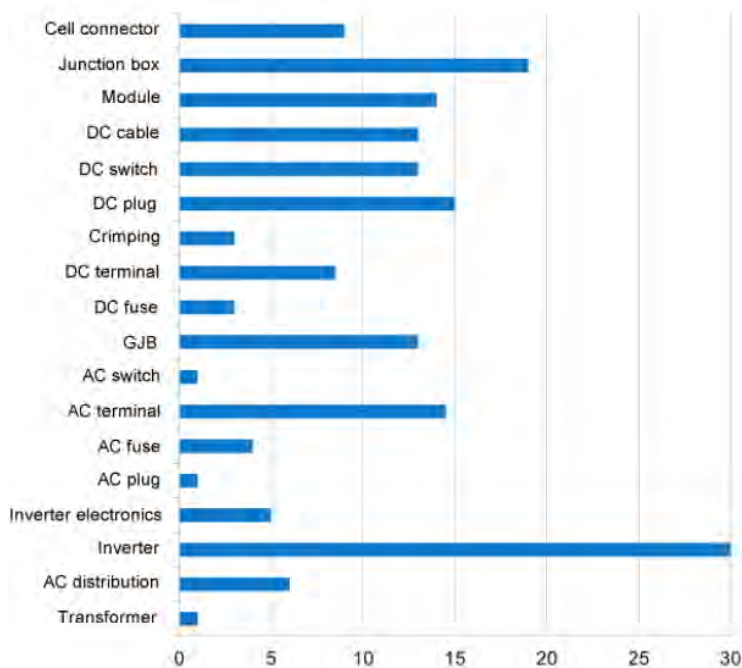
3.3.2.3 Components causing faults

Vaikka aurinkosähköjärjestelmien DC-puolen komponenttiviaat korostuvat, myös vaihtosähköpuolella esiintyy runsaasti vikoja N = 174:

- | | |
|---------------------------------|------|
| • Vaihtosähköpiirit/kaapelointi | 7 % |
| • Invertteri | 21 % |
| • Tasasähköpiirit/kaapelointi | 39 % |
| • Paneeli | 23 % |

Selvityksessä tulosta pidettiin yllättävänä, koska vaihtosähköpuolen kojeita ja kaapeleita on vain noin kymmenesosa tasasähköpuolen vastaavista, ja ne sijaitsevat yleensä suojatuissa sisätiloissa.

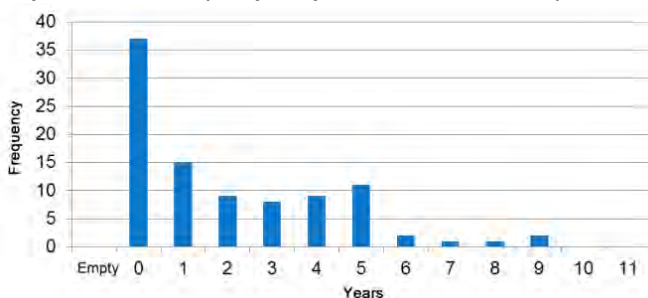
Komponenttitason vika-analyysi, N = 174:



Lukumääräisesti eniten vikoja paneeleissa ja niiden liitoksissa sekä inverttereissä, edellisiä lukumääräisesti eniten ja jälkimmäiset monimutkaisimpia.

3.3.2.4 Age of the systems

Järjestelmien ikä palojen ajankohtana, kuinka pian asennuksen jälkeen palo on syttynyt N = 99 :

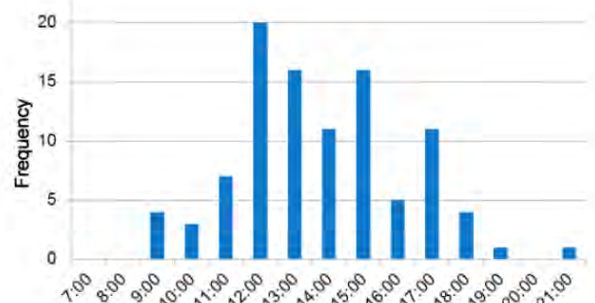
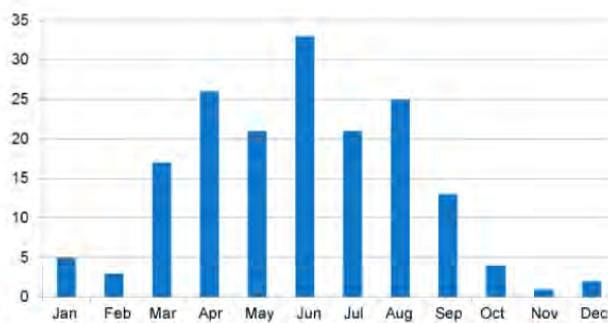


Syynä uusien järjestelmien silmiinpistävän suureen osuuteen pidettiin osaltaan inverttereiden tuotevikoja ja vaikeista asennusolosuhteista johtuneita asennusvirheitä. Esimerkkinä mainitaan vuosi 2011, jolloin 40% asennuksista tehtiin tariffimuutosten takia kiireellä joulukuussa. Vuositasolla määrät lisääntyvät jokseenkin suhteessa järjestelmien lisääntymiseen.

Oma kommentti: tilastot Italiasta samankaltaisia, paloja erityisen runsaasti ensimmäisenä vuotena asennus-boomin jälkeen. Suomessa erilaiset ilmasto-olosuhteet ja järjestelmien tekniset erot voivat kuitenkin vaikuttaa tulevaan jakautumaan.

3.3.2.5 Time of the malfunction

Vian ajankohta, kuukausi N = 171 ja kellonaika N = 99 :



Raportissa huomautetaan palojen ja säteilyn voimakkaasta korrelaatiosta, mitä pidetään merkinä vikojen riippuvuudesta virrasta ja arvioidaan vikojen johtuvan pääosin huonoista liitoksista.

Oma kommentti: Joulutammikuun ”piikit” johtunevat keskitalvella tehtyjen asennusten huonommasta laadusta. Sen sijaan marras-tammikuussa huonoissa olosuhteissa tehty asennukset, joita ei pystytä asianmukaisesti testaamaan, voisivat vähälumisena vuonna näkyä piikkinä maaliskuussa.

3.3.2.6 Conclusions from the damage analysis

Yhteenveto vaurioanalyysistä

Ennakoitujen paneeli- ja invertterivikojen lisäksi puutteita tai vikoja havaittiin yllättävän usein:

- DC-liittimissä
- AC-kytkennöissä, erityisesti ruuviliittimissä
- Ammattitaidottomuus alumiinikaapelien käytössä

Palojen suurimmat syyt ovat asennusvirheet ja invertteriviat

Kaikki asiakkaan liitynnät voivat olla kriittisiä

Suurin osa vioista liittyy päävirtapiirissä olevat sarjamuotoiset liityntöjen aiheuttamat viat. Eristeviat ja rinnakkaisviat (napaoikosulut) ovat suhteellisen harvinaisia.

3.3.3 Damage patterns of particular malfunctions s. 62

Tarkempaa tapauskohtaista esimerkkietoa yllä esitetystä palojen syistä, runsaasti kuvia.

3.3.3.1 DC plug connectors

DC-liityntöjen tärkeimmät syyt:

- Huono puristusliitos, esim. linjapihdeillä
- Kontakteja tai liittimiä ei ole asennettu kunnolla pohjaan saakka
- Liittimet virheellinen kokoaminen, kontakti ei ole lukittunut kunnolla paikoilleen

- Eriparisten liittimien käyttö, ”yhteensopivat” eri valmistajilta

3.3.3.2 DC switches

DC-kytkimien todettiin olleen vian aiheuttaja 13 tapauksessa. Selvityksessä ei saatu selvää näyttöä siitä, johtuvatko viat tuotevirheistä vain virheellisestä suunnittelusta (virta/jännite/asennusolosuhteet), molemmista nähtiin viitteitä.

Luvussa käsitellään perinpohjaisesti mm. kontaktien hapettumisesta johtuva ylimenovastuksen kasvu, joka voi johtaa ylikuumenemiseen ja valokaareen.

Yhteenveto havainnoista:

- Kytkimien kontaktit vanhenevat nopeammin ja niiden ylimenovastus kasvaa, jos ne ovat jatkuvasti ylikuumenemassa.
- Kytkimet tulee (yli)mitoittaa vähintään 125% nimellisvirrasta. Kytkimille määritellyt lämpörajat ja turvakertoimet tulee huomioida.
- Kytkimet tulee tarkastaa vähintään kerran vuodessa, etsittävä merkkejä ylikuumenemista.
- Kytkimet tulee huoltaa kerran vuodessa, ja kytkeä virrattomana päälle-pois vähintään 10 kertaa kontaktipintojen puhdistamiseksi.

Oma kommentti: kytkinpalojen osuus pieni verrattuna Australian ja UK:n tilastoihin, luultavasti koska Saksassa erilliset DC-kytkimet ole olleet yleisiä. Samaten kymmenkunta vuotta sitten suuressa osassa saksalaisia inverttereitä ei ollut integroituja DC-kytkimiä.

3.3.3.3 Improper handling of modules

Paneelien virheellinen käsittely asennuksen aikana: paneelin johtoja oli käytetty kantamiseen mikä oli johtanut kaapeleiden osittaiseen irtoamiseen paneelin kytkentäkotelossa ja kotelon sisäiseen ylikuumenemiseen ja pirikortin palamiseen.

3.3.3.4 Loose clamp connection

Löysät liitokset riviliitimissä: ongelma ruuviliitimillä yleensä. Alumiinikaapelin liitoksissa erityinen ongelma, koska kasvaneen ylimenovastuksen kuumuus pehmentää/sulattaa alumiinikaapelin huomattavasti kupari-kaapelia matalammissa lämpötiloissa.

3.3.3.5 Fire propagation through cable bundle

Kaapelien eriste on palavaa materiaalia ja saattaa toimia polttoaineena. Eristepalot kaapelipuissa, joissa + ja – ovat samassa nipussa, eristeen sulaminen voi johtaa rinnakkaisvalokaareen. Positiivisten ja negatiivisten kaapeleiden pitäminen omissa nipuissaan vähentää rinnakkaisvalokaaren riskiä huomattavasti.

3.3.3.6 Disregard of the requirements on “fire-hazardous operating facilities”

Saksassa järjestelmiä on asennettu varsinkin maaseudulla rakennuksiin, joissa paloriksi on tavallista korkeampi esim. pölyn takia. Tärkeimmät kommentit:

- Aurinkosähköjärjestelmä tulee asentaa palovaarallisen tilan ulkopuolelle.
- Invertterit asennetaan usein puiselle taustalevyille; tämä on erityisen huolimatonta ja valmistajien ohjeiden vastaista!

Oma kommentti: jälkimmäinen yleistä Suomessa, ja olen joskus menneisyydessä tietämättömyyttäni itsekin jättänyt vaatimatta asennuksen korjausta.

3.3.4 Large-scale fires s. 73

Lyhyehkö selvitys kahdesta laajemmasta varastorakennuksen palosta joissa palo levisi rakennusten sisään. Todennäköisenä syynä pidettiin seinä/kattoläpiviennin puutteellista palokatkoa. Toisessa paloa levitti palava

bitumikermi, joka normaalisti on ei levitä paloa ja sammuu itsekseen kun palolähteen poistuu. Syyksi oletetaan, että paneelisto muuttaa palon käyttäytymistä paneelien alla.

Oma kommentti: selvityksestä ei käy ilmi millainen katon rakenne on ollut. Oletettavasti bitumikermin alla on ollut eristevilla, koska katon palamisesta huolimatta itse rakennus on saatu pelastettua.

3.3.5 Conclusions and recommendations s. 74

Yhteenveto ja suositukset:

Yhteenveto: Aurinkosähköpalojen voi olettaa yleistyvän, koska järjestelmät vanhenevat ja ongelmat eristyksen ja liitoksien kanssa lisääntyvät mm. materiaalien vanhenemisen takia. epäsuotuissa oloissa nämä voivat johtaa paloihin.

Suositukset: näemme paloriskien pienentämiseen kolme päätapaa:

- **Asentajien koulutus:** ammattitaitoinen ja laadukas asennus estää suurimman osan asennusvioista.
- **Tarkastukset** (testaus): erityisesti vastaanottotarkastukset ja määräaikaistarkastukset.
- **Teknologian kehittyminen**
 - o Ruuviliitokset korvataan jousiliitoksilla
 - o Valokaari-ilmaisimilla sarjavalokaaret saadaan useimmiten sammutettua

Oma kommentti: pidän kahta ensimmäistä kohtaa lyhyellä aikavälillä erittäin tarpeellisina ja kiireellisinä. Kolmanteen on raportin kirjoittamisen jälkeen tullut merkittävänä vaihtoehtona paneelikohtainen tehoelektroniikka (MLPE), sen ongelmana paitsi lisäkustannukset myös standardoinnin puuttuminen.

5.1.1.2.3.4 3.4 Damage analyses of a solar system supplier s. 75

Luku käsittelee suuren saksalaisen asennusliikkeen ”Energiebau Solarstromsysteme GmbH” kokemuksia oman laadunvalvonnan ja asiakaspalautteen pohjalta. Kahden vuoden aikana 2010-luvun alussa yritys tarkasti lähes 24 000 paneelia, joista 20,5 % jossain määrin viallisia, niistä 41 % kennovikoja jotka näkyivät EL-kuvissa.

Oma kommentti: koska tulokset ovat jo vanhentuneita ja yritys poistunut markkinoilta en käsittele sisältöä enempää.

5.1.1.2.3.5 3.5 Potential electric arc risks in PV systems s. 79

Luku käsittelee valokaaren riskejä eri komponenteissa.

3.5.1 Module s. 79

3.5.1.1 Cell connectors

Katsaus paneelin sisäisten, kennojen välisten valokaarien syntyyn.

Oma kommentti: kattava katsaus paneelien sisäisiin liitoksiin ja niiden määrään kennojen välisten johtimien suhteen. Valitettavasti katsaus on vuodelta 2012/2013, jolloin johtimia oli useimmiten kaksi ja kolmen johtimen käyttö oli vatsa tuloillaan. Johtimien määrä on nykyään selkeästi suurempi, jopa 12 – 16 lanakamaista johdinta. Se lisää toisaalta liitosten määrää, mutta samalla lisää rinnakkaisuutta, jolloin yksittäisen vian vaikutus on pieni.

3.5.1.2 Module junction box

Laaja katsaus kytkentäkoteloiden ylikuumenemisesta ja mahdollisista syistä. Johtopäätökset:

- Paneelin kytkentäkoteloa on syytä pitää korkeana riskinä. Hyvä liitinteknologia on välttämättömyys ylikuumenemisen ja siitä johtuvien valokaarien ehkäisyssä.
- Lisäksi hyvät materiaali- lämpötekniset ominaisuudet ja ylijännitteiden ja korroosion sieto ovat edellytyksiä kytkentäkotelolle, jossa paloriski on matala.

3.5.1.3 Bypass diode

Katsaus paneelin sisäisten ohitusdiodien tarpeeseen, ominaisuuksiin ja paloriskeihin. Suurimmat vikaantumisen aiheuttajat ylikuumentuminen ja jännitepiikit. Lisäksi esitetään esimerkkejä perinteisen diodin korvaavista komponenttitekniologioista.

Oma kommentti kohtiin kytkentäkotelo ja ohitusdiodit: paneelien virran ja kennomäärän kasvaminen ovat periaatteessa lisänneet sekä kuumentumisen että jänniterasitusta. Toisaalta uusimmat paneelien turvallisuuden standardit sisältävät testejä, jotka varmistavat varsin pitkälle että paneeli on turvallinen myös poikkeustilanteissa, ainakin valmistajan ohjeiden mukaan käytettynä. Monet valmistajat valavat kytkentäkotelon diodeineen täyteen epoksia tms., jolloin sekä korrosio että liitosten löystyminen saadaan estettyä. Haittapuolena on se, että vioittunutta ohitusdiodia ei voi vaihtaa ja paneeli on vikojen suhteen kertakäyttöinen.

3.5.2 Plug connections and wiring s. 88

3.5.2.1 Connectors

Opettavaisia kuvia ja varoituksia ”yhteensopivista” DC-liittimistä ja sekä oikeasta että väärästä tavasta tehdä puristusliitos.

3.5.2.2 Lines and line routing

Lyhyt mutta tärkeä yhteenveto kaapeloinnin suunnittelusta. Pääkohdat:

Kaksoiseristetyillä ”Solar”-kaapeleilla napaoikosulku vaatii neljän eristekerroksen vaurioitumisen mikä on normaalisti epätodennäköistä.

Kaapeleiden tiukka niputus kasvattaa oikosulkuriskiä, mutta on tarpeen ylijännitesuojauksen kannalta.

Paras tulos saadaan, jos + ja – kaapeloidaan omissa mutta vierekkäisissä kaapelikanavissaan.

Kaapeloinnin tulisi rasittaa eristystä mahdollisimman vähän: kaapelit eivät saisi olla suorassa auringonpaisteessa, veden alla tai kulkea terävien reunojen yli.

Kaapelit tulee kiinnittää niin että ne eivät liiku tuulessa, eikä niille sallittua taivutussädettä saa alittaa.

3.5.3 Fuses s. 89

Katsaus DC-sulakkeiden tarpeeseen: aiemmin hyvin yleisiä, nykyisin merkitystä rajoittamaan varjostustilanteissa paneeliketjuun syötettävää takavirtaa. Raportin ajankohtana saatavilla oli soveltuvia 1000 Vdc sulakkeita oli vain rajallisesti saatavilla ja niiden hinta korkea.

Raportissa esitetään, että paneeliketjujen DC-sulakkeet vaadittaisiin vain, jos paneelit asennetaan palovaaralliseen ympäristöön.

Oma kommentti: suomalaisissa järjestelmissä erilliset sulakkeilla varustetut kytkentäkotelot ovat vain harvoin tarpeen. Useimmiten järjestelmät toteutetaan inverttereillä joissa on sisäiset (usein valvotut) sulakkeet tai vain kaksi rinnakkaista paneeliketjua. En ole varma pitävätkö oletukset sulakkeiden tarpeettomuudesta välttämättä paikkaansa. Joka tapauksessa, jos sulakkeita tarvitaan niiden saatavuus on hyvä ja (tukku)hinta kohtuullinen.

3.5.4 Isolators and disconnection points s. 90

Paneeliketjujen DC-erotus: lyhyt katsaus tarpeeseen ja teknisiin vaihtoehtoihin. Oikeaa mitoitus painotetaan.

Oma kommentti: luku on vanhentunut uudempien asiaa koskevien standardien takia SFS 6000-7-712 ja IEC 62548.

3.5.5 Generator junction boxes s. 91

Kenttäkotelo, array box: kotelo jossa yhdistetään rinnakkaisia paneeliketjuja ja joissa saattaa olla DC-kytkin, ketjusulakkeita ja virranmittaus. Esittelee vaadittavia ominaisuuksia ja mitoitus.

Oma kommentti: nykyään harvinaisia Suomessa, kiinteistöasennuksissa suositaan inverttereitä, joihin yksittäiset paneeliketjut tuodaan suoraan.

3.5.6 Inverters s. 94

Katsaus vaihtosuuntajien eli inverttereiden tekniikkaan vuosimallia n. 2013. Paloturvallisuuden kannalta relevantti huomio hyvän suojausluokan koteloinnin mahdollisesti rajaavan invertterin sisäisen palon. Lisäksi muistutetaan siitä, että laitteen jäähtymisen kanalta myös pölyjen ja roskien on tarpeellista.

Oma kommentti: sisältö on enimmäkseen pätevää, vaikka arvioitu tekniikka onkin vuosikymmenen alusta.

3.5.7 AC installation s. 98

Vaihtosähköasennukset ovat olleet selvityksessä syynä yllättävän moneen paloon. Havaittuja syitä ja riskitekijöitä:

- Kaapelit alimitoitettuja.
- Ruuviliittimet kiristämättä.
- Kaapelin kuori työnnetty liittimen sisään tai johdin vain osittain liittimessä, riittämätön sähköinen kontakti.
- Sulakkeiden ja kytkimien mitoittamiseen vaikuttavia ympäristöolosuhteiden korjauskertoimia ei ollut käytetty.
- Keskukset mitoitettu vaihtosähkökeskuksille käytettävillä kertoimilla, olettaen kuormituskertoimeksi 0,7 kun sen tulisi olla vähintään 0,85.

Lisäksi oli merkkejä siitä, että aurinkosähkökäytölle tyypillinen syklinen tehon ja lämpötilojen vaihtelu aiheuttaa erityistä rasitusta kontakteille.

Suositus: liittimet tulisi tarkistaa säännöllisesti.

5.1.1.2.3.6 3.6 Risk analysis s. 100

3.6.1 Methodology s. 100

3.6.2 Assessment of the risk points in PV systems s.102

3.6.3 Conclusions s. 106

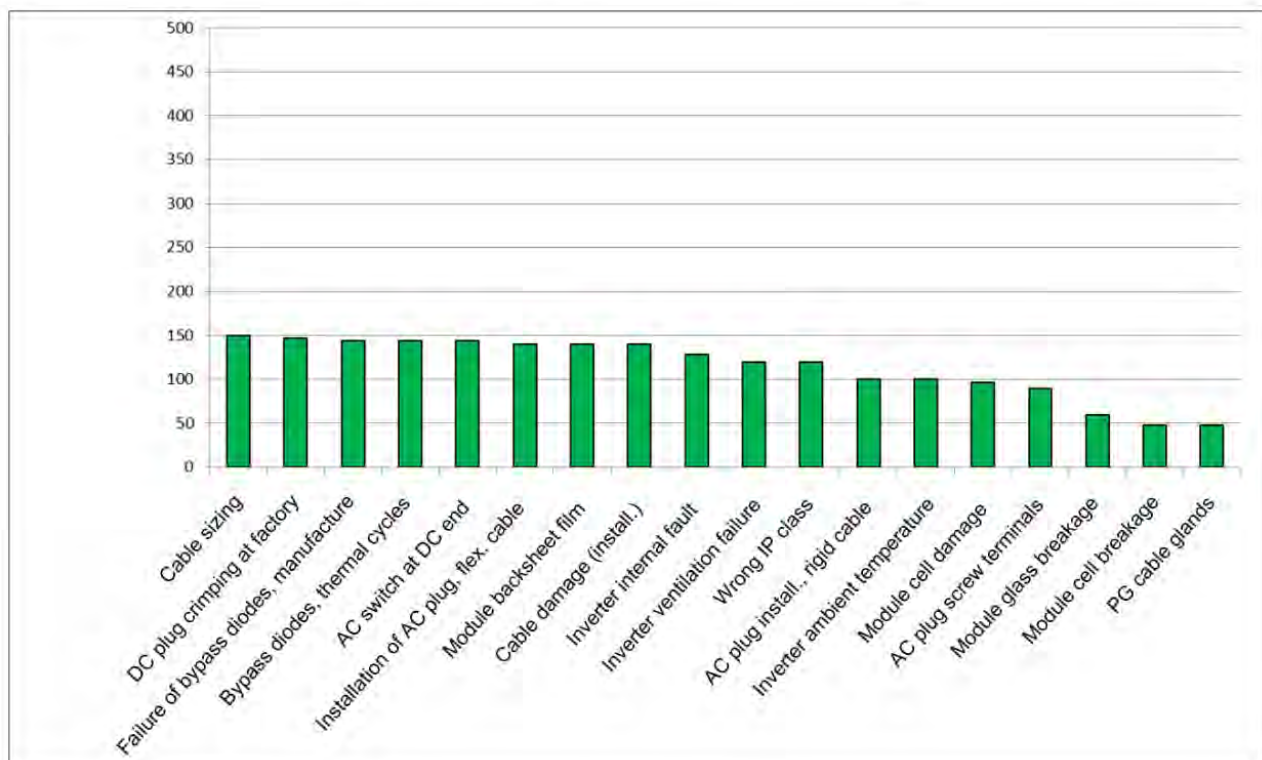
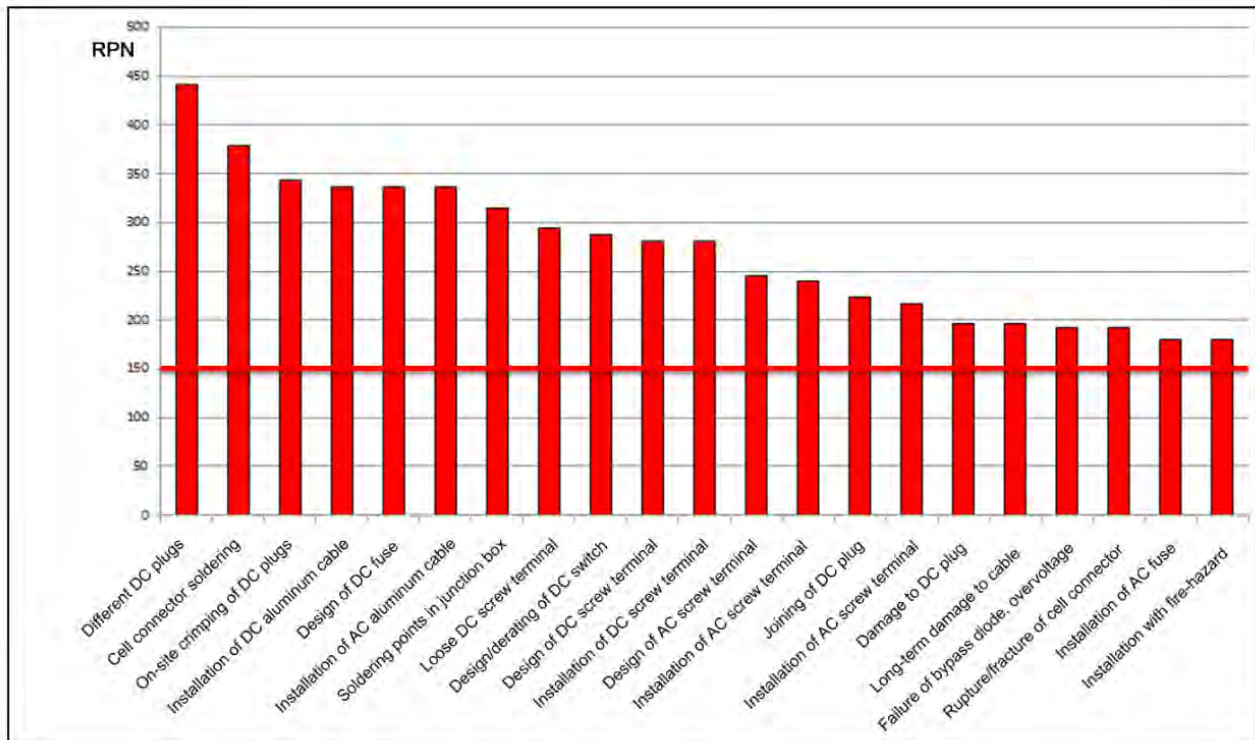
Perusteellinen kuvaus toteutuneiden palojen perusteella tehdystä aurinkovoimaloiden suunnittelun ja toteutuksen eri osa-alueiden FMEA-analyysistä (Failure Mode and Effects Analysis). Menetelmässä arvioidaan komponentin ja aurinkosähköpalon riskiä laskemalla komponentille tai työvaiheelle antamalla riskikerroin RPN kertomalla seuraaville osa-alueille arvioitu riski skaalalla 1...10:

- Kuinka todennäköisesti se tapahtuu?
- Kuinka todennäköisesti se sytyttää palon?
- Kuinka todennäköisesti vika voidaan havaita?

Osa-alueiden pisteet kerrotaan keskenään, ja maksimipistemäärä on siis 1000. Se siis edellyttäisi vikaa, joka hyvin varmasti toteutuu, aiheuttaa palon mutta jota ei voi valvomalla tai mittaamalla havaita ennakkoon.

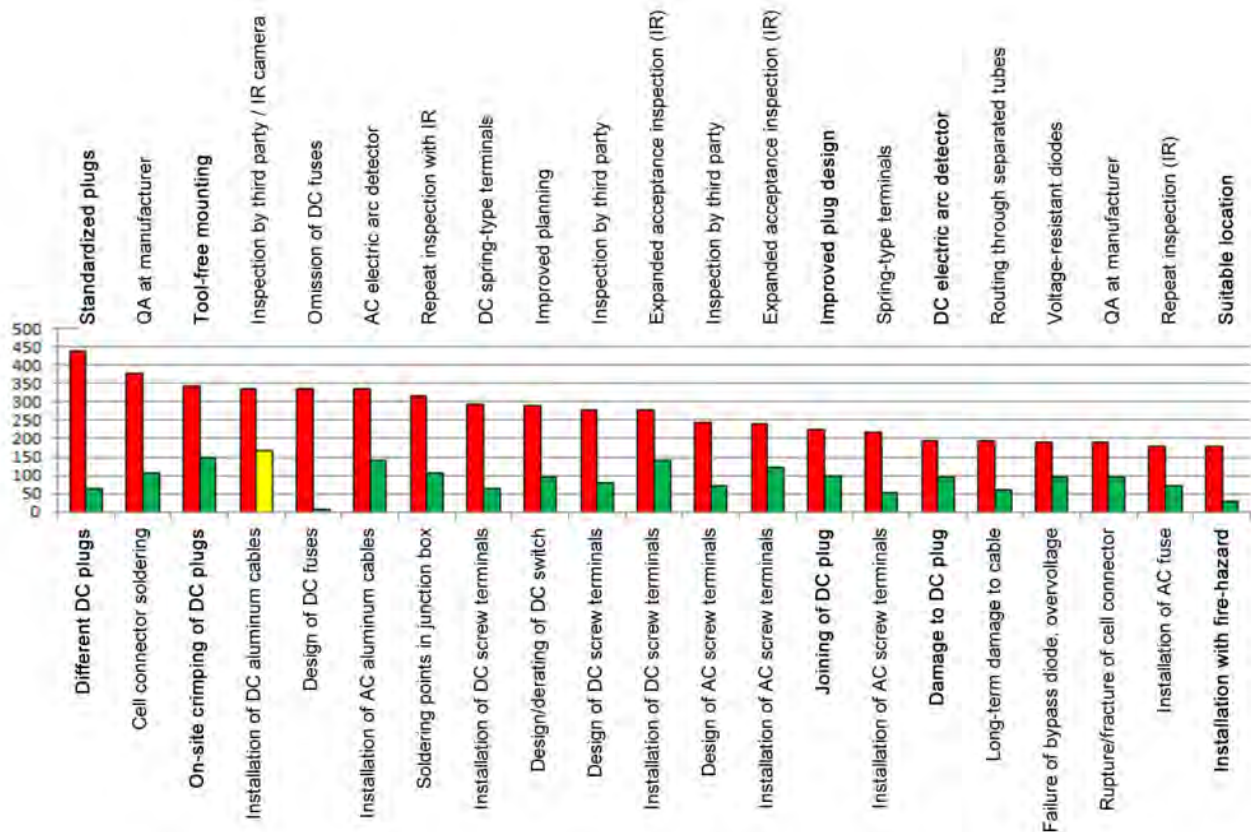
RPN-lukua 150 pidetään tässä rajana, jonka ylittyminen edellyttää riskejä pienentäviä toimenpiteitä.

Selvityksessä saatiin seuraavat RPN-arviot, alla erikseen yli ja alle arvolle 150.



Oma kommentti: suurin osa riskitekijöistä on joko suunnittelu- tai asennusvirhe.

Lisäksi selvityksessä käytiin läpi mahdollisia toimenpiteitä riskien pienentämiseksi ja niillä saatava parannus:



Alumiinikaapeleiden asennus on ainoa, jossa RPN-lukua ei saada alle kriittisen arvon 150. Toimenpiteiden vaikuttavuudelle saatiin paremmuusjärjestys:

1. Standardien ja määräysten noudattaminen
2. Vastaanotto- ja määräaikaistarkastukset (kolmannen osapuolen)
3. Laajennetut testit (lämpökamera, EL-kuvaus, muut)
4. Suunnittelijoiden ja asentajien koulutus
5. Komponentti- ja laitevalmistajien laadun valvonta
6. Jousivoimaliittimet ruuviliittimien tilalle
7. Komponenttien maailmalaajuinen standardointi (erityisesti DC-liittimet)
8. Valokaari-ilmaisu ja sähköinen sammutus
9. Liittimien parempi suunnittelu
10. Minimalistinen suunnittelu, kaikki tarpeeton ja riskialtis jätetään pois
11. Mekaaniset suojaukset, esim. kaapelikanavat
12. Muut toimenpiteet

Johtopäätökset:

- Valitettavasti suurin riskitekijä on ”inhimillinen virhe”. Korjaavat toimenpiteet keskittyvät sen takia sekä komponenttien että toteutuksen laadunvalvontaan.
- Säännöllisiä kolmannen osapuolen tarkistuksia pidettiin hyödyllisinä, mutta kustannusten tulee olla järkevässä suhteessa systeemin tuottoon.
- Turvallisuutta lisäävät uudet(lisä)komponentit voivat alentaa riskejä, mutta ovat toissijainen menetelmä verrattuna ammattitaidolla laadukkaista komponenteista tehdyn toteutuksen jälkeen.

5.1.1.2.4 4 Endangerment of emergency services in damage incidents s. 107

Oma kommentti: koska kyseinen 70-sivuinen (!) luku käsittelee hyvin perusteellisesti pelastushenkilökunnan toimintaan liittyviä riskejä ja niihin liittyviä lukuisia testejä ja kokeita, käsittelen tässä vain mitkä saksalaisten palokuntien normaalin arvioinnin mukaisista riskitekijöistä ovat relevantteja aurinkosähkön suhteen ja luvun lopussa olevat johtopäätökset.

5.1.1.2.4.1 4.1 Risk analysis for rescue workers s. 107

Saksalaiset pelastuslaitokset jakavat henkilökuntaan kohdistuvat potentiaaliset riskitekijät yhdeksään ryhmään:

1. Myrkylliset savukaasut
2. Paniikkikohtaukset
3. Palon leviäminen
4. Ydinsäteily
5. Kemialliset aineet
6. Sairastuminen ja loukkaantuminen
7. Räjähdykset
8. Sähkö
9. Sortumat

Kullekin osa-alueelle on lisäksi pisteytetty arvio riskin suuruudesta ja tarvittavista toimenpiteistä:

Pisteet	Riski	Toimenpiteet
8 -32	Suuri	Turvallisuutta oleellisesti parantavia toimenpiteitä tarvitaan kiireellisesti
3-6	Kohtalainen	Turvallisuutta oleellisesti parantavia toimenpiteitä tarvitaan kiireellisesti
1-2	Matala	Organisaatio- tai henkilötason toimenpiteet riittävät
0	-	Toimenpiteitä ei tarvita

Tarvittavia toimenpiteitä on käsitelty dokumentin luvussa 6.

5.1.1.2.4.2 4.2 Electrical hazard for rescue workers s. 110

Sähköiskun vaara on nostettu tärkeimmäksi osa-alueeksi, koska jännitteiset tasajännite (DC) johdot ovat muusta sammutustyöstä selkeästi poikkeava riskitekijä. Erikseen mainitaan potentiaalisesti vaaralliset jännitteet keinovalossa.

4.2.1 General scenarios s. 110

Yleiset sähköiskun vaaratekijät, muut kuin palojen sammuttamiseen liittyvät:

- Jännitteiset kaapelit, riskitaso 16.
 - o Seuraukset voivat olla erittäin vakavia.
- Paneelin vaurioituminen ja sähköinen kontakti esim. palotikkaisiin, riskitaso 4.
 - o Epätodennäköisiä, koska kelluvissa järjestelmissä sähköisku vaara matalahko.
- Kattopinnat kulkureitit, kulkeminen paneelien päällä, riskitaso 8.
 - o Epätodennäköistä, mutta seuraukset voivat olla vakavia.
- Valokaarien aiheuttamat palovammat tai sokeutuminen, riskitaso 2.
 - o Matala todennäköisyys, koska valokaaret helposti havaittavissa ja seuraukset vältettävissä.
 - o Oma kommentti: pitää paikkansa, kunhan pelastushenkilöstö ryhdy katkaisemaan jännitteisiä johtoja leikkureilla!
- Tulviminen ja vesi riskitaso 24.
 - o Erityisen suuri riskitaso jännitteisistä johdoista rakennusten sisällä ja huonossa näkyvissä.

4.2.2 Firefighting s. 112

Erityisesti tulipalojen sammutukseen liittyviä riskejä:

- Sähköisku jännitteistä osista sammutusveden (tai muun sammutusaineen) välityksellä, riskitaso 4.
 - Veden huonon sähkönjohtavuuden takia vaatii useita samanaikaisia epäsuotuisia olosuhteita (soveltumaton sammutusaine, lätköitä, suojaetäisyyksiä ei noudateta).
- Sammutuksen yhteydessä tehtävä katteen avaaminen saattaa johtaa kosketukseen jännitteisten osien kanssa, riskitaso 16.
 - Kohtalainen todennäköisyys, seuraukset voivat olla vakavia.
- Suuren voimalan sammutus, keskijännitetason (tyyp. 20 kV) muuntamot tai kojeet, riskitaso 8.
 - KV-kojeet hyvin osastoituja ja merkittäviä mutta sähköiskun seuraukset todennäköisesti vakavia.

4.2.3 Technical assistance s. 113

Muut pelastustoimet voivat sisältää myrskyvaurioiden ja tulvimisen korjaamista erilaisten onnettomuuksien raivaamista. Alla olevat liittyvät kohteisiin joissa on jännitteinen aurinkosähköjärjestelmä:

- Osittain tai kokonaan romahtaneiden rakennusten raivaus voi asettaa alttiiksi jännitteisille osilla, riskitaso 16.
 - Korkeahko todennäköisyys koska ympäristö ja riskitekijät hankalia hahmottaa.
- Esineiden, ajoneuvojen ja roskien raivaus, riskitaso 12.
 - Työskentely suoraan kosketuksissa raivattavien materiaalien kanssa voi johtaa korkeaan riskiin koskettaa niitä.

5.1.1.2.5 Mechanical hazards for rescue workers s. 114

Työskennellessä loukkaantumisvaara muuten kuin sähköön liittyen.

4.3.1 Collapse of building parts or system parts s. 114

- Rakenteiden romahtaminen tai putoavat paneeliston osat, riskitaso 8.
 - Alumiinin sulamispiste 600°C, joten niiden mekaaninen lujuus on heikompi kuin monien muiden materiaalien.

4.3.2 Falling rescue workers s. 115

- Tavallista suurempi putoamisriski, riskitaso 12.
 - Paneelien sileä ja liukas pinta ja särkymisriski lisäävät liukastumis- ja putoamisvaaraa.

4.3.3 Thermal voltages in the module s. 115

Oma kommentti: alaotsikossa lienee käännösvirhe, kyseessä mekaaninen ei. sähköinen jännite.

- Palotilanteessa lämpöerot -shokki johtavat usein paneelin lasin särkymiseen ja lisäävät haavojen riskiä, riskitaso 4.
 - Ilmiö riippuu lämmön muutosten tai mekaanisen rasituksen etenemisestä paneelissa, vakavien vammojen riski matala.

Oma kommentti: suurin osa nykyisissä paneeleissa käytettävästä lasista on karkaistua ja särkyy pieniksi murusiksi, joten haavojen riski sikäläkin matala.

4.3.4 Explosion s. 116

Räjähdyksivaara, syynä joko Li-akut tai esim. sammutusveden elektrolyysi (tasa-)jännitteisissä akustoissa tai inverttereissä, riskitaso 4.

Elektrolyysin todennäköisyys matala, mutta jos vetyräjähdys tapahtuu seuraukset voivat olla vakavia.

5.1.1.2.6 4.4 Respiratory poisons s. 116

4.4.1 Solar module fires s. 116

- Paneeleissa käytettävät muovit sisältävät aineita, joiden haitallisia palokaasut voivat aiheuttaa myrkytystiloja tai kemiallisia palovammoja, riskitaso 4.
 - o Paneelit eivät ole ainoita haitallisten aineiden lähteitä, lisäriski henkilösuojaajia käyttävälle pelastushenkilökunnalle vähäinen.

4.4.2 Mechanical damage from electrical accumulators s. 117

Akkujen aiheuttamat riskit mainitaan, mutta niitä ei käsitellä raportissa tarkemmin.

5.1.1.2.6.1 4.5 Test series on electrical hazards in rescue operations s. 118

Testisarja, jossa selvitettiin mm.:

- Vuotovirrat ja sähköiskujen riskit sammutustilanteissa
- Suojavaatetuksen (saappaat, suojakäsineet) vaikutus
- Tulvivien tilojen riskien arviointi

Vaikka pienjännitteen raja tasasähköllä on 1500 V, testit tehtiin tasolla 1000 V.

Sähkön aiheuttamat vaarat eivät johdu suoraan jännitteestä vaan sen aiheuttamasta virrasta kehon läpi. Virralla voi olla erilaisia vaikutuksia riippuen virran suuruudesta ja kulkureitistä kehon läpi.

4.5.1.2 Normative background to assessing the current effects on humans s. 120

4.5.1.3 Current intensity and duration of action

4.5.1.4 Bodily resistance

Useita taulukoita ja graafeja eri standardeista, pääasiat alla:

Tasasähköllä havaintokynnys on 2 mA, virrat alkaen 150 mA ja kestoltaan yli 1 s aiheuttavat myös tasasähköllä kammiovärinän riskin.

Taulukko eri virtojen vaikutuksista:

Table 4-4: Limit values for longer current load

Limit values for continuous electrical currents		IEC 60479-1		UL
		AC	DC	DC
Sector 1	Safe	< 0,5 mA	< 2 mA	0 - 2 mA
Sector 2	Perception	0,5 - 5 mA	2 - 25 mA	2,1 - 40 mA
Sector 3	Lock On	5 - 35 mA	25 - 150 mA	40,1 - 240 mA
Sector 4	Electrocution	> 35 mA	> 150 mA	> 240 mA

Sector 1: Possibly noticeable, no bodily reaction
Sector 2: Muscle contractions possible
Sector 3: Severe involuntary muscular reactions possible
Sector 4: Ventricular fibrillation possible

Testeissä riskirajaksi asetettiin 25 mA.

Ihmiskehon sähkövastus vaihtelee eri henkilöillä ja riippuu paitsi virran kulkureitistä myös jännitteestä. Testeissä käytettiin erittäin matalaa vastusta 550 ohmia.

4.5.1.5 Firefighting in the vicinity of electrical systems s. 122

Sisältää runsaasti taustatietoa erilaisista suuttimista, vuotovirtojen mittaamisesta ja tehdyistä kokeista.

Standardin DIN VDE 0132 mukaiset vesisuihkujen suojaetäisyydet:

Suutin	Pienjännite	Suurjännite
DIN 14365-CM	$\leq AC\ 1\ kV$ tai $\leq DC\ 1,5\ kV$	$> AC\ 1\ kV$ tai $> DC\ 1,5\ kV$
Suorasuihku	1 m	5 m
Sumusuihku	5 m	10 m

Johtopäätökset: mikä suojaetäisyyksiä noudatetaan vedellä sammutettaessa vuotovirta jää alle tason 25 mA.

4.5.1.7 Electrical properties of the turn-out gear s. 131

Koesarja, jossa selvitettiin suojavaatetuksen vaikutusta vuotovirtoihin ja sähköiskun riskiin.

Johtopäätökset:

- Kuivat suojarusteet (saappaat ja käsiineet) estävät sähköiskun riskin.
- Märät suojarusteet eivät anna suojaa, jos virran kulkureitti on kädestä käteen.
- Jos virran kulkureitti on kädestä jalkaan, suojsaappaiden korkea sähkövastus pitää virran turvallisen pienenä, mahdollisesti havaittavissa olevana.

4.5.1.8 Live cable in water s. 135

Testi, jossa arvioitiin sähköiskun riskiä, kun henkilö on vyötäisiään myöten sähköä johtavassa vedessä jossa jännitteinen kaapeli. Sähkön kulkureitti raajoista (vedessä) ylävartaloon. Havaitut virta suoraan verrannollinen jännitteeseen, etäisyydellä elektrodiin ei juurikaan vaikutusta, virrat korkeita (n. 1 A kun jännite 500 Vdc).

Johtopäätökset:

- Työskenneltäessä tulvivissa kellareissa erittäin suuri sähköiskun riski viallisista ja roikkuvista jännitteisistä DC-kaapeleista!
- Jos noin 100 V jännite voi johtaa varallisiin vuotovirtoihin.

Oma kommentti: asiasta kiinnostuneiden asiantuntijoiden on syytä tutustua alkuperäiseen dokumenttiin.

4.5.2 Electrical safety situation with effects of artificial lighting s. 138

Yhteenveto Bernin yliopiston tekemästä perusteellisesta koesarjasta, jossa selvitettiin missä määrin paneelisto voi tuottaa vaarallisia jännitteitä ja virtoja keinovalossa.

4.5.2.1 Worst-case pair s. 140

Kokeissa käytettiin mm. erilaisia paneeleja (joilla erilainen spektrivaste) yhdessä erilaisten valolähteiden kanssa. **Ongelmallisin yhdistelmä olivat kiteiset paneelit yhdessä halogeenivalaistuksen kanssa.**

Oma kommentti: vaikka raportissa arveltiin LED-valonlähteiden käytön vähentävän riskiä, epäilen että kennojen selvästi parempi hyötysuhde yhdessä suuremman kennokoon kanssa ovat toisaalta pahentaneet tilannetta.

4.5.2.2 Homogeneity studies s. 142

Kokeissa selvitettiin myös kuuden paneelin järjestelmällä valonlähteen etäisyyden (5..20m), tehon jatyypin vaikutusta virtaan ihmiskehoa kuvaavan 500 ohmin läpi kulkevaan virtaan. Suurimmat virrat olivat luokkaa 200 mA, 4000 W halogeeni/metallihalidivalolla 5 m etäisyydellä.

4.5.2.3 Recommendation for minimum distances s. 143

Raportissa annetaan seuraavat suositukset turvalliselle etäisyydelle valonlähteen tehon perusteella:

Valolähteen teho alle 1 kW: etäisyys vähintään 10 m

Valolähteen teho yli 1 kW: etäisyys 10 m + $\text{Pinp[kW]} \times 1.5 \text{ m / kW}$

Suosituksia usein käytetyille valaisimien tehoille:

Sähköteho kW	1	2	4	6	8
Minimietäisyys	10	13	16	19	22

4.5.2.4 Assessment of admissibility or safety factors: s. 143

Selvitys laskukaavaan sisältyneistä turvamarginaaleista ja mahdollisista niihin vaikuttavista tekijöistä.

Oma kommentti: nähdäkseni oleellinen on muutos paneelien oikosulkuvirta, joka on kasvanut kokeessa käytettyjen paneelien 4,7 A:sta käytännössä kaksinkertaiseksi. Ajantasainen testi hyvillä nykypaneeleilla olisi tarpeen.

4.5.2.5 Conclusions s. 144

Yhteenveto keinovalosta:

- Keinovalo voi saada paneeleissa vaarallisen suuria jännitteitä ja virtoja.
- Jos noudatetaan suositeltuja etäisyyksiä, varsinkin LED-valaisimilla riskit mitättömiä

Oma kommentti: katso edellinen kohta!

5.1.1.2.6.2 4.6 Pollutant release in fire cases s. 146

Laaja ja perusteellinen katsaus paneeleista paloissa mahdollisesti irtoaviin terveydelle haitallisiin aineisiin ja tehtyihin polttokokeisiin analyysineen. Todennäköisesti ajantasaisempaa tietoa lähteessä (30).

Oma kommentti: jossain määrin epärelevanttia informaatiota, koska raportin ajankohdan jälkeen siinä varsin laajasti käsitellyt ohutkalvoteknologiat ovat joko lähes hävinneet tai eivät käytössä Suomessa/kiinteistöissä.

4.6.1 Objective s. 146

4.6.2 State of knowledge s. 147

4.6.3 Compositions of the modules and components s. 153

4.6.4 Composition of the fire effluents s. 158

4.6.5 Toxicological thresholds s. 162

4.6.6 Lab tests s. 163

4.6.7 Summary s. 177

- Käytetystä paneeliteknologiasta ja osittain myös paneelissa käytetyistä polymeereistä riippuen paneelit saattavat palotilanteessa olla oleellinen haitallisten aineiden lähde.
- Kyseessä on lisälähde, koska kiinteistöpalloissa ilmaan ja maaperään pääsee muutenkin merkittävä määrä haitallisia aineita.
- Laboratoriotesteissä ei tuuletetuissa tiloissa havaittu savukaasuissa raskasmetallien tai metallihalidien (?) raja-arvojen ylitystä.
- Oletusten mukaisesti palojäämissä havaittiin mahdollisesti rajat ylittäviä määriä lyijyä (kiteiset paneelit) ja kadmiumia (CdTe-paneelit). Jäämien epähomogeenisuus tekee yleistyksen mahdottomaksi.
- Kadmiumin määrä CdTe-sammutusvedessä viittaa mahdolliseen raja-arvojen ylitykseen.

Oma kommentti: kadmiumia sisältäviä CdTe paneeleja ei käytössä Suomessa eikä muutenkaan kiinteistöissä.

5.1.1.2.7 5 Optimization measures for product and system safety s. 178

5.1.1.2.7.1 5.1 Fire prevention s. 178

Katsaus Saksalla voimassa olleisiin paloturvallisuutta käsitteleviin lakeihin ja asetuksiin niiltä osin kuin ne liittyvät aurinkosähköön.

Oma kommentti: tämän sijaan syytä tutustua Suomessa voimassa oleviin viranomais määräyksiin.

5.2 Quality assurance measures in production and their impact on risk assessment s. 180

5.2.1 Manufacturing process s. 180

5.2.2 Design modifications (module and system) s. 182

5.2.3 Safety qualification of modules and components s. 184

Oma kommentti: varsin perusteellinen katsaus erityisesti paneelien testaukseen mutta vuosimallia 2013. Suosittelemme tutustumista nykyisiin paneelien valmistukseen ja komponentteihin liittyviin standardeihin jotka kattavat jokseenkin kaikki tässä luetellut asiat. Oleellista on tietenkin varmistaa, että valmistaja noudattaa niitä.

5.2.4 Transport safety measures s. 202

Kommentteja ja havaintoja paneelien kuljetukseen liittyvistä riskeistä. Asianmukainen pakkaus on oleellista, raportti suosittelee sen verifioimista esim. standardin IEC 62759-1 mukaisesti.

Oma kommentti: vaikka lavalle pakattuina pakkaukset vaikuttavat päälle päin varsin identtisiltä, niissä on käytännössä varsin suuria eroja mitä tulee alla olevan lavan tukevuuteen, paneelien mekaaniseen eristykseen toisistaan tai paneelien purkamiseen pakkauksesta.

5.1.1.2.7.2 5.3 Safe system operation s. 203

5.3.1 Prevention of electric arcs/overheating – selecting and dimensioning components 203

Turvallisen toiminnan varmistamiseksi tulee minimoida valokaarien tai paikallisen ylikuumentumisen riskit. Oleellista on käyttää hintapaineista huolimatta korkealaatuisia komponentteja oikein suunnitellussa ja asennuksessa järjestelmässä.

5.3.1.1 Selection of suitable components s. 203

Oma kommentti: (enimmäkseen) asiallisia yleisohjeita mutta uudet standardit antavat paremman lähtökohdan valinnoille.

5.3.1.2 Planning regarding electric arcs s. 203

Havainnot ja suositukset:

Paneelien ohitusdiodien vikaantumisen minimoimiseksi paneelit tulee asentaa mahdollisimman varjottoomaan paikkaan. Erityisesti tulee välttää teräviä korkean säteilytason varjoja.

Sulakkeita ja DC-kytkimiä tulee lisätä järjestelmään vain tarvittaessa. Mikäli niitä käytetään, niiden tulee soveltua PV-käyttöön ja olla oikein mitoitetuina

Katolle asennettavien ”palomieskytkimien” sijaan voidaan harkita muita suojaustapoja, kuten kaapelien paloturvallista kotelointia.

Komponentteja, varsinkin inverttereitä, ei saa missään tapauksessa asentaa palovaarallisille alueille.

Oma kommentti: olen nähnyt Suomessa järjestelmiä, jossa DC-kaapelit kulkevat kymmeniä metrejä suojaamattomina ja merkitsemättöminä rakennuksen sisällä päättyäkseen DC-kytkimiin, jotka sijaitsevat välittömästi DC-kytkimen sisältävän invertterin alapuolella. Näin ollaan samalla kertaa saatu maksimoitua kustannukset, paloriski ja riskit pelastushenkilökunnalle.

5.3.1.3 Proper installation s. 204

Asianmukainen asennus perustuu ammattimaisesti toimivaan asennusliikkeeseen, havaittuja puutteita:

- Huonosti tehty DC-liittimien kokoonpanot
- Virheelliset kaapeloinnit: ei kaapeleiden kiinnityksiä, liian pienet taivutussäteet ja kaapelointi välittömästi palomuuereista tai palo-osastoinnista.
- Riittämättömät suojaetäisyydet rakennuksissa, joissa on olemassa oleva ukkos(salama)suojaus.

Oma kommentti: ukkossuojaukset ovat Suomessa matalan salamatiheyden takia harvinaisia.

5.3.1.4 Acceptance inspections and regular maintenance s. 206

Yhteenveto standardin 62446-1 mukaisista tarkastuksista tasasähköpuolelle. Standardien IEC 60364 ja DIN VDE 0100-712 mukaista vaatimuksista vaihtosähköpuolelle ja merkinnöille. Sisältää lisäksi kahdeksan kohdan muistilista tehtävistä testeistä:

- AC-piiri testataan DIN VDE 0100-60 mukaisesti
- DC-piirien tarkastus (silmämääräinen?)
- Maadoitus- ja potentiaalintasausjohdinten jatkuvuusmittaus
- Paneeliketjujen tyhjäkäyntijännite
- Paneeliketjujen oikosulkuvirta
- Toiminallinen testi (?)
- DC-piirien eristysvastus

Dokumentissa suositellaan tätä testijärjestystä, vaikka se ei välttämättä ole asentajan kannalta helpoin.

Koska eristeviat kehittyvät normaalisti varsin hitaasti, suositellaan määräaikaistarkastuksia esim. kahden vuoden välein. Tärkeimpänä pidetään ammattilaisen tekemää silmämääräistä tarkastusta: rikkoutumiset, värin muutokset, merkit ylikuumenemisesta jne. Lämpökameran käyttö suositellaan sekä paneelien että muiden sähköisten komponenttien tarkastamiseen.

Erityisesti painotetaan DC-kytkimien vuosittaista ”verryttelyä”.

Viallisten ohitusdiodien havaitsemiseen suositellaan tyhjäkäyntijännitteen mitatusta ja/tai lämpökameraa. Diodien tarkastusta pidetään erityisen tärkeänä, jos salama on iskenyt järjestelmään tai sen lähelle.

5.3.2 Installation specifications (system planning including fire protection planning) s. 210

Yhteenveto/listaus saksalaisista määräyksistä, joita toteutuksessa tulee noudattaa.

Oma kommentti: paremmin Suomeen ja tähän päivään soveltuva ohjeistus standardeissa SFS 6000-7-712 ja IEC 62548. Koska tiedossani ei ole suomalaista ”yhteenvetodokumenttia”, alla muutama kohta, joita ei Suomessa oikein tiedosteta:

- Paneelit tulee asentaa kohteeseen valmistajan ohjeiden mukaisesti, ja huomioiden Eurokoodin 1 mukaiset tuuli- ja lumikuormat. Asennusjärjestelmä tulee myös mitoittaa Eurokoodin mukaisesti.
- Laitoksen dokumentointi ja tasasähköpuolen mittaukset tulee toteuttaa standardin EN 62446-1 mukaisesti.

Kommentteja inverttereiden asennuksesta:

- Inverttereiden jäähdytysaukkoja tai ritalöitä ei saa peittää.
- Inverttereitä ei saa asentaa liian lähelle toisiaan, valmistajan ohjeita tulee ehdottomasti noudattaa.
- Inverttereitä ei saa asentaa puisille tai muuten palville alustoille!
- Metallilevyn käyttöä palosuojana invertterin takana ei suositella, koska se johtaa lämpöä invertteristä ja samalla estää taustan tuulettumista ja jäähtymistä, mikä voi mahdollistaa syttymisen.
- Taustamateriaalin tulisi olla paloluokkaa A1 paksuudeltaan vähintään 15 mm ja ulottua vähintään 10 cm invertterin ulkopuolelle.

5.3.3 PV systems at or on buildings s. 212

Yhteenveto saksalaisista kattomateriaalien paloluokitukseen liittyvistä määrittelyistä 2013. Raportin näkemyksen mukaan normaalit lasi-kalvopaneelit voivat kuulua samoihin B2 tai E-luokkiin kuin tavalliset katemateriaalit ja valmistajalta tulisi olla siitä todistus.

Oma kommentti 1: pitää tarkistaa, miten paneeleille standardissa 617130 määritellyt palokokeet vertautuvat Suomessa normaaliin paloluokitukseen Broof(t2).

Oma kommentti 2: raportin osio rakenteisiin integroitujen paneelistojen paloturvallisuudesta on vanhentunut uuden rakennusmateriaalidirektiivin ja BIPV-standardien myötä.

Raportti sisältää DGS:n ohjeistuksen systeeminen sijoittelusta räystäisiin, palomuureihin ja palo-osastointeihin nähden:

- Etäisyys tontin rajaan > 1,25 m (Suomessa suurempi?).
- Suurin yksittäisen kentän mitta 40x40 m, vähintään 1 m käytävät muihin kenttiin.
- Etäisyys palomuuureihin 1,25 m
- Etäisyys räystäisiin > 1 m

Luvussa käsitellään myös standardin VDE-AR2100-712 vaatimuksia, joilla varmistetaan turvallisuus vaarallisten kosketusjännitteiden suhteen rakennuksen sisällä:

Kaapelireittien merkintä kyltein on pakollista, samoin kaapelointikuva esim. sähköpääkeskuksessa.

Lisäksi on käytettävä joko rakenteellisia tai teknisiä keinoja vaarallisten kosketusjännitteiden estämiseksi.

Rakenteellisia menetelmiä:

- Jos DC-kaapeleiden jännitettä ei saada katkaistua, ne tulee asentaa palosuojatusti (fire-protected) paikallisten määräysten mukaisesti, kuitenkin vähintään luokkaa F30.
- DC-kaapelointi rakennuksen ulkopuolella:
 - o Kaapelointireitit rakennuksen ulkopuolella, kaapelit viedään suoraan sähkötilaan kiinteistön liittymälle (sähköpääkeskus?).
 - o Inverttereiden asennus ulos tai kiinteistön liittymälle, jälkimmäisessä tapauksessa palo-osastointi on varmistettava.
- Palokestoinen (fire-resistant?) kaapelointi rakennuksen sisällä niin että kosketus estetään. Kaapelihyllyt on liitettävä potentiaalintasaukseen.

Normaalisti hyväksytään yhden metrin suojaamaton alue paneeliston ja invertterin ympärillä, ja ne tulee merkitä pelastuslaitokselle tuleviin dokumentteihin.

Rakennuksen sisään tulevat kaapelit, joita ei voi kytkeä jännitteettömiksi, voidaan asentaa vähintään 15 mm paksuisen palamattoman kipsilevyn alle. Kaapelointi palavista materiaaleista tehtyjen kuilujen tai putkitusten läpi vähintään paloluokkaa F30.

Oma kommentti: Suomalainen palotekninen ohjeistus varmistettava.

Mikäli rakenteellisia menetelmiä ei käytetä, voidaan käyttää seuraavia teknisiä menetelmiä:

- Asennetaan etäohjattava DC-katkaisija (rakennuksen ulkopuolelle?)
- Käytetään paneelikohtaisia kytkimiä (MLPE). Näille ei kuitenkaan ole hyväksyttyjä standardeja tai viiranomaishyväksyntöjä.

Vain paneeliston DC-ulostuloa voidaan pitää suojattuna alueena. Järjestelmän tulee olla viansietoinen niin, että sisäisessä vikatilanteessa sen pitää mennä automaattisesti jännitteettömäksi, tai muuten se pitää testata päivittäin. Ulostulojännitteen tulee automaattisesti sammua 15 sekunnin kuluessa siitä, kun elektroniikan ulkopuolelta saama käskytyks loppuu.

Paneeliin integroitu kytkinlaite saa olla toteutettu puolijohteilla ilman erotusta, mikäli poiskytkentä voidaan varmistaa tyypillisissä vikatilanteissa.

Alkuperäisdokumentin yhteenveto vaihtoehtoista:

Identification and documentation	
1. Sign identifying the PV system at the house connection box or main building distribution board 2. General schematics for rescue workers 3. Supplements to existing fire department schematics	
and structural installation measures	or technical installation measures
1. Fire-protected routing of DC cables in the building that cannot be turned off. - or 2. Routing of the DC part of a PV system outside the building - or 3. Fire-resistant routing protected against contact	1. Devices for disconnecting the string or PV generator* - or 2. Devices for shutting down the PV module* * Remark: Requirements on the devices must still be laid down in the product standards.

5.3.4 Open-space systems s. 217

Lyhyt ohjeistus avokentälle asennetun voimalaitoksen paloturvallisuudesta.

5.3.5 Electric arc detection s. 218

Selvitys valokaari-ilmaisun tarpeellisuudesta ja ongelmista. Normaalisti ei tarpeen Euroopassa, jos dokumentin kohdan 5.3.1 ohjeita noudatetaan.

Yhteenvedo:

- Valokaari-ilmaisun lisää turvallisuutta vain erityisen palovaarallisissa kohteissa.
- Laitteesta on hyötyä vain, jos sen toiminta on luotettavaa ja virhetoimintojen todennäköisyys on erittäin pieni.
- Laitetyypin valinta on sen takia valittava erittäin huolellisesti.

5.3.6 Batteries and charge controllers s. 221

Ei tämä yhteenvedon piirissä.

5.1.1.2.7.3 5.4 Special fire requirements for PV systems on and at roofs s. 222

Kuvaus testimenetelmistä jotka kehitettiin erillisprojektina jonka osallistajat Federal Economic Ministry of Economics and Technology (BMW reference number 01FS12053), TÜV Rheinland, Currenta GmbH and Co. OHG and Wuppertal University. Projektin tarkoitus on luoda testistandardit kattoon integroitujen BIPV-järjestelmien palo-ominaisuuksien määrittämiseksi.

Oma kommentti 1: osa vaikka raportissa puhutaan BIPV:stä, osa testijärjestelyistä oli normaali kattopinnan päälle tehty asennus.

Oma kommentti 2: mielestäni mikään esitellyistä kattorakenteista ei vastaa Suomessa tasakatoilla yleistä bitumikermi + eristevilla yhdistelmää.

Oma kommentti 3: johtopäätökset tämän projektin tuloksista on syytä jättää palotekniikan asiantuntijalle.

5.1.1.2.7.4 5.5 Commissioning and operation s. 227

Käyttöönottotarkastuksella varmistetaan, että asennettu järjestelmä on turvallinen ja toimii asianmukaisesti. Tarkastus perustuu (Saksassa 2013) aurinkosähköjärjestelmän tasasähköosan osalta standardiin 62446-1 ja vaihtosähköosan osalta tavallisiin sähköasennusmääräyksiin kuten VDE 0100 610.

Kun laitos siirtyy tilaajalle tai käyttäjälle (tarkastuksen jälkeen) samalla siirtyy myös vastuu riskeistä tai vahingoista. Omistajan tulee valvoa laitoksen asianmukaista toimintaa seuraamalla järjestelmän näyttöjä ja suorittamalla tarvittavat huollot ja tarkastukset.

5.5.1 Acceptance inspection s. 228

Omistajan tai operaattorin pitää tehdä tai teettää järjestelmälle vastaanottotarkastus. Vastaanottamalla laitoksen omistaja hyväksyy, että järjestelmä on sovitun mukainen ja hankinnan ehdot on täytetty.

Samalla omistaja ottaa vastuun laitoksesta.

Vastaanottotarkastuksen pääkohdat:

- Dokumentaation tarkastus
- Tarkistetaan vastaako järjestelmä spesifikaatiota
- Huolellinen silmämääräinen tarkastus
- Testit ja mittaukset

Tarkastuksen tulee kattaa koko järjestelmä jakeluverkkoliityntään asti, ja ottaa myös kantaa työn laatuun ja miten järjestelmä soveltuu haluttuun vastaa pitkään käyttöikään.

Yhteenveto:

Tarkka ja yksityiskohtainen vastaanottotarkastus pienentää merkittävästi laitoksen toimintaan liittyviä riskejä, koska viat ja puutteet voidaan havaita ja korjauttaa.

5.5.2 Maintenance and inspection s. 231

Vastoin joidenkin laitevalmistajien ja urakoitsijoiden väitteitä aurinkosähköjärjestelmät eivät ole huoltovapaita!

Järjestelmät joutuvat toimimaan vaativissa olosuhteissa, ja turvallinen ja asianmukainen toiminta edellyttää säännöllisiä tarkastuksia ja huoltoa.

Tarvittavat toimenpiteet ja niiden aikaväli riippuvat järjestelmän tyypistä ja siihen kohdistuvista rasituksista. Esim. myrskyjen ja ukonilmojen jälkeen voi olla syytä tehdä ylimääräisiä tarkastuksia.

Tyypillisiä tarkastuksia:

- Silmämääräinen tarkastus
- Järjestelmän tila (järjestelmän näytöt ja seurantajärjestelmä)
- Mittaukset, yleensä käyttöönottotarkastuksen testit tai sopiva osa niistä, usein pistokoeluontoisesti

Tyypillisiä huoltotoimenpiteitä:

- Paneelien ja säteilyanturien puhdistus
- Invertterin jäähdytysritilöiden tai suodattimien puhdistus
- Varjostavien kasvien harvennus ja leikkaus
- Kuluvien osien vaihto (puhaltimet, suotimet)
- Suojalaitteiden testaus (kts kohta 3.3.3.2)
- Asetusten tarkistus ja säätäminen

Laitoksen käyttäjä voi tehdä osan toimenpiteistä, mutta osaan tarvitaan laitteet tuntevaa ammattilaista.

Yhteenveto:

Säännönmukaiset ja tarvittaessa tehtävät tarkastukset ja huollot minimoivat pitkän aikavälin riskejä ja estävät vaaratilanteita.

5.5.3 Switching and disconnecting devices s. 232

Ohjeita järjestelmän eri osien tekemiseksi jännitteettömiksi tarkastusmittauksia ja huoltoa varten.

5.5.4 Automatic system monitoring s. 234

Lyhyt kuvaus järjestelmän pitkän aikavälin seurannasta käyttäen erilaisia valvontaohjelmistoja.

Oma kommentti: yleensä tarjotaan/käytetään kustannussyistä invertterivalmistajan maksuttomia palveluja. Mikäli aiotaan hankkia useita järjestelmiä pitkän ajan kuluessa kannattaa harkita myös järjestelmiä, joilla saadaan valvottua eri invertterivalmistajien laitteita.

5.1.1.2.7.5 5.6 Devices for switching off solar modules and generators s. 236

5.6.1 Task 236

Taustaa tarpeesta tehdä paneelit jännitteettömiksi pelastushenkilökunnan turvaamiseksi.

Perustuu VDE-AR-E 2100-712 ohjeisiin.

Paneeleja ei normaalisti tarvitse kytkeä pois päältä, mutta se on valinnainen menetelmä, jos käytetään rakenteellisia menetelmiä mutta niitä ei pidetä riittävinä.

Raportin tekemisen aikaan saksalaiset pelastuslaitokset ovat jättäneet pois yleisen vaatimuksen paneelien poiskytkennästä, perusteena se, että kaikkiin tällaisiin laitteisiin voi tulla vikoja.

Pelastushenkilökunnan tulee sen takia olettaa, että järjestelmä on jännitteinen ja noudattaa tarvittavia varoitusyksikiä.

5.6.2 General requirements on systems for switching off a solar generator or a solar module s. 237

Kuvaus tavoista, joita on kokeiltu paneelien tekemiseksi jännitteettömiksi:

Paneelien peittämistä peitteillä tai vaahdolla ei selvityksessä pidetä käytännöllisenä.

Toinen vaihtoehto, jota kuvataan standardissa VDE-AR-E 2100-712 järjestelmä kytketään jännitteettömäksi sähköisesti. Kytkentä voidaan toteuttaa eri kohdissa järjestelmää, jolloin saavutetaan eri tasoisia suojauksia. Vaatimukset koskevat vain kattoasennuksia.

Standardin VDE-AR-E 2100-712 perusvaatimus on, että sähkökatkoksen tai invertterin päältä kytkemisen yhteydessä rakennukseen sisään tulevat DC-kaapelit kytketään automaattisesti jännitteettömiksi rakennuksen ulkopuolella olevalla turvalaitteella. Jännitteettömällä ("switched off", termi sammutus voisi tässä yhteydessä aiheuttaa sekaannusta) tarkoitetaan:

- Jännitteen tulee olla alle 120 V
- Paneeliketjujen yhteenlasketun oikosulkuvirran tulee olla alle 12 mA
- Tasasähköpuolen ulostulon energian tulee olla alle 350 mJ

Kytkimien tulee toimia niin, että ne vaativat jatkuvan ohjaussignaalin, jotta ulostulo on jännitteinen. Jos ohjaus puuttuu, kytkennän tulee tapahtua 15 sekunnissa.

Normaalikäytössä verkkojännitteen palautuessa katkoksen jälkeen jännite saa kytkeytyä takaisin automaattisesti.

5.6.3 Technical devices for switching off solar modules and generators s. 238

Luvussa käydään läpi standardin VDE-AR-E 2100-712 hyväksymät toteutukset:

- Etäohjattava palokuntakytkin kohdassa, jossa kaapelit tuodaan rakennuksen sisään.
- Paneelikohtainen kytkin tai saman funktion toteuttava DC/DC tai DC/AC-muunnin (optimoija tai mikroinvertteri).

5.6.4 Summary s. 240

Paneelien tai paneeliston kytkemistä jännitteettömäksi ei vaadita, vaan se on vaihtoehto.

Oma kommentti: pitää tarkastaa onko standardin uusimman version tulkinta edelleen sama.

5.1.1.2.7.6 5.7 Identification marking and information commitments s. 241

Suositus siitä, miten VDE-AR-E 2100-712 mukainen toiminto tulisi merkitä kohteessa ja pelastuslaitokselle meneviin dokumentteihin.

Kommentti siitä, että mikään viranomaistaho ei kerää keskitetysti tietoa toiminnassa olevista aurinkosähköjärjestelmistä.

5.1.1.2.8 6 Measures for improving the operational safety of rescue workers s. 242

5.1.1.2.8.1 6.1 System identification s. 242

5.1.1.2.8.2 6.2 Fire department schematic – cable routing and technical equipment s. 242

Saksalaisen standardin VDE-AR2100-712 vaatimukset aurinkosähköjärjestelmien merkitsemiseksi kiinteistöissä ja pelastuslaitosta varten tehtävästä kohdekortista.

Oma kommentti: kohdekortti olisi hyvä saada pakolliseksi, vähintäänkin kohteisiin joissa on DC-kaapelointia rakennuksen sisällä.

5.1.1.2.8.3 6.3 Operational specification in case of fire s. 244

Yhteenveto eri tahojen tavoista lisätä sammutusturvallisuutta.

Technical measures

Teknisten suojakeinojen tulee saattaa järjestelmä turvalliseen tilaan mahdollisista teknisistä vioista huolimatta. Standardit työn alla.

Organizational measures

Pelastuslaitosten yleiset toimintatavat sammutustilanteessa, lähinnä:

- Suojaetäisyyksien noudattaminen, erikseen yleiset suojaetäisyydet sähkölaitteisiin ja toisaalta etäisyydet sammutustilanteessa. Alueet, joiden turvallisuudesta ei ole varmuutta, tulisi mahdollisuuksien mukaan eristää ja merkitä.
- Suojaetäisyydet sammutustilanteessa standardin VDE 0132 mukaisesti.
- Vain sähköalan koulutuksen saaneet saavat työskennellä vaurioituneen aurinkosähköjärjestelmän alueella. Mikäli järjestelmä tai sen erotuskytkimet eivät ole vaurioituneita, myös maallikot saavat suorittaa osittaisen poiskytkennän. Standardien mukaisia suojavarusteita on aina käytettävä.
- Keski- ja suurjännitejärjestelmissä toimimisessa vaaditaan asianmukainen sähköpätevyys (S1).
- Keinovalossa tulee huomioida luvussa 4.5.2 esitetyt suojaetäisyydet.

Personal measures

Pelastushenkilökunnalle annettava asianmukaisen perehdytys järjestelmien ja niiden sammuttamiseen liittyvistä riskeistä. Edellytetään vakiosisältöistä koulutusta, jossa asiantuntijoiden antamaa teoriaa ja käytännön koulutusta.

5.1.1.2.8.4 6.4 Operational specification if PV system flooded (danger of explosion) s. 245

Toiminta veden valtaamissa tiloissa vaatii erityistoimenpiteitä:

- Sähköalan ammattilaisen tulee varmistaa jännitteettömyys
- Räjähdysvaaran takia tarvitaan alueiden eristämistä ja tuuletusta

5.1.1.2.9 7 Summary and outlook s. 246

Yhteenveto, tärkeimmät havainnot ja suositukset:

- Standardoinnilla tulee lisätä komponenttien valmistuksen tiukempaa laadunvalvontaa.
- Järjestelmien määräaikaistarkastukset pienentävät riskejä. Lisäteknikka voi lisätä turvallisuutta, mutta vasta toissijaisesti järjestelmän laadukkaan asennuksen ollessa tärkeämpää.
- Vialliset tai ennen aikojaan vanhentuneet kontaktit ovat merkittävä riski, sekä liittimissä että kytkimissä.
- Järjestelmän ja sen komponenttien asennusympäristö on huomioita, erityisesti inverttereiden asennusalueista ja rakennuksiin integroitujen BIPV-järjestelmien taustat.

- Valokaari-ilmaisimet ja kytkimet voivat lisätä turvallisuutta, mutta vasta kun niiden virheetön toiminta saadaan kehitystyöllä varmistettua.
- Järjestelmien merkitseminen niin, että pelastushenkilökunta on tietoinen niiden sijainnista, on ensiarvoisen tärkeää.
- Rakennuksiin jäävä DC-jännite on erityinen riski pelastushenkilökunnalle.
- Standardi VDE-AR-E 2100-712 esittää tapoja lisätä turvallisuutta sähköteknisillä menetelmillä kytkeä pois tasajännitteet, jos rakenneteknisillä menetelmillä ei saada riittävää suojausta.
- Pelastushenkilökunnan tulee aina olettaa, että järjestelmä on jännitteinen.
- Riskit voidaan minimoida noudattamalla vähintään 1 m suojaetäisyyksiä. Tasasähkökaapeloinnit tulee tehdä mahdollisimman paljon rakennuksen ulkopuolella tai palosuojatusti.
- Testien perusteella suositusten mukaiset 1 m / 5 m suojaetäisyydet antavat suojan sammutettaessa vedellä. Muiden kuin standardien mukaisten suuttimien ja vaahdon käyttö lisäävät riskiä. Veden valtaamissa tiloissa on huomioitava suuremman sähköiskun riskin lisäksi mahdollinen räjähdysvaara.
- Palokaasut eivät aiheuta poikkeavaa terveystriskiä.
- Kirkas kenovalo voi aiheuttaa sähköiskun vaaran myös yöllä.

Aurinkosähköjärjestelmät eivät aiheuta pelastushenkilökunnalle poikkeuksellista vaaraa, kunhan varoetäisyyksiä noudatetaan. Rakennuksiin asennettavat varoituskyltit ovat yksinkertainen ja tehokas varotuskeino.

5.1.1.3 PV Systems and Fire Hazard: Experiences and discussion topics in Germany (+ ROW) (11)

Hermann Laukamp, Jerome Tschupp, (Fraunhofer ISE), Björn Maiworm, Horst Thiem (Munich fire department), Anett Sepanski, Florian Reil (TÜV Rheinland), Helmut Godard (Energossa)

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Fire Asia 2018, May 7, 2018 – May 9, 2018 Hongkong

Hyvä yleiskatsaus paloturvallisuuteen. Vaikka esitys painottuu Saksaan jonka osalta palotilastot päättyvät vuoteen 2012, esitys sisältää myös tuoreempaa, vaikka paikoitellen hieman ylimalkaista tietoa muista maista.

S. 20 Ranska

- Systematic fault in junction box caused several fires in France, 100 000 modules concerned
- Rather high property loss due to roof integrated systems due to government incentives

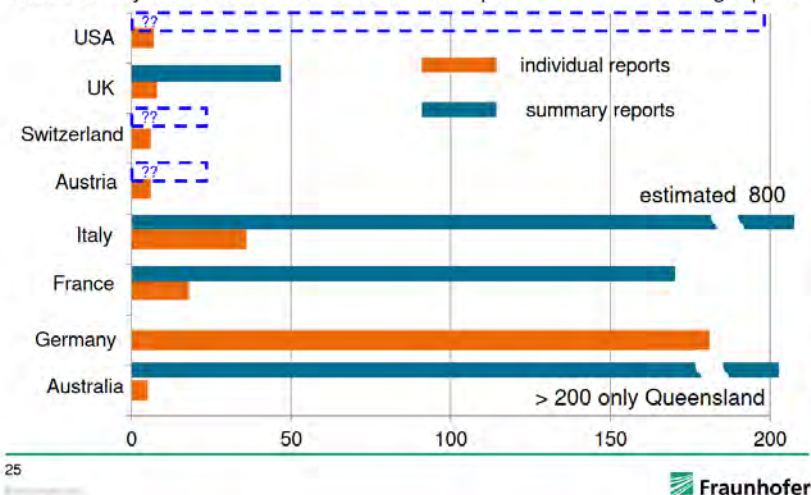
S. 22 UK

UK investigation: main fault location; DC disconnectors

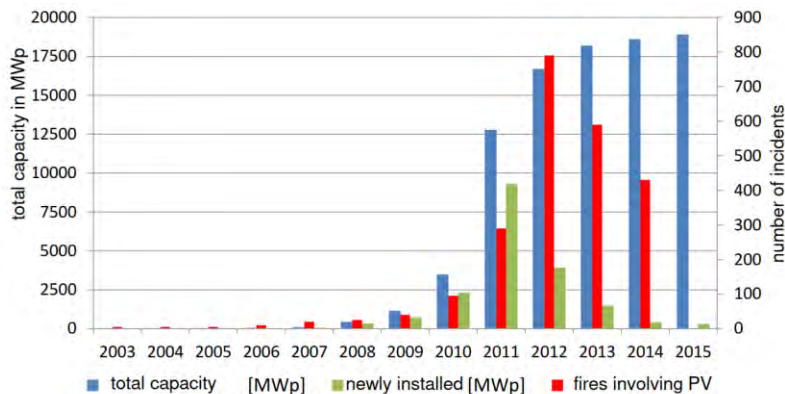
- 9 out of 15 cases installation fault
 - 5 x water ingress
 - Weak point: cable gland on top of housing exposed to weather (no drainage ?)

S. 25, yhteenveto

recent survey found some 285 individual loss reports – and summarising reports



S. 26-29, Italia



Vuosikymmenen alun asennusboomi Italiassa johti laatuongelmiin ja tulipaloihin. Kuvasta nähdään, että tulipalojen määrä korreloi uusien asennusten eikä niinkään koko asennuskannan kanssa. Tulipaloja on ollut n. 2000, ja jos arvioidaan että systeemien tyypillinen teho on noin 3 kW niin prosentuaaliseksi osuudeksi saadaan noin $2000 / (1\,900\,000 \text{ kWp} / 3 \text{ kWp}) = 2000 / 625\,000 = 0,3 \%$ mikä on varsin korkea lukema. Lisäksi Italian kohdalla tehdään oleellinen huomautus:

- Several big building damages from arcing which ignited inflammable insulation material as polyurethane foam and styrofoam
 - There is a need for a comprehensive review of the fire and building code requirements for PV roof installations.
 - Specifically, these requirements should address combustible insulating and roof materials located below active PV system components ...”

S. 30 Australia

- Australia, end 2012: normative requirement for a „Rooftop DC Isolator Switch“ to enhance firefighter safety
- Until November 2014 more than 200 fires because of „Rooftop Switch“ only in Queensland state with about 400 000 Systems
- -> immature products without proper specification and type testing
 - ⇒ avoid hastily introduction of components without proven product standard

Palojen prosentuaalinen osuus $200 / 400\,000 = 0,05 \%$, huomattavasti vähemmän kuin Italiassa, mutta silti kohtuuttoman paljon kun valtaosa johtuu yksittäisen komponentin spesifiointi- ja asennusvirheistä.

Dokumentti sisältää myös yhteenvedon saksalaisista vaatimuksista ja ohjeista pelastusturvallisuuden parantamiseksi.

Raportin yhteenveto, s. 37:

- PV komponentit aiheuttavat pienen paloriskin
- Riski on huomattavasti suurempi kattoon integroiduilla paneelistoilla
- Paloriskiä voidaan minimoida
 - huolellisella asennuksella
 - vastaanottotarkastuksilla ja -mittauksilla
 - säännöllisillä tarkastuksilla
- Sammutushenkilökunnalla on vakiomenettelyt sähköpalon / sähköiskun riskin suhteen
- Pelastuslaitosten informoiminen on oleellisen tärkeää
- Riskejä voidaan pienentää edelleen paremmilla asennusmenetelmillä
- Äkillisiä merkittäviä muutoksia tukijärjestelmissä tai viranomais määräyksissä tulisi välttää

Oma näkemykseni: luvut maailmalla tilastoiduita paloista on hätkähdyttävä, varsinkin, jos aiempi tieto on perustunut vain Saksan varsin hyvään tilanteeseen. Tilastoinnin puutteellisuus on ongelma useissa maissa, ja mielestäni yksittäisen maan tilastoihin vetoaminen antaa harhaanjohtavan kuvan kokonaistilanteesta. Pelkään, että sekä markkinatilanteen että ohjeistuksen ja asennusten laadun suhteen Suomessa ollaan lähempänä Italian kuin Saksan tai UK:n tilannetta.

5.1.1.4 Brandgefahr und Brandschäden bei Photovoltaikanlagen (20)

Christian Dürschner, Ing.-Büro Dürschner, 3. Workshop PV-Brandsicherheit 2014 Köln

Erittäin perusteellinen kuvakokoelma saksalaisista asennusvirheistä ja niiden seurauksista.

Oma kommentti: osa ongelmista oli tuttuja, mutta aiheutti myös pelottavan paljon ”ai tämäkin voi olla ongelma”-havaintoja.

5.1.1.5 Brände und Brandrisiken bei PV-Anlagen – Ein Überblick mit Beispielen aus der Praxis (18)

Thomas Kuchlmayr, TÜV Rheinland, 1. Workshop Brandschutz und Lichtbogenrisiko bei PV-Anlagen 2012 Köln

Esitys erityisesti keno- ja paneelitason valokaaririskeistä, eli isotkin palot saavat alkunsa pienistä pisteistä. Myös useita esimerkkejä asennusvirheistä.

Oma kommentti: kuvat paikallisista valokaarista osittain lohdullisia, kaikki eivät aiheuta laajempaa paloa.

5.1.1.6 VdS 3145: 2017-11 Photovoltaikanlagen (53)

VDE & Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. (GDV)

VDE:n ja saksalaisten vakuutusyhtiöiden yhdistyksen julkaisu, jota päivitetään muutaman vuoden välein. Sisältää tiivistä taustatietoa terminologiasta, mutta keskittyy käytännön neuvontaan ja ohjeistukseen käyden läpi järjestelmän hankinnan vaiheet suunnittelusta vastaanottotarkastukseen ja käyttöön. Lisäksi hyvä (saksalainen) katsaus standardeihin. Hyvä dokumentti, jonka ongelmana on se, ettei siitä tietääkseni ole olemassa käännöstä. Alla kuitenkin käännökseni sen liitteenä olevasta tarkistuslistasta:

1. Onko käyttöönottotarkastus tehty standardin EN 62446-1 mukaisesti, ja kirjalliset testiraportit saatavilla_
2. Onko rakenteiden kantavuustarkastelu tehty?
3. Onko asennusjärjestelmän suunnittelu toteutus tehty standardien (lumi- ja tuulikuormat DIN 1055) mukaisesti?
4. Paneeleja ei saa asentaa palo-osastointien rajan yli!
5. Palosuojaamattomia kaapelointeja ei saa tehdä palo-osastointien rajan yli!
6. Jos kohteessa on olemassa ukkossuojaus, se tulee huomioida suunnittelussa!
7. Kaapelointi tehty asianmukaisesti (VDE 0100-520)
8. Telineet ja muut metalliset tukirakenteet on kytketty potentiaalintasaukseen
9. Rakennuksen sisäiset tasasähkö (DC) kaapeloinnit tehty asianmukaisesti ja merkitty pelastuslaitokselle tulevaan dokumentaatioon.
10. Invertterit on asennettu palamattomalle alustalle!
11. Invertterit asennettu valmistajan ohjeiden mukaisesti, erityisesti etäisyydet muihin inverttereihin on huomioitu!
12. Inverttereiden ja palavien materiaalien etäisyys on vähintään 1 m!
13. Järjestelmälle tehdään säännöllisesti valmistajien suosittelemat tarkastukset (esim. huoltosopimus)!
14. Järjestelmän toiminta tulee tarkistaa säännöllisesti (esim. invertterin näytöt).
15. Onko rakennuksen katto ehjä asennuksen jäljiltä?

Omat kommentit: itse suosittelen rakenteiden kantavuuden tarkastamista **ennen projektiin ryhtymistä ja katon kunto ennen järjestelmän vastaanottoa**. Ylipäättään oheinen järjestys on joissain määrin epälooginen. Päivitettyä ja muokattuna viittaamaan suomalaisiin määräyksiin ja standardeihin voisi olla kohtuullisen hyvä ”tee edes tämä”-tarkistuslista. esim. kohdat 13 ja 14 vaatisivat kuitenkin selkokielistä listausta konkreettisista toimenpiteistä = urakoitsijan tulisi toimittaa asiallinen ohje!

5.2 UK

5.2.1 MCS

Brittiläinen, alun perin lämmitysjärjestelmien laadun ja turvallisuuden lisäämiseksi ja varmistamiseksi muodostettu organisaatio.

” <https://mcs-certified.com/technology/solar-photovoltaic-pv/>”

Julkaissut useita aurinkosähköasennuksiin liittyviä ohjeita ja standardeja, sertifioi asennusliikkeitä.

Oma kommentti: uskon että tämän organisaation toiminnalla on merkittävä osa Britannian tiettävästi vähäisiin aurinkosähköpaloihin.

5.2.1.1 *Guide to the Installation of Photovoltaic Systems (54)*

New Guide to installation of PV systems - MCS_20130530161524.pdf

Microgeneration Certification Scheme (MCS) 2012

Perusteellinen ja erittäin hyvä ohje aurinkosähköjärjestelmien suunnitteluun, vaikka osa materiaalista (esim. asennusmekaniikan suunnittelu) onkin tiukasti sidoksissa brittiläisiin standardeihin. Suuri osa tässä esitetyistä ohjeista on onneksi nykyään osa standardia EN 62548, tosin tämä on edelleen ainoa tiedossani oleva ohje, jossa selkeä vastaus kysymykseen siitä milloin metallirakenteet on kytkettävä potentiaalintasaukseen.

5.3 Suomi

Alle on kerätty tiedossa olevia kotimaisia ohjeita, esityksiä ja opinnäytetöitä. Urakoitsijoiden esityksistä Sol-net Oy:n nimenomaan optimoijiin keskittyvä esitys löytyy kohdassa /XXX/. Standardit ja määräykset on esitetty omassa luvussaan.

5.3.1 Viranomaiset ja asiantuntijaorganisaatiot

5.3.1.1 *YmA rakennusten paloturvallisuudesta / Säännösmuutokset 2017-2018 (55)*

20180212 Hoppu YMA Paloturvallisuudesta.pdf

Tapani Hoppu PKSrava

Esitys Ympäristöministeriön säännösmuutoksista. Nimenomaan aurinkosähköjärjestelmiä koskee 28 §:

1. Yleensä aurinkopaneelien asentaminen katolle ei aiheuta paloturvallisuuden kannalta erityistoimenpiteitä.
2. Mikäli rakennuksen katolle asennetaan laajahko pinta-ala aurinkopaneeleita, on tarpeen tarkistaa, että ne eivät oleellisesti lisää palon leviämisen vaaraa katteessa eikä sen alustassa.
3. Pelastushenkilöstön työturvallisuutta arvioitaessa otetaan huomioon sähköturvallisuus.

Nähdäkseni kohtien 2. ja 3. tulkintaa varten tarvitaan tarkennuksia ja mahdollisesti myös mittauksia Suomessa tyypillisten toteutusten palo-ominaisuuksista.

5.3.1.2 Järjestelmän muistilista (56)

Aurinkosähköjärjestelmät RakLi.pdf

Sähköinfo Oy 2017

Graafinen "muistilista", perustuneen saksalaiseen grafiikkaan koska ukkossuojaus on näkyvästi esillä. Sisältö nykyisellään osin vanhentunut ja osittain ylimalkainen. Päivitys ja laajennus sisältämään myös tarkempaa tietoa (mikä on "riittävä etäisyys" tai mistä sen löytää) olisi paikallaan.

5.3.2 Opinnäytetyöt

5.3.2.1 Aurinkosähköjärjestelmien riskit pelastustoimelle (3)

Vesa Läderberg, Savonia-AMK, Palopäällystön koulutusohjelma 2017

Yhteenveto työn tavoitteista: työn tarkoituksena oli tutkia aurinkosähköjärjestelmien toimintaperiaatteita ja sitä mitä riskienhallinnan tulee huomioida aurinkosähköjärjestelmien rakentamiseen liittyen. Lisäksi tarkoituksena oli tutkia, millaisia riskejä aurinkosähköjärjestelmät aiheuttavat pelastushenkilöstölle pelastustoiminnan aikana ja sen jälkeen. Tarkoituksena oli myös antaa turvallisuusohjeita pelastushenkilöstölle työskenneltäessä aurinkosähköjärjestelmien parissa.

Selvityksen luvut 1 – 4 sisältävät yleistä taustatietoa.

Luku 5 "Lainsäädäntö" käy läpi vuoden 2017 tilannetta lainsäädännön ja silloin yleisimmin käytössä olleiden standardien osalta. Varsinkin standardien osalta tilanne on oleellisesti muuttunut.

Luku 6 "Aurinkosähköjärjestelmien vaarat ja onnettomuudet" parasta antia on katsaus sähköpaloihin yleensä ja PRONTO-tietokannasta aurinkosähköjärjestelmien aiheuttamat onnettomuudet vuosilta 2012-2016. Tilastoiduista yhdeksästä tapauksesta seitsemässä syyksi mainitaan akusto, mikä viittaa kesämökkijärjestelmiin, joskaan ei sulje pois verkkoon kytketyn aurinkosähkö-akku-hybridin mahdollisuutta. Kahdessa syyksi on merkitty kaapelointi, minkä perusteella kyseessä voi hyvinkin olla verkkoon kytketty järjestelmä. Tämän luvun osuus sähköiskujen vaaroista on perustietoa, tarkemmin nimenomaan aurinkosähköjärjestelmiin liittyviä sähköiskun riskejä luvussa 7.

Luku 7 "Kirjallisuustutkimukset ja havainnot aurinkosähköjärjestelmissä" sisältää varsin perusteellisen yhteenvetön pääosin yhdysvaltalaisesta selvityksestä /XXX/.

Luku 8 "Kysely aurinkosähköjärjestelmistä ja havainnot" sisältää kuvauksen alalla toimiville henkilöille tehdystä kyselystä ja sen tuloksista. Vastauksista tehty yhteenveto sisältää jonkin verran epätarkkuuksia, on vaikea sanoa johtuvatko ne vastauksista vai niiden tulkinnasta.

Luku 9 "Yhteenveto ja johtopäätökset" on nimensä mukainen ja olen kerännyt siitä kohdan johtopäätökset ja suositukset alle.

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

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

Luvussa esitetään myös toimintaohjeita ja ehdotuksia ennaltaehkäiseviä ratkaisuja. Varsinkin jälkimmäisessä hyviä huomioita ja ehdotuksia.

Omat kommentit:

Varsinkin luku 9 yhteenvedoiteen, suositukseen ja ehdotukseen ennaltaehkäisevistä toimenpiteistä on edelleen (nykytieto ja uudet standardit huomioidenkin) hyvä, ja päivitettyinä ja soveltuvin osin laajennettuna se olisi hyvä lähtökohta jatkotyölle.

5.3.2.2 Kehittämishanke Aurinkosähköjärjestelmien huomioiminen pelastustoiminnassa (4)

Mikko Kuismanen Pelastusopisto 2019-03

Kehittämishanke jossa mm. selvitettiin paneelien palo-ominaisuuksia ja sammutusmenetelmiä käytännön kokein ja kehitettiin käytännön ohjeistusta Etelä-Karjalan pelastuslaitokselle.

Selvityksessä on alkuosan tavanomaisten taustatietojen lisäksi poikkeuksellisen paljon uutta ja omaa materiaalia:

Aurinkosähköjärjestelmien aiheuttamat hälytystehtävät suomalaisesta PRONTO-tietokannasta

Tietokannassa oli vuosina 2015-2018 13 paloa, joissa mukana aurinkosähkö ja määrä on nousussa. Tietokannan tietojen perusteella vaikuttaa mahdolltomalta arvioida tarkasti mitkä palot ovat liittyneet verkkoon kytettyihin aurinkosähköjärjestelmiin, ja mikä niiden rooli on ollut.

Aurinkopaneelien polttokoe

Selvitys siitä miten helposti tyypillinen aurinkopaneeli syttyy ja se sytyttää peltikatteisen katon rakenteet. Yksittäisellä paneelilla tehdyssä kokeessa tulokset mielenkiintoisia:

- Paneelin muovimateriaalit syttyvät, mutta paneeli ei pala kokonaan.
- Paneeli tuhoutui vain osittain, ja tuotti kokeen jälkeenkin n. 10 V jännitteen.
- Kattorakenteiden lämpötila ei noussut vaarallisen suureksi.
- Polton aikana sulanutta ja palavaa muovia tippui paneelistä peltikatteen pinnalle ja jatkoi palamista.

Kokeet paneelien tekemiseksi jännitteettömäksi

Kokeissa kokeiltiin menetelmiä paneelin tekemiseksi jännitteettömäksi:

- Musta/harmaa kestoite: paneelin lähtöjännite riippuu siitä, onko peitteen musta vai harmaa pinta ulospäin ja paras tulos saatiin taittamalla peite kaksin kerroin musta puoli ulospäin.
- Aurinkopaneelin vaahdotus: tulokset vahvistivat ulkomailta tehtyjen testien havaintoja (1), vaahdotus ei ole toimiva vaihtoehto.

- PVStop-polymeeri: palamaton musta ruiskutettava muovipolymeeri. Koejärjestelyn mukaisissa kokeissa tuotteen sille luvatut ominaisuudet pitävät paikkansa: pudottaa jännitteen, ei pala ja on irrotettavissa.

Työssä on myös kannatettavia näkemyksiä siitä, miten kohteista tulisi tiedottaa pelastuslaitoksille.

Omia mielipiteitä:

Palokoe: kuten selvityksessä todettiin, huopakatteella palokokeen tulos olisi voinut olla toinen. Olisi erittäin tarpeellista, että Suomessa tehtäisiin kokeita myös huopakatoilla ja tavallisilla bitumikermi/villa tasakatoilla. Samalla testeissä olisi syytä huomioida myös useamman paneelin mahdollisesti aiheuttamat lämpöheijastukset ja savupiippuilmiot (12) (25) (24).

Paneelin peittäminen: testit olisi hyvä toistaa kesällä suuremmassa auringonvalossa, ja kokeillen myös muutamalla erilaisella peitteellä.

PVStop polymeeri: vaikuttaa toimivalta vaihtoehdolta pienjärjestelmien sammutustyössä. Suuremmissa kohteissa käyttö voi olla ongelmallista: järjestelmissä voi olla kaikkiaan satoja paneeleja kytkettyinä niin, että ne ovat sähköisesti yhteydessä toisiinsa. Sekä aineen riittävyys että miten saada varmuus, että työskentelyn kannalta riittävä määrä paneeleja on saatu peitettyä ovat varmasti ongelmia.

5.3.2.3 Aurinkosähköjärjestelmien paloturvallisuusriskien kartoittaminen ja niiden minimointi (5)

Timo Utriainen Metropolia Ammattikorkeakoulu 2017

Opinnäytetyö, jossa aurinkosähköjärjestelmien paloturvallisuutta katsotaan pääosin sähköalan ammattilaisen näkökulmasta.

Luvut 1 ja 2 käsittelevät aurinkosähköä ja siihen liittyviä energiavarastoja yleisellä tasolla.

Luku 3 käsittelee yleisimpiä SFS-standardia ja tuodaan esille niistä johtuvia yleisimpiä ja tärkeimpiä suunnittelu- ja asennusvaatimuksia.

Luku 4 käsittelee sähköpaloja, ensin valokaaria syttymissyynä ja sitten Suomessa PRONTO-tietokantaan kerättyjä sähköpaloja yleensä. Vuosina 2011-2013 oli yhteensä 2590 paloa, jossa sähkö energialähteenä, sähkölaitteistoista alkunsa saaneita 329 joista sähkökeskus syynä 128 tapauksessa.

Luvussa 5 käsitellään erikseen aurinkosähköjärjestelmien paloja, sen yleinen osa riskeistä perustuu pääasiassa lähteeseen (36). PRONTO-järjestelmään on vuosina 2013-2017 kirjattu yhteensä 17 "aurinkosähköpaloa". Järjestelmän ongelmaksi koetaan, kuten muissakin kotimaissa esityksissä, hyvin suppea kuvaus tapahtumasta ja se, että osa (aurinkosähkö)paloista jää kirjaamatta. Luvun loppuosan, "Huomioita aurinkosähköjärjestelmien paloista", sisältö perustuu yrityksen sisäiseen aineistoon ja lähteeseen (36).

Luku 6 käsittelee aurinkosähköjärjestelmien palojen syitä ja tuo esille erityisesti DC-puolen liittimet, kaapelit ja erottimet. Lisäksi käsitellään jonkin verran valokaarien syntyä ja kuumia pisteitä "hot spots". Luvun osassa "Pohdintaa palojen syistä" tuodaan esille erityisesti suunnittelu- ja asennusvirheet, mikä onkin linjassa muualta maailmasta saatujen havaintojen kanssa. Samaten kiinnitetään huomioita siihen, että järjestelmät koetaan huoltovapaiksi ja jätetään vuosiksi huoltamatta ja tarkastamatta. Muina mahdollisina vikojen aiheuttajina tuodaan esille esim. lumi, myrskyt ja jyräjät.

Oma kommentti 1: runsaslumiset talvet yhdistettynä paneelien virheelliseen asennukseen voivat aiheuttaa piilovikoja, joiden vaikutukset voivat näkyä vasta vuosien päästä. Paneelien asennusohjeiden lukemiseen ja noudattamiseen tulee kiinnittää suurempaa huomiota.

Oma kommentti 2: tiedossani ei ole, että Suomessa jyräjät olisivat aiheuttaneet ongelmia. Toisaalta Suomessa järjestelmät ovat yleensä kelluvia, jolloin äkillisen (oikosulku)vian aikaansaamiseksi tarvitaan aktiivista jyrkimistä huonoa onnea. Sen sijaan pidemmän ajan kuluessa eristeen rikkoutuminen johtaa helposti korroosioon, kaapelin kuumenemiseen ja valokaareen.

Luvussa 7 käsitellään lyhyesti seuranta- ja järjestelmien käytön hyötyjä vikatilanteiden ennakoinnissa ja suositellaan ajoittaisia ammattilaisen tekemiä tarkastuksia.

Luvussa 8 käsitellään järjestelmän suojausta, mm. valokaarivikasuoja, salamasuojausta ja järjestelmän mekaanista suojausta (jyräjöitä, roskia ja varkaita vastaan).

Oma kommentti: valokaarivikasuojien ja mekaanisen suojauksen suhteen lähdeaineisto turhan USA-painotteinen. Salamasuojaus (suorilta salamaniskuilta) tuntuu olevan Suomessa varsin harvinaista, mutta voisi olla paikallaan arvioida sitä, lisääkö aurinkosähköjärjestelmän välillisiä riskejä ja salamasuojauksen tarvetta, vaikka järjestelmä ei lisääkään salamaniskun todennäköisyyttä.

Luvun 9 yhteenvedossa yleisimmiksi palon lähteiksi todetaan vaurioituneet ja vialliset komponentit, tuholaiset, ilkivalta ja ukkonen. Taustalla todetaan usein olevan suunnittelu- ja asennusvirheen.

5.3.3 Urakoitsijoiden ja maahantuojien esitykset

Urakoitsijoiden, valmistajien ja maahantuojien esityksiä luettaessa on syytä muistaa, että niiden perimmäinen tavoite on myynnin lisääminen. Osittain se voi tapahtua neutraalisti tuomalla esiin faktatietoa, mutta kuvaan kuuluu myös kärjistäminen, ja asioiden tahaton tai tahallinen yksinkertaistaminen. Lähdemateriaalista valitaan omaa näkemystä tukevia kohtia tai teknisiä ratkaisuja, ja niiden edellytykset (kytkimet eivät ole tarpeen, jos kaapelit asennetaan palosuojattuun kaapelikanavaan) tai vaihtoehdot unohdetaan.

5.3.3.1 GEF-Paloturvallisuus_1.1. (6)

Green Energy Finland Oy 2018

Esitys muodostuu varsin hyvästä ”häätätilanteessa toimi näin”-osiosta ja aurinkosähköjärjestelmiin ja kevyehköstä niiden (paloturvalliseen) suunnitteluun liittyvästä osuudesta. Kun selvityksessä viitataan lukuisiin standardeihin, olisi ollut suotavaa, että myös mielestäni oleellinen vastaanottotestejä ja dokumentointia ohjeistava 62446-1 olisi mainittu. Kohdassa DC-kaapeloinnista painotetaan standardien ”soveltamista”, mikä voi viitata siihen, että DC-liittimien suhteen halutaan käyttää omaa harkintaa.

5.3.3.2 Aurinkovoimalan paloturvallisuudesta 14.02.2019 (7)

Naps Solar Systems Markus Andersen

Esitys keskittyy paloturvallisuuteen pääosin TÜV/Fraunhofer ISE:n materiaalin pohjalta. Pääsanoma siitä, että oikea suunnittelu ja toteutus on paloturvallisuuden peruslähtökohta. Sen sijaan lähdeaineiston rajaaminen pelkästään Saksaan antaa jossain määrin ruusuisen kuvan tilanteesta. Omaa (?) ja mielenkiintoista palomiesten haastattelukommentit:

- Sähköä on melkein aina palopaikalla – sinne mennään silti ja sähköt katkaistaan kun kytkin sattuu kohdalle
- Palomies ei voi luottaa siihen, että joku tuotemerkki olisi turvallinen ja toinen ei – kaikkiin järjestelmiin suhtaudutaan aina varotoimin
- Turvaetäisyydet sähköihin ovat yllättävän pieniä – sumusuihkulla voi sammuttaa 1500 V asti 1 m päästä ja umpisuihkulla 5 m päästä
- Aurinkosähkön mahdollinen ongelma on lähinnä pääsy kohteeseen eli hyökkäysreitit on huomioitava

5.3.3.3 Solnet Aurinkovoimaloiden paloturvallisuus SafeDC (8)

Solnet Oy:n materiaalia liittyen SolarEdgen optimojien paloturvallisuusominaisuuksiin. Korostaa aurinkosähköjärjestelmien riskejä ja paneelikohtaista elektroniikkaa niiden estäjänä. Kommentti VDE-AR-E 2100-712:n vaatimuksista harhaanjohtava.

5.4 Vakuutusyhtiöt

Oma kommentti: usein mielenkiintoisia näkemyksiä ja vähemmän tunnettua taustainformaatiota ja ohjeita. Jostain syystä useat dokumenteista on merkitty luottamuksellisiksi, mikä tuntuu erikoiselta silloin kun on kyse ohjeista, joilla tavoitellaan turvallisuuden parantamista.

5.4.1.1 FMDS0115: Roof Mounted Solar Photovoltaic Panels (57)

Factory Mutual (FM) Insurance Company

Property Loss Prevention Data Sheets 2014

Yhdysvaltalainen ohjeistus katolle asennettavien järjestelmien suunnittelun. Ohjeistuksessa huomioidaan sekä ympäristöolosuhteet että paloturvallisuus. Vaikka siinä esitetyt kommentit esim. tuulikuormista ovat yleisellä tasolla päteviä Euroopassakin, tarkemmat tekniset ohjeet ja vaatimukset ovat täysin USA-keskeisiä ja perustuvat siellä käytössä oleviin asennuskäytäntöihin ja standardeihin. Sen takia dokumentin käytännön soveltaminen tällaisiin oloihin on jokseenkin mahdotonta.

5.4.1.2 Tech Talk Volume 8: Understanding the Fire Hazards of Photovoltaic Systems (58)

Allianz TTVol8-FireHazardsofPVSystems.pdf

Allianz Risk Consulting 2012

Suhteellisen lyhyt esitys paloriskien taustasta ja suosituksista vuosimallia 2012. Sivujen 6 - 7 yhteenveto suosituksista on edelleen yleisellä tasolla pätevä ja siinä esitetyt toimenpiteet sisältyvät jossain muodossa uudenpiinkin suosituksiin.

5.4.1.3 Photovoltaic Systems European Perspective (15)

Van de Velde Property Risk Engineering / GAPS / XL Catlin

NFPA Conference Munich 2016

Mielenkiintoinen mutta suppea esitys tilanteesta ja suosituksista Euroopassa 2014, sisältöä:

- Yleistä aurinkoenergiasta
- Yhteenveto TÜV Fraunhofer ISE:n selvityksestä
- Hyvin lyhyt yhteenveto paneelien syttymisherkkyyteen liittyvistä standardeista 2014
- Varoittavia esimerkkejä huonoista kaapeloinneista ja ohjeistusta miten ne tulee tehdä
- Saksalaisten vakuutusyhtiöiden alaan liittyvää korvaushistoriaa vuodet 2004-2007 eli ei ehkä enää kovin relevantti
- Järjestelmät pelastuslaitoksen näkökulmasta
- Lyhyt yhteenveto, jossa tuodaan esille kipukohtina:
 - o Vaikuttavat helpoilta asentaa
 - o "Kytke ja unohda"-mentaliteetti
 - o Osaamisen puute
 - o Vaatii monen osa-alueen osaamista

5.4.1.4 Photovoltaic System Fire Risk, an Insurer's Perspective (34)

Gallagher, Zurich Services Corporation, 2016

Yhteenveto joka keskittyy riskeihin pelkästään Yhdysvaltalaisen säännösten kannalta, NFPA 1 (Fire Code) ja NFPA 70 (National Electrical Code), jälkimmäisestä kyseessä jo osittain vanhentunut 2014-versio.

5.4.1.5 PV panels installation IF 2019

IF-vakuutusyhtiön lista suositeltavista paloriskiä pienentävistä asennustavoista, kohderyhmänä asiantuntijat. Muihin vastaaviin verrattuna enemmän paloteknisiä määrittelyjä kuten materiaalien paloluokituksia. Hyvä

lista, vaikka osa suosituksista teknisesti ja kustannusvaikutuksiltaan vaativia, ”vakuutusyhtiön näkökulmasta olisi hyvä...”.

5.4.1.6 PV panels installation IF.pdf

IF-vakuutusyhtiön yleisen tason 2-sivuinen dokumentti ilmeisesti vuodelta 2017. Kohderyhmä vaikea arvioida, ilmeisesti loppuasiakkaiden kiinteistöpäälliköt tai vastaavat.

5.5 Muut

5.5.1 Electricity & Water Authority (EWA) Kingdon of Bahrain

5.5.1.1 Fire Safety Recommendations for Distributed Solar PV Systems Draft 2017 (32)

Erinomainen yhteenvedodokumentti. Perustuu pitkälti ajanmukaisiin eurooppalaisiin ja yhdysvaltalaisiin standardeihin ja suosituksiin. Sisältää mm. tiivistelmän lähteen (1) havainnosta ja hyvän yhteenvedon paneelien palotestauksesta. Konkreettisia suunnitteluun liittyviä detaljihjeita (varoetäisyydet jne.) on varsin vähän.

5.5.1.2 Maintenance of PV systems: how to reduce fire risk and enhance the overall reliability (59)

2nd International Fire Safety Symposium IFireSS 2017

P. Cancelliere Senior Fire Officer Engineer. Italian National Fire Rescue and Service

C. Liciotto Senior operation director. KB Development srl.

Konferenssiesitys, jossa taustaa aurinkosähköjärjestelmien paloriskeistä ja eleisen tason suosituksia liittyen määräaikaishuoltoihin.

6 Sammuttaminen ja sammutusturvallisuus

6.1 Saksa

Nähdäkseni kaikki ennen 2015 tehdyt oleelliset kokeet ja selvitykset on koottu TÜV/Fraunhofer ISE:n dokumenttiin:

6.1.1.1 *Leitfaden_Brandrisiko_in_PV-Anlagen_V02.pdf (2)*

2015 308 s.

Käsitelty luvussa 4.

6.2 Muut maat

6.2.1.1 *Photovoltaic systems: Recommendations on loss prevention (31)*

CFPA E Guideline No 37:2018 F

The Confederation of Fire Protection Associations Europe

Pitkälti saksalaiseen ohjeistukseen perustuva yhteenveto, jonka alkuosa sisältää lyhyen esittelyn ”mitä PV on” ja muutamia ”älä tee näin”-esimerkkejä. Asennuksen palo- ja sammutusturvallisuuteen liittyvät ohjeet jokseenkin suoraan saksalaisista suosituksista. Ehkä mielenkiintoisinta antia on ohjeen liitteenä oleva saksalaisen perinpohjainen tarkistuslista ”Checklists for the planning and acceptance of PV Systems”, jonka sisälöstä tosin suuri osa ei liity suoraan paloturvallisuuteen.

6.2.1.2 *Photovoltaics and Firefighters' Operations: Best Practices in Selected Countries (27)*

IEA-PVPS-T12-09:2017

Namikawa, Kinsey, Heath, Wade, Sinha, Komoto

Tuore yhteenveto, joka sisältää paitsi saksalaisten, yhdysvaltalaisen ja japanilaisten pelastuslaitosten suositamia toimintatapoja, myös ohjeita aurinkosähköjärjestelmien paloturvallisuuden lisäämiseksi.

Hyvä yhteenveto, jonka suosituksia lukiessa on kuitenkin syytä pitää mielessä eri maiden lainsäädännöstä tai asennustavoista johtuvat erityispiirteet. Sekä riskien että suositusten kohdalla niitä on syytä arvioida Suomen olosuhteiden kannalta.

Raportin johdanto sisältää muutamia esimerkkejä julkisuutta saaneista paloista ja yhteenvedon järjestelmistä johtuvista riskeistä sammutushenkilökunnalle. Seuraavat luvut sisältävät:

2. Esimerkkimaissa käytössä olevia ohjeistuksia (sammutushenkilökunnalle).
3. Ohjeita järjestelmien suunnitteluun, sekä palo- että sammutusturvallisuuden kannalta.
4. Tekniset ratkaisut paloturvallisuuden parantamiseksi.

Kohdissa 2. ja 3. todennäköisesti Suomeen soveltuvat parhaimmin saksalaiset toimintaohjeet. Kohdan 4. ratkaisuja esitellään tämän selvityksen luvussa 7.

Raportti sisältää useita taulukkomuotoisia tiivistelmiä (esim. sivun 6. yhteenveto on hyvä) ja kattavan ja varsin ajantasaisen lähdeluettelon.

6.2.1.3 *Human Health Risk Assessment Methods for PV Part 1: Fire Risks (30)*

IEA PVPS Task 12, Subtask 3 Report IEA-PVPS T12-14:2018

Sinha, Heath, Wade, Komoto

Erittäin perusteellinen (ja teoreettinen) selvitys aurinkosähköjärjestelmien paloissa mahdollisesti leviävistä lyijystä, kadmiumista ja seleenistä. Muille kuin alan asiantuntijoille relevantti sisältö on käsittääkseni johtoportaan yhteenvedon lauseessa:

”We find that under the examined scenarios, the incremental cancer risks associated with inhalation of Pb and Cd potentially released from photovoltaic modules in small, medium, and large building fires are less

than the 1×10^{-6} (one in a million) risk level that is typically considered to be a negligible risk level by regulatory agencies, such as the USEPA.”

6.2.1.4 *Fire Safety Journal 67 (2014) 35–41 (28)*

Riccardo Tommasinia, Enrico Ponsa*, Federica Palamarab, Calogero Turturicic, Pietro Colellaa
Perusteellinen italialainen koesarja, jossa mitattiin sähköiskun riskiä erilaisilla sammutussuihkuilla ja tyypillisillä italialaisten kaupunkien vesijohtoverkoston veden johtavuuksilla. Turvallisten etäisyyksien havaittiin olevan samaa luokkaa kuin lähteessä (1) mitatut.

Arvioisin että dokumentista on eniten hyötyä pelastusalan ammattilaisille, jotka suunnittelevat sammutuskokeita.

6.2.1.5 *Safety issues in PV systems: design choices for a secure fault detection and for preventing fire risk (35)*

M.C. Falvo, S. Capparella, Safety issues in PV systems: design choices for a secure fault detection and for preventing fire risk, *Case Studies in Fire Safety* (2014)

Raportti käy läpi vuoden 2014 standardeja ja erityisesti maasulkujen riskejä erilaisissa aurinkovoimalatopologioissa. Esimerkkitapauksina analysoidaan kahta USA:sta tulipaloa, joissa kohteissa käytetty suojaus ei ollut havainnut maasulkua (nk. blind spot) ennen tulipalon syttymistä.

Hyvää: mielenkiintoinen analyysi maasulkujen riskistä erilaisilla topologioilla.

Ongelmallista: esimerkkitapauksissa kuvattu riski sen perusteella ehdotetut ratkaisut relevantteja lähinnä USA:ssa.

7 Tietoa tapahtuneista paloista, tilastoja ja esimerkkejä

7.1 Saksa

TÜV-Rheinland/Fraunhofer ISE/Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit "PV-Firebreaker"-projekti / <http://www.pv-brandsicherheit.de/>

2011-14-luvun alussa TÜV:in ja Fraunhofer-ISE:n vetämä projekti, jossa analysoitiin tapahtuneita jossa kerättiin tietoa tutkimustietoa. Yhteenveto tuloksista:

7.1.1.1 Leitfaden_Brandrisiko_in_PV-Anlagen_V02.pdf (2)

2015 308 s.

Käsitelty luvussa 4.

7.2 Iso-Britannia UK

7.2.1 BRE National Solar Centre

7.2.1.1 BRE P100874-1004-D4-Fires-and-solar-PV-systems---Investigations--Evidence-Issue-2.5 (9)

2017 60 s. / <https://www.bre.co.uk/nsc/page.jsp?id=3676> /

Erinomainen selvitys Isossa-Britanniassa rekisteröityjen aurinkosähkön liittyvien tulipalojen syistä vuoden 2016 loppuun. Osa laajempaa projektia, jossa tehty myös kirjallisuusselvitys (alla) ja selvitys asiaan liittyvistä standardeista ja koulutusmateriaalista.

Vuoden 2016 lopussa UK:ssa oli asennettu yksityisiin kiinteistöihin noin 2,5 GWp paneeleja, jonka arvioidaan vastaavan lukumäärältään noin miljoonaa järjestelmää. Projektiryhmän tietokantaan oli tullut 58 tulipaloa, joista 33 "historiallisia", tapahtunut ennen projektin aloittamista.

Yhteenvetotaulukkoja tutkituista 58 palosta:

Severity of fires	PV involvement			Total
	Caused by PV	Involving PV but not caused by	Cause unknown	
Serious fires	17	10	1	28
Localised fires	16	0	5	21
Thermal events	9	0	0	9
Total	42	10	6	58

Table 2: Summary of severity of fire and PV involvement to January 2017

Injuries / fatalities	Fire caused by PV	Fire not caused by PV	Cause unknown	Total
Injuries / psychological trauma	8	0	0	8
Fatalities	0	1	0	1
<i>Total</i>	8	1	0	9

Table 3: Numbers of casualties recorded in all incidents

Tässä listassa on ainoa tiedossani oleva kuolonuhri, ja on valitettavaa, ettei selvitys sisällä tarkempaa tietoa siitä, onko aurinkosähköjärjestelmä ollut osasyynä.

Tarkemmin tutkittujen 25 palon perusteella suurimmat komponentteihin liittyvät riskit:

- DC-kytkimet 16 – 18 tapausta
- DC-liittimet 4 – 10 tapausta
- Invertterit 6 - 7 tapausta
- DC-kaapelit 1 - 4 tapausta
- Paneelit 1 – 2 tapausta
- EOS 4 tapausta

DC-kytkimien suuri osuus on merkittävää, tosin raportin selvitysten perusteella syynä näyttäisi usein olevan väärin valittu tai asennettu komponentti. Tapauksista noin 36 % johtui asennusvirheistä, 12% laitevioista ja 5% suunnitteluvirheistä. Muiden aiheuttajaa ei saatu määriteltä.

Pelastuslaitoksilta oli tullut kirjausta näihin paloihin liittyvistä huolenaiheista:

- Sähköiskun riski (6)
- Huoli katon romahtamisesta ja jännitteisistä kaapeleista
- Järjestelmää ei saatu jännitteettömäksi
- Pelastuslaitos ei päässyt ullakolla olleeseen erottimiin
- Liikkuminen kohteessa ehkä vähän hankalampaa systeemin takia
- Katto metallia ja pelastuslaitos huolissaan sen tulemisesta jännitteelliseksi
- Jakeluverkon haltijalla ei tietoa miten tehdä laitos jännitteettömäksi, ylipäättään paljon epävarmuuksia
- Kun järjestelmä tehty turvalliseksi ei ongelmia (mutta aiheuttaa viivettä pelastustyössä)

Kaiken kaikkiaan erittäin suositeltava dokumentti, mielestäni pakollista luettavaa.

Hyvää: selkeä ja perinpohjainen selvitys, laaja ja erittäin asiantunteva projektiorganisaatio.

Ongelmia: tapausten vapaaehtoiseen ilmoittamiseen perustuva tietokanta ei välttämättä anna oikeaa kuvaa ongelman laajuudesta.

7.2.1.2 BRE P100874-1000-D1 Fire and Solar PV Systems - Literature Review (36)

Pester S, Woodman S.

BRE National Solar Centre, 2017

2017, 93 sivua

Yhteenveto aurinkosähköjärjestelmien paloturvallisuuteen liittyvästä kirjallisuudesta 2009 – 2016. Alkuosa sisältää hyvät yhteenvedot aiheista:

- Riskitekijät, palojen syttymissyyt
- Vikojen havaitseminen ja toimenpiteisiin ryhtyminen
- Suunnitteluohjeita
- Ohjeita pelastuslaitoksille
- Vakuutukset, riskien ja menetysten arviointi

Lisäksi dokumentissa on yhteenveto aiheista, joista (käytetyn materiaalin perusteella) kaivataan lisää informaatiota:

- Terveys ja turvallisuus
- Huolto ja kunnossapito
- DC-liittimet
- Maasulku/vikavirta/eristysvastusvalvonta
- Akkujärjestelmät
- Palon leviäminen
- Vakuutukset
- Ohjeet järjestelmien haltijoille/omistajille

Dokumentin liitteinä kattava tiivistelmillä varustettu (englanninkielisen) kirjallisuuden yhteenveto, 184 lähdetä ja katsaus standardeihin, joita listalla noin 140.

Hyvää: erittäin hyvä, kattava ja selkeä yhteenveto.

Ongelma: maailma ei ollut valmis 2017, joten jo nyt hiukan vanhentunut. Lähtökohta anglo-saksinen ja ymmärrettävästi UK-painotteinen.

7.3 Suomi

7.3.1 Pronto-tietokanta

Pelastuslaitosten Pronto-tietokanta sisältää tiedot Suomessa tapahtuneista tulipaloista.

Tuore yhteenveto lähteessä (4) , tosin kun asiaan liittyvänä tietona on pelkkä kommentti ”aurinkopaneeli”, on mahdotonta arvioida millaisesta järjestelmästä on kyse tai mikä sen osuus palossa ja sen sammuttamisessa on ollut.

7.4 Muu Eurooppa

7.4.1 Alankomaat

Alankomaista löytyy tuore selvitys aurinkosähköjärjestelmien paloista:

7.4.1.1 D. Bende, "Brandincidenten met fotonvoltaïsche (PV) systemen in Nederland," TNO, 2019 (12)

Kuten monet muutkin alankomaalaiset dokumentit, vaikuttaa perusteelliselta ja tietenkin saatavilla vain hollanniksi.

Sisältää yhteenvetoa muiden maiden kokemuksista ja lisäksi kuvaukset kaikkiaan 28 PV-palosta Alankomaissa. Koska allekirjoittaneen hollannin kielen taito on puutteellinen, alla kaksi valittua kohtaa (konekäännös NL>EN ja oma käännökseni EN>FI) nähdäkseni oleellisista kohdista:

- Vuonna 2018 Alankomaissa oli asennettuna (asennettiin?) 1330 MWp aurinkopaneeleja. Näistä 38% (505 MWp) on yksityisissä ja 62 % (824 MWp) liikekiinteistöissä.
- Ilmoitettu 27 paloa, joista 23 yksityisissä ja 4 liikekiinteistöissä.
- Tyypillinen yksityinen järjestelmä on noin 3 kWp, joten arvioimme että yksityisiä (omakoti) järjestelmiä on noin 170000.
- Tämän perusteella aurinkosähkseen liittyvien palojen tiheys vuositason omakotitaloissa on $23 / 170000 = 0,014\%$.

Palojen syiksi eräs paloasiantuntija on arvioinut oman kokemuksensa perusteella:

1. 10% ylikuumeneminen
2. 10 % asentaminen liian lähelle palonarkoja materiaaleja
3. 10 % kytkentäkotelo
4. 70 % virheelliset toteutetut liittimet

Palojen varsinaisiksi syiksi (syttymiskohdiksi) on arvioitu 3. ja 4., ja kohdat 1. ja 2. pikemminkin seurauksia.

7.5 USA

Yhdysvalloissa ei tulipaloja tilastoida/analysoida systemaattisesti, joten varmaa tietoa aurinkosähköjärjestelmien osuudesta niihin ei ole saatavilla / <https://www.pv-magazine.com/2019/08/23/there-are-data-missing-solar-power-fires-per-year/> /.

Esimerkkitapauksena alla oikeustapaus Walmart vs. Tesla, koska se on saanut varsin paljon julkisuutta, siitä on saatavilla varsin hyvin tietoa ja se on kaiken kaikkiaan hyvä varoittava esimerkki.

7.5.1 Esimerkkitapaus Walmart vs Tesla

Kyse on oikeusjutusta, jonka tavarataloyhtiö Walmart nosti kesällä 2019 yhdysvaltalaisen Solar City-asennusliikkeen ostanutta Teslaa vastaan. Se koski kaikkiaan seitsemää tavaratalopaloa, jotka olivat todennäköisesti aiheutuneet niiden katoille asennetuista aurinkosähköjärjestelmistä. Yksi paloista tapahtui kohteessa jossa aurinkovoimala oli jo kytketty turvallisuussyistä pois päältä.

Eräs alkuperäisistä uutisista:

<https://www.cnn.com/2019/08/20/walmart-sues-tesla-over-solar-panel-fires-at-seven-stores.html>



Video yhden marketin sammutustyöstä:

<https://www.youtube.com/watch?v=Pz0Y4jh1pps#t=11m53s>

Alla olevalla sivustolla mennään jonkin verran syvemmälle asiaan:

<https://electrek.co/2019/08/20/tesla-walmart-remove-solar-systems-fires/>

Tässä viimeisessä on myös linkki josta pääsee lukemaan / lataamaan Walmartin jättämän kanteen. Videossa kuvattu palo oli ilmeisesti alkanut viallisista liittimistä, muualla mm. jäänyt (ulkona olevan?) invertterin kannen ruuvit kiristämättä ja sen sisään päässyt kosteutta, joka aiheuttanut tulipalon. Ko. kohteessa lisäksi invertterin sulakerasiassa sulakkeiden tilalla oli asennettu korvikkeena messinkipultit.

Yhteenvedo: hämmästyttävän luokatonta toimintaa asennusfirmoilta ja niiden huoltohenkilökunnalta.

Kanteessa esitettyjä alustavia arvioita palojen syistä (osa tarkemmin ko. kanteessa):

- 2 x invertteri syttynyt
- 2 x liitin (tyyppiä tai sijaintia systeemissä ei mainita)
- 1 x maasulku (erityisongelma USAssa jossa paneeliston toinen napa on yleensä maadoitettu, jolloin yksinkertainen eristevika aiheuttaa maasulun)
- 1 x paneelin kytkentäkotelo

Lisäksi kanteessa identifioidaan runsaasti potentiaalisia riskikohteita.

Oma arvioni: urakoitsijan pitää olla poikkeuksellisen osaamaton, välinpitämätön, huolimaton ja/tai kustannus- ja aikataulupaineissa (ilman valvontaa) saadakseen aikaan tuollaista jälkeä.

Tietävästi myös Amazonilla on ollut vastavia ongelmia Sun City / Tesla-voimaloiden kanssa.

7.6 Australia

Kohtuullisen tuore selvitys tilanteesta Australiassa:

7.6.1.1 Fire Safety of Solar Photovoltaic Systems in Australia (10)

A. Chiamonte, A. Smith and Z. Hood,
Worcester Polytechnic Institute, 2016.

Dokumentin alkuosa on varsin yhteenvedo aurinkosähköstä yleensä, paikallisista vaatimuksista, paloriskeistä ja sammutusturvallisuudesta.

Australiassa on ollut varsin runsaasti aurinkosähköön liittyviä tulipaloja, vuosien 2009 ja 2015 välillä noin 400. Valitettavasti raportti ei sisällä tietoa asennettujen järjestelmien määrästä, joten prosentuaalista riskiä ei voi arvioida. Määrä kuulostaa kuitenkin varsin suurelta.

Paloriskin kannalta mielenkiintoinen on Länsi-Australian tilasto palojen alkusyistä, puolesta tapauksista (N=38) syyksi on arvioitu katolle oleva (Australiassa pakollinen) DC-kytkin. Muissa osavaltioissa arvioit ovat samansuuntaisia mutta eivät aivan yhtä dramaattisia. Selvitykseen liittyvässä urakoitsijakyselyssä suuri osa urakoitsijoista piti katoilla olevia DC-kytkimiä tarpeettomina ja turvallisuusriskinä. Selvityksestä jää kuitenkin mielikuva, että kytkimiin liittyvät ongelmat saattavat paljon johtua samoista syistä kuin UK:ssa, komponenttivalinnoista ja asennuksesta. Tosin Australian äärimmäiset sääolot varmasti lisäävät riskejä.

Selvitys päättyy suosituksissaan muun muassa suosittelemaan katolle asennettavien DC-kytkimien käytöstä. Turvallisuutta lisäävinä teknologioina mainitaan mm. optimoijat ja mikroinvertterit. Suosituksessa tuodaan myös esille se, että systeemien omistajien on syytä seurata ja valvoa järjestelmien kuntoa.

7.7 Japani

Vaikka Japani on yksi aurinkosähkön pioneereista ja aktiivisesti mukana alan kansainvälisessä yhteistyössä informaatiota tulipaloista on saatavilla niukasti. Asahi Shimbun-lehden englanninkielinen artikkeli on kuitenkin kiinnostava:

7.7.1.1 Homeowners warned about risk of fire from solar panels (13)

<http://www.asahi.com/ajw/articles/AJ201901290045.html> (2019)

Artikkelin mukaan vuoden 2018 lopulla Japanissa oli noin 2,4 miljoonaa pientalon aurinkosähköjärjestelmää ja 127 tilastoitua paloa. Artikkelissa tuodaan erityisesti esille kattoon integroitujen paneelistojen paloriski, mikäli paneelien ja palavien rakenteiden välissä ei ole palonkestävää suojakerrosta. Absoluuttisesti paloriski on kuitenkin lukujen valossa varsin pieni, seitsemän paloa noin 110 000 riskialttiissa rakenteessa = 0,006 %.

7.8 Ruotsi

7.8.1.1 M. Velasco "PV Systems and Fire safety in Germany" (16)

Säkerhetsaspekter i solenergianläggningar
Karlstad, 2018

Hyvä englanninkielinen yhteenvedo pääosin saksalaisista kokemuksista, tiivistelmä ja esimerkkejä saksalaisista ohjeistuksista paloturvallisen asennuksien toteuttamisesta.

8 Turvallisuuden parantaminen sähkötekniikalla

Mekaanisen suojauksen lisäksi palo- ja pelastusturvallisuutta voidaan lisätä sähköteknisin keinoin. Alla kooste yleisimmistä vaihtoehdoista, jaettuna inverttereiden vakio-ominaisuuksiin ja erillisellä (lisä)elektroniikalla toteutettuihin toimintoihin.

8.1 Inverttereiden sisäinen diagnostiikka

8.1.1 Eristysvastus, vikavirta

Lähes kaikissa nykyisissä (vakavasti otettavissa) inverttereissä on sisäänrakennettuna sekä vikavirta- ja eristysvastuksen valvonta (Residual Current Monitoring Unit) että eristysvastuksen valvonta. Kelluvissa järjestelmissä jälkimmäinen antaa normaalisti hyvän suojan yksittäisten eristysvikojen aiheuttamaa valokaaririskiä vastaan.

Inverttereiden sisäiset vikavirtasuojat ovat tärkeitä, koska niiden toiminta on optimoitu huomioimaan inverttereiden kapasitiiviset vuotovirrat (paneelisto-maa), joiden johdosta ulkoiset henkisuojaukseen tarkoitetut 30 mA vikavirtasuojat eivät yleensä sovellu käyttöön.

Taustamateriaalia:

8.1.1.1 Technical Information: Capacitive Leakage Currents (60)

Ableitstrom-TI-en-25.pdf

SMA Solar Technology AG

Perusteellista taustatietoa kapasitiivisista vuotovirroista ja niiden vaikutuksesta suojauksiin.

8.1.1.2 Manufacturer's Declaration: Confirmation of integrated all-current sensitive residual-current monitoring unit (RCMU) (61)

ZE_HK_RCMU_en_16.pdf

SMA Solar Technology AG

Esimerkkinä SMA:n ilmoitus siitä, mihin heidän inverttereihinsä on integroitu standardien mukainen vikavirtasuojayksikkö/RCMU. Oleellista: sisältää muutaman lauseen RCMU:n toiminnasta ja siitä ettei sen lisäksi tarvita ulkoista (ja epäluotettavammin toimivaa) laitetta.

8.1.2 Valokaari-ilmaisu

Yhdysvaltalainen asennustapa, jossa paneeliston toinen napa maadoitetaan johtaa tilanteeseen, jossa eristysvastuksen mittaaminen on ongelmallista ja jo yksinkertainen eristevika maahan aiheuttaa sarjavalokaaren. Sen takia yhdystavaltalaisissa sähköturvallisuusmääräyksissä alkaen NEC 2011 edellytetään valokaari-ilmaisuun ja katkaisuun (Arc Fault Circuit Interruption AFCI), ja se on normaalisti integroitu invertteriin. Vaikka valmistajalla on kyseinen ominaisuus Yhdysvaltain markkinoille tarkoitetuissa laitteissa, saman laitteen Eurooppalaisissa versioissa sitä ei ole. Olemassa olevan, ilmeisesti ohjelmistollisen ominaisuuden jättäminen pois voi viitata siihen, että siitä saatavaa hyötyä ei pidetä mahdollisia ongelmia suurempana.

Taustamateriaalia, molemmat hyvin USA-orientoituneita:

8.1.2.1 PHOTOVOLTAIC DC ARC FAULT DETECTOR TESTING AT SANDIA NATIONAL LABORATORIES (17)

PVDCArcFault.pdf

Johnson J., ym.

Sandia National Laboratory, Eaton Corporation

Taustaa testisarjoista joissa selvitetty valokaaren havaitsemisen ongelmia yhdessä laitevalmistajan kanssa.

8.1.2.2 *PV Arc-Fault Circuit Interrupter Direct Current Arc-Fault Detection in PV Systems (19)*

AFCI_White_Paper_130811_2_.pdf

SMA Solar Technology AG

Invertterivalmistajan selvitys AFCI-piireistä.

8.2 Laitoskohtaiset ratkaisut (muualla kuin invertterissä)

8.2.1 Etäohjattavat DC-katkaisijat (47)

Yksi saksalainen standardin VDE-AR-E 2100-712 hyväksymistä DC-kaapeloinnin erotustavoista on katolla sijaitseva etäohjattava DC-katkaisija, ”palokuntakatkaisija”. Kytkimen/katkaisijan tulee täyttää standardien En 60947-3 ja EN 60947-a vaatimukset, ja standardissa esitetään vaatimuksia niiden toiminnalle vikatilanteissa. Nykyinen tyyppillinen tapa tuoda jokainen paneeliketju erikseen invertterille johtaa siihen, että katkaisijasta tulee helposti moniosainen ja kallis.

8.2.2 Valokaari-ilmaisimet (17) (19)

Vaikka valokaari-ilmaisulla varustettuja DC-katkaisijoita on saatavilla myös Euroopan markkinoille tarkoitettuina erillisinä laitteina, ne ovat kuitenkin harvinaisia. Ongelmana on niiden toiminnan luotettavuus, valokaarien ”sormenjälki” voi vaihdella huomattavasti eri järjestelmissä mikä voi johtaa siihen, että se joko ei havaitse todellista valokaarta tai kytkee laitoksen pois päältä tarpeettomasti. Yllä mainittu suuri kytkimien määrä ja kustannusvaikutus pätee myös näille.

8.2.3 Paneelikohtainen tehoelektroniikka MLPE

Tässä esityksessä tarkoitan paneelikohtaisella tehoelektroniikalla puolijohteilla toteutettuja laitteita, jotka on tarkoitettu asennettaviksi paneelien välittömään läheisyyteen ja kytkettäväksi tavallisesti yhteen tai kahteen paneeliin. Raja on osittain keinotekoinen, mutta pidän sitä luontevana koska tällä määrittelyllä yhden MLPE:n DC-jännite pysyy alle 120 Vdc rajan.

8.2.4 Taustaa, argumentteja puolesta ja vastaan

Yleistyminen johtuu pitkälti USA:n sähköturvallisuusmääräyksiensä versiosta NEC 2017, jossa vaaditaan nopea poiskytkentä (RSD) myös paneeliston alueella. Käytännössä ainoa tapa toteuttaa on käyttää paneelikohtaista (tai laite per kaksi paneelia) elektroniikkaa Module Level Power Electronics (MLPE).

MLPE-laitteet ovat myös **ylä** saksalainen standardin VDE-AR-E 2100-712 vaihtoehtoista toteutukseksi, **mi-**
käli RSD todetaan kohteessa tarpeelliseksi.

Vaihtoehtoisia teknisiä lähestymistapoja:

Optimoija, tasasähkömuunnin (DC/DC converter), joka sovittaa normaalisti paneelin ulostulon paneeliketjussa vastaamaan sen maksimitehoa. Ohjaussignaalin menetettyään asettaa ulostulon turvallisen matalaksi.

Elektroninen kytkin, joka ohjaussignaalin menetettyään asettaa ulostulon turvallisen matalaksi.

Mikroinvertteri, muuntaa paneelin tasasähkön ”verkkosähkökelpoiseksi” kytkettäväksi suoraan sähköverkkoon. Yleensä varustettu erotusmuuntajalla, jolloin paneelin tasasähkö ei normaaleissa vikatilanteissa pääse sähköverkkoon, eikä verkkosähkö paneeliin. Sähköturvallisuuteen liittyvät valvonnat valmistajasta ja mallista

riippuen joko invertterissä tai erillisessä valvontayksikössä. Oikein toteutettuna turvallisin mahdollinen ratkaisu.

Huom! Kaukoidästä saatavilla monenlaisia mikroinverttereitä, joissa sekä turvallisuus että sähkömagneettinen yhteensopivuus (EMC) kyseenalaisia.

Tunnetuimpia markkinoilla olevia vaihtoehtoja:

Solaredge optimoijat, vaativat SE:n invertterin. Järjestelmässä UL-hyväksytty NEC 2017 mukainen poiskytkentä sähkökatkoksen sattuessa. Invertterissä USA:n markkinoilla vaadittu valokaari-ilmaisu, joka on asennusvaiheessa aktivoitava.

Hyvää: korkea kokonaisjärjestelmän hyötysuhde, koska osa invertterin elektroniikasta optimoijissa. Kokonaishyötysuhde samaa luokkaa kuin hyvällä 3-vaiheinvertterillä.

Ongelmallista: sitouttaa asiakkaan yhteen toimittajaan, suuri liitosten määrä, jos elektroniikkaa ei ole integroitu paneeliin. Elektroniikan suuren määrän vaikutus pitkän aikavälin luotettavuuteen vielä epäselvä. Lisäkustannus, jota kahden paneelin versiot kuitenkin madaltavat.

Tigo optimoijat, soveltuvat kaikille yleisimmille inverttereille. Saatavissa useita versioita, joista malleissa TS4-O ja TS4-L (optimoija, monitorointi ja RSD), TS4-S (monitorointi ja RSD). Lisäksi erikseen malli TS4-F "Fire Safety", jossa pelkästään RSD.

Tigo optimoijia voidaan tietyin edellytyksin käyttää selektiivisesti, vain niissä kohdin paneelistoa, joissa varjostukset ovat ongelma. Tällöin RSD ei kuitenkaan poista jännitettä koko paneeliketjusta.

Hyvää: soveltuvuus tavallisten inverttereiden kanssa, monipuolinen tuotesarja erilaisilla funktioilla.

Ongelmallista: systeemitasolla matalampi hyötysuhde kuin SE:llä. Suuri liitosten määrä, ellei käytetä paneeliin integroituja malleja. Elektroniikan suuren määrän vaikutus pitkän aikavälin luotettavuuteen vielä epäselvä. Lisäkustannus, kahden paneelin versiot eivät välttämättä sovellu käyttöön Suomessa kaikilla paneelityypeillä (max. jännite 90 V).

Enphase mikroinvertterit, saatavilla versioita erilaisille paneeleille (jännite/virta). Tunnetuin ja arvostetuin mikroinverttereiden valmistaja.

Hyvää: turvallisin mahdollinen ratkaisu. Paneeliston kaapelointi vaihtosähköä, valmiilla kaapelisarjoilla.

Ongelmallista: systeemitasolla matalampi hyötysuhde kuin optimoijilla. Elektroniikan suuren määrän vaikutus pitkän aikavälin luotettavuuteen vielä epäselvä. Korkein lisäkustannus, ei kahden paneelin versioita.

8.2.5 Valmistajien "neutraaleja" teknisiä dokumentteja

8.2.5.1 *Safety Risks and Solutions in PV Systems for Europe and APAC (62)*

Solaredge fire_safety_white_paper.pdf

2018 4 sivua

Paneelikohtaisia optimoijia valmistavan SolarEdgen yhteenvedo siitä aurinkosähköjärjestelmien aiheuttamasta sähköiskun riskistä ja miten heidän tuotteensa poistaa ko. riskin rajoittamalla paneeliston jännitteen

automaattisesti turvallisen matalaan arvoon, maksimissaankin alle 50 V. Dokumentin ongelmia ovat riskien jonkinasteinen liioittelu ja se, että standardista VDE-AR-E 2100-712 annetaan (virheellinen) mielikuva vertaamalla sitä USA:n NEC 2017-standardiin.

8.2.5.2 Safety through module electronics? Less is more! (63)

SMA PV-Magazin-_Safety-of-a-PV-plant_12c-1.pdf

Saksalaisen invertterivalmistajan SMA:n esitys, joka vuorostaan käsittelee paneelikohtaisen elektroniikan ongelmia. SMA valmistaa pääosin perinteisiä inverttereitä, mutta omistaa myös osuuden optimoijia valmistavasta Tigosta jonka perustoiminnallisuudet vastaavat SolarEdgen optimoijia.

SMA:n esitys käy ensin läpi TÜV:n ja Fraunhofer ISE:n selvitystä saksalaisten aurinkosähköjärjestelmien palojen alkusyistä ja näkemystä, että oikein toteutettu järjestelmä on turvallinen eikä ole ongelma asiasta informoidulle sammutushenkilökunnalle. Lisäksi painotetaan DC-liittimien/liityntöjen suurta merkitystä palojen aiheuttajina. Tästä saadaan tuotua esille epäily, että MLPE:t, jotka normaalisti lisäävät paneeliston DC-liittimien määrää 150 – 200 %, voivat lisätä tulipalojen riskiä ja sikäli heikentää turvallisuutta. Lisäksi muistutetaan, että elektroniikassa voi olla vikoja, ja sammutushenkilökunnan tulee joka tapauksessa suhtautua paneelistoon kuin se olisi jännitteinen.

8.2.5.3 Addressing Safety and Warranty Concerns in BIPV Applications (64)

BIPV-Whitepaper-EN-UK.pdf

Enphasen lyhyt esitys heidän tuotteidensa luotettavuudesta, käyttöympäristöstä ja saavutettavista eduista.

8.2.5.4 SRV Aalto Aurinkovoimalan paloturvallisuus (65)

GEF Oy:n selostus Aalto Yliopistokiinteistöjen Väre-uudisrakennuksen aurinkovoimalan toteutuksesta. Kohde toteutettu JA Solarin paneeleilla, joissa tehdasasennetut Tigo-optimoijat. Kyseisellä ratkaisulla päästään eroon optimoijien muuten vaatimista ylimääräisistä DC-liitynnöistä.

8.3 Invertterin asentaminen ulos

Enhä yksinkertaisin keino estää vaaralliset DC-jännitteet rakennuksen sisällä on asentaa invertteri ulos. Sisään tuodaan vain vaihtosähkökaapeli, joka saadaan jännitteettömäksi kytkemällä aurinkosähköjärjestelmän AC-kytkin auki, jolloin invertterin saarekekäytön esto katkaisee syötön. Tätä ratkaisua käytettiin aiemmin yleisesti Yhdysvalloissa, kun NEC 2014 vaati sitä, että kaapelointi pitää saada etäohjattua jännitteettömäksi korkeintaan 10 jalan etäisyydellä paneelistosta.

Hyvää: yksinkertainen ratkaisu minimimäärällä elektroniikkaa. Oikein toteutettuna kustannustehokas.

Ongelmia: invertteri ulkona, saattaa lisätä sen rasituksia. Suomessa invertterin pakkaskesto voi olla ongelma.

8.4 PVStop polymeeri

Ruiskutettava musta polymeeri, jolla estetään valon pääsy kennoihin. Periaatteessa ilmeisesti toimiva, mutta riittävyys on todennäköisesti ongelma muiden kuin pienenimpien omakotitaloihin asennettujen systeemien peittämiseen.

8.4.1.1 PVStop_-_verification_report (29)

Holden J

BRE Global 2017

Brittiläisen BRE Globalin tuotteen valmistajalle tehty kuuden paneelin peittokoe, jonka perusteella aine toimii kuten luvattu ainakin, kun paneelisto on pieni ja aineen levitys voidaan tehdä jokseenkin optimaalisissa olosuhteissa. Käsitelty myös luvussa 1. ja lähteessä (4).

9 Tilanne Suomessa

Alla olevat kommentit perustuvat pääosin allekirjoittaneen omiin kokemuksiin ja näkemyksiin.

9.1 Huolenaiheet, ongelmia ja tyypillisiä toteutusten puutteellisuuksia

9.1.1 Koulutus ja asiantuntemus

Viimeisten kahden vuoden aikana alan asennukset ovat kasvaneet Suomessa noin 100% vuosivauhtia. Alan hallitsevien asentajien määrä on alkujaan ollut varsin rajallinen, joten toiminnan laajeneminen on johtanut siihen, että varsin vaativiakin kohteita ovat toteuttaneet pääurakoitsijan aliurakoitsijoina sinänsä pätevät mutta aurinkosähkön suhteen aloittelevat asennusliikkeet. ”Olisi ollut hyvä saada asiasta jotain koulutusta” oli yli 100 kWp kohteen asennuksesta alihankintana vastanneen asennusliikkeen nokkamiehen kommentti.

Alasta tuntuu liittyvän mielikuvatasolla tietty helppous ja yksinkertaisuus, mikä tuntuu alentavan kynnystä ryhtyä aurinkosähköasentajaksi. Sinänsä positiiviset pyrkimykset asennuksiin liittyvän lupabyrokratian karsimiseen voivat johtaa myös tarpeellisen valvonnan puuttumisen. Tukesin vuoden 2019 linjaus siitä, että lähes kaikkiin aurinkosähköasennuksiin vaaditaan S2-oikeudet on sinänsä hyvä, mutta ei vielä takaa riittävää asiantuntemusta.

Asentajien sertifiointikoulutus on hyvä lähtökohta turvallisille asennuksille, kunhan varmistetaan että sillä saavutetaan myös riittävät käytännön taidot ja valmiudet.

9.1.2 Asennusmekaniikka ja rakennetekniikka

Monet alan yrityksen ovat luoneet mielikuvan siitä, että asennus onnistuu katolle kuin katolle eikä rakennetekniikasta tai kattojen kantavuudesta tarvitse murehtia. Harjakatoille asennettavien järjestelmien suhteen lisäkuorma onkin suhteellisen pieni, mutta varsinkin liikekiinteistöjen tasakatot ovat osoittautuneet ongelmallisiksi. Merkittävä osa katoista on kuitenkin suunniteltu vanhojen rakennusmääräysten tai kustannusoptimoitu niin, että kaikki kuormituksiin liittyvät varmuusmarginaalit on jo käytetty. Liikekiinteistöjen kohdalla tuntuu siltä, että noin neljännes suunnitelluista kohteista joudutaan jättämään toteuttamatta riittämättömän kantavuuden takia.

Asiaa ei helpota se, että kunnollisia standardeja varsinkaan tasakattoasennusten suunnittelua varten ei ole. Useilla isommilla eurooppalaisilla telinevalmistajilla on kyllä suunnitteluohjelmistoja, mutta ne perustuvat jokseenkin aina ko. valmistajan telineille tehtyihin tuulitunnelikokeisiin ja niiden tulkintaan. Lisäksi urakoitsijoilta puuttuu usein riittävä ammattitaito määritellä mitoitusohjelmistoille tarvittavat lähtötiedot.

9.1.3 Kaapelointi

Aurinkosähköjärjestelmien kaapeloinnin ongelmat liittyvät tasasähköpuolen asennuksiin. Positiivista on, että toistaiseksi kaikki näkemäni kaapeloinnit on tehty asianmukaisilla kaksoiseristetyillä UV-kestoisilla ”Solar”-kaapeleilla. Tämä lienee seurausta niiden hyvästä saatavuudesta ja edullisesta hinnasta.

Varsinaisissa kaapeloinneissa sen sijaan näkee usein ongelmallisia ratkaisuja. Erityisesti rakennuksen sisälle asennetut tasasähkökaapelit saattavat kulkea rakennuksen sisällä useita kymmeniä metrejä, merkitsemättöminä ja palosuojaamattomina ja ilman edes teoreettista mahdollisuutta kytkeä ne jännitteettömiksi.

Katolla olevien kaapelointien silmukkojen välttäminen on usein ongelmallista, monilla katoilla ketjuja ei saada asennettua selkeisiin riveihin ja välikaapeleita ketjun osien välille vedetään usein kaapelien pituus eikä silmukoiden pinta-ala minimoiden.

Muita tyypillisiä ongelmia ovat vapaasti roikkuvat ja mekaanisesti suojaamattomat kaapelit, joissa sekä kaapelit että liittimet saattavat lojua katolla vesilätäköissä pitkiä aikoja.

Toistaiseksi Suomessa on käytetty lähinnä kuparikaapeleita, jolloin Saksassa yleisiä alumiinikaapeleihin liittyviä ongelmia ei ole esiintynyt. Koska oikein toteutettu alumiinikaapeli on kustannustehokas niiden käytön voi olettaa kuitenkin yleistyvän.

9.1.4 Liittimet

Epäparisten ”yhteensopivien” DC-liittimien käyttö on pikemminkin sääntö eikä poikkeus, eikä standardin 6000-7-712 asiaa koskeva epämääräinen sanamuoto paranna asiaa. Vaatimusta ”sama valmistaja sama liitin” pidetään lähinnä kiusantekona. Pitää myös muistaa, että vaikka liittimet ovat soveltuvia ne pitää myös asentaa oikein. Tämä vaatii sekä soveltuvia työkaluja että valmistajan asennusohjeen lukemista ja ymmärtämistä.

Suomessa yleiset huonot asennusolosuhteet saattavat aiheuttaa pitkän aikavälin riskin. Paneelien liittimet saattavat olla katolla suojaamattomina pitkiäkin aikoja, ja liitäntöjä tehdään huonollakin säällä. Koska liittimet ovat erittäin tiiviitä, niihin asennusvaiheessa jäävä kosteus ei pääse poistumaan, ja olen huolissani sen vaikutuksesta liittimen pitkä aikavälin luotettavuudelle. En ole löytänyt kirjallisuudessa tähän liittyviä selvityksiä, mutta pidän riskiä todellisena, kunnes toisin todistetaan.

9.1.5 Merkinnät ja informaatio

Pakolliset, standardin 6000-7-712 mukaiset kyltit ja tarrat asennetaan nykyisin kohtalaisen usein. Sen sijaan esim. DC-kaapelointiin liittyviä varoituskylttejä (esim. EN 62548) näkee hyvin harvoin, mitä voidaan pitää pelastuslaitosten kannalta ongelmallisena.

Lisäksi niin käyttäjälle (ml. mahdollinen huoltohenkilökunta) kuin pelastuslaitoksille tarkoitetut ohjeet ja informaatio ovat harvinaisia.

9.1.6 Käyttöönottotestit

Käyttöönottotesteissä Järkevät ja käytännönläheiset standardit (erityisesti 62446-1) antaisivat tällä hetkellä hyvät lähtökohdat vastaanottotestien tekemiselle. Käytännössä puutteelliset testit ja niiden dokumentoiminen ovat olleet pikemminkin sääntö kuin poikkeus. Tyypillisiä puutteita ovat olleet:

- Testejä ei ole tehty tai ne on tehty vain osittain
- Testit on tehty mutta niistä ei ole dokumentoitu
- Osa mitattaviksi tarkoitetuista testeistä on korvattu paneelien kilpiarvojen kopioimisella
- Testituloksia ei osata tulkita

Oman lisäongelmansa Suomessa luo se, että talvella ympäristöolosuhteet (matala tai olematon säteily) käytännössä estävät järkevien paneelipuolen testien tekemisen. Aikataulusyistä laitoksia otetaan kuitenkin käyttöön myös keskellä talvea, kun säteily ei välttämättä riitä edes laitoksen käynnistymiseen. Tällöin voidaan järkevästi tehdä vain vaihtosähköpuolen testit ja paneeliston eristysvastus- ja polariteettimittaukset.

9.1.7 Tarkastukset, huolto ja kunnossapito

Aurinkosähköjärjestelmistä on niin Suomessa kuin muuallakin luotu mielikuva huoltovapaina, ”fit and forget”. Aurinkosähkön paloturvallisuuteen liittyvissä selvityksissä tämä mielikuva tuomitaan selvästi /XXX YYY/.

Normaalit huollot ja tarkastukset voivat liittyä esim. invertterin jäähdytykseen, vaikkapa jäähdytysriipojen ja/tai suodattimien pölyttömyys. Ensimmäisen kohdan pitäisi olla suhteellisen selkeä ja löytyä esim. invertterivalmistajan dokumenteista. Nämä ohjeet on syytä myös tiedottaa käyttäjälle. Vaikka periaatteessa inverttereissä on suojatoimintoja, joiden pitäisi estää esim. jäähdytyksen heikkenemisestä johtuvat vikaantumis- ja palovaarat, ne joka tapauksessa lisäävät riskejä. Vaikka käyttäjän ei voi olettaa tekevän varsinaista huoltoa, jo laitoksen toiminnan riittävä seuraaminen voi antaa ennakkovaroituksen ongelmista. Lisäksi englantilaisten ja saksalaisten kokemusten mukaan tärkeä DC-kytkimien ”verryttely” kontaktipintojen puhdistamiseksi onnistuu peruskäyttäjältäkin. Vaikka asiaa ei ole paloanalyysissä erikseen käsitelty, allekirjoittaneelle tulee mieleen epäilyksistä osa inverttereistä alkunsa saaneista paloista on saattanut johtua siitä, että niihin integroitujen DC-kytkimien ylimenovastus on ajan mittaan kasvanut.

Ennakoivat turvallisuuteen liittyvät tarkastukset ovat ongelmallisempia. Niihin liittyy kustannuksia, joista oleellinen on se, että jonkun, jolla on riittävä ammattitaito ja soveltuvat mittalaiteet pitää mennä paikan päälle. Mikäli tarkastuksen suorittaja ei ole valmiiksi paikkakunnalla matkakustannukset ja -aika voivat olla merkittäviä ja rajoittaa sitä, mitä kohteella on mahdollista tehdä. Lisäksi tarkastus olisi syytä tehdä, kun sääolot ovat sopivia, käytännössä siis aurinkoisena päivänä. Tämä voi johtaa siihen, että yhdessä työpäivässä saa tarkastettua vain yhden järjestelmän. Toisaalta, jos laitos on toteutettu huoltoystävällisesti, paneeliston lämpökuvausta lukuun ottamatta suurenkin laitoksen saa tarkastettua parissa-kolmessa tunnissa. On siis mahdollista tarkistaa aurinkoisena kesäpäivänä tarkistaa useampi järjestelmä jos ne sijaitsevat lähellä toisiinsa.

Toinen ongelma on määritellä mitä ja kuinka usein tarkastuksessa mitataan. Mahdollisia ohjeita ja suosituksia on lähteissä /XXXX/ ja /XXX/.

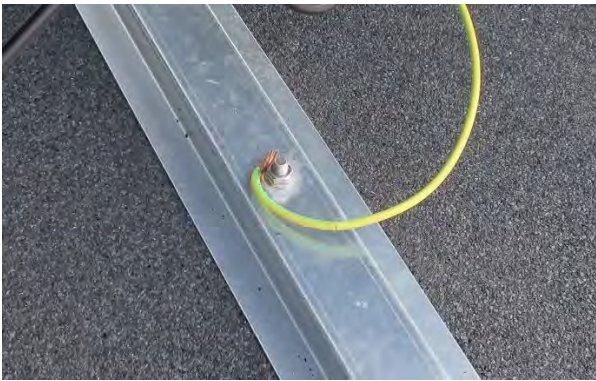
9.2 Muutama esimerkkikuva



Johdot kiinnittämättä, liitin lojuu katolla.



Liittimet samaa sukupuolta, **punainen** johto on miinus. Asennustyötä hidastavat lukitukset katkaistu.



Telineet ”liitetty” potentiaalintasaukseen.

Telinejatkoksen terävät reunat kiinni kermissä.

Yksinkertaisin mutta samalla käytännössä vaikea ohje asennustyöhön: hanki asennusohje, lue ja noudata sitä. Omasta kokemuksesta tiedän, että tämä ohje jää helposti noudattamatta: ”onhan näitä ennenkin tehty”.

9.3 Kysymyksiä ja toimenpide-ehdotuksia

Valitettavasti monet turvallisuutta parantavat toimenpiteet voivat haaskahtaa byrokratialta. Itse näkisin asian niin, että kyseessä on omavalvonta, jossa dokumentoidaan se, että asennukset on tehty asianmukaisesti.

Laitoksen sähköverkkoon liittämisen yhdenmukaistaminen, velvoittava määräys eikä pelkkä suositus.

Ilmeisesti tällä hetkellä paikalliset pelastuslaitokset eivät saa automaattisesti tietoa siitä, että kiinteistöön on asennettu aurinkosähköjärjestelmä. Tällä hetkellä ainoa taho, jolla on asiasta varmuus, on jakeluverkon haltija, jolle siitä on tehty ilmoitus ja joka on antanut kytkentäluvan. Onko mahdollista ja pelastuslaitoksen kannalta hyödyllistä, jos lomake lähetetään myös heille tiedoksi?

Mahdollisimman yleispätevä laitoksen omistajan ohje kaikkien saataville.

Ohje aurinkosähköjärjestelmien asennuksen palo- ja sähköturvallisuudesta. Järkevä yhdistelmä standardeja ja ohjeistuksia maailmalta, käytännönläheinen, selkokieleninen ja ilmaiseksi kaikkien saataville.

Onko mahdotonta tai kohtuutonta, että kytkentäluvan saaminen edellyttäisi myös sitä, että urakoitsija on tehnyt kohteessa asianmukaiset mittaukset ja tarkastukset?

Asennusten paloturvallisuuteen liittyvien määräysten yhdenmukaistaminen, kunhan riittävä objektiivinen lähtötieto on saatu kerättyä.

Asentajakoulutuksen laajentaminen ja käytännönläheisyyden varmistaminen.

Mikäli ja kun pätevyysvaatimuksia ei saada pakollisiksi, voisiko edes ajatella mahdollisten tukien liittämistä laatu- ja pätevyysvaatimuksiin?

Brittien Microgeneration Certification Scheme (MCS)-ohjeistuksista ja tavasta hoitaa asioita voisi olla hyötyä (66) (67) (49) .

10 Lähdeluettelo

1. **TÜV Rheinland Energie und Umwelt GmbH, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE)** .
Assessing Fire Risks in Photovoltaic Systems and Developing Safety Concepts for Risk Minimization . s.l. :
TÜV Rheinland Energie und Umwelt GmbH, 2018 (käännös alkup. 2015-07).
2. **TÜV Rheinland Energie und Umwelt GmbH, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE.**
Bewertung des Brandrisikos in Photovoltaik-Anlagen und Erstellung von Sicherheitskonzepten zur
Risikominimierung. s.l. : TÜV Rheinland Energie und Umwelt GmbH, 2015.
3. **Läderberg, V.** Aurinkosähköjärjestelmien riskit pelastustoimelle. s.l. : Savonia-ammattikorkeakoulu, 2017.
4. **Kuismanen, M.** Aurinkosähköjärjestelmien huomioiminen pelastustoiminnassa. s.l. : Pelastusopisto,
2019.
5. **Utriainen, T.** Aurinkosähköjärjestelmien paloturvallisuusriskien kartoittaminen ja niiden minimointi. s.l. :
Metropolia Ammattikorkeakoulu, 2017.
6. **GreenEnergy Finland Oy GEF.** Paloturvallisuus. s.l. : GreenEnergy Finland Oy GEF, 2018.
7. **Naps Solar Systems Oy.** Aurinkovoimalan paloturvallisuudesta. s.l. : Naps Solar Systems Oy, 2019.
8. **Solnet Oy.** Aurinkovoimaloiden paloturvallisuus. s.l. : Solnet Oy, 2016.
9. **Pester, S.** Fire and Solar PV Systems - Investigations and evidence. s.l. : BRE National Solar Centre, 2017.
10. **Chiaromonte A, Smith A, Hood Z.** Fire Safety of Solar Photovoltaic Systems in Australia. s.l. : Worcester
Polytechnic Institute, 2016.
11. **Laukamp H, ym.** PV Systems and Fire Hazard: Experiences and discussion topics in Germany (+ROW).
s.l. : Fraunhofer-Institut für Solare energiesysteme ISE, 2018.
12. **Bende E, Dekker N.** Brandincidenten met fotovoltaïsche (PV) systemen in Nederland. *TNO-rapport 2019
P10287*. s.l. : TNO, 2019.
13. **Asahi Shimbun.** Homeowners warned about risk of fire from solar panels. *Asahi Shimbun*. 2019.
14. **Pester, S.** DC isolators for photovoltaics systems - A good practise guide FB 68. s.l. : BRE National Solar
Centre, 2014.
15. **Velde, M Van de.** Photovoltaic Systems - European Perspective. *NFPA Conference 2016 Munich*. s.l. : XL
Catlin Property Risk Engineering / GAPS, 2016.
16. **Velasco.** *Säkerhetsaspekter i solenergianläggningar: PV Systems and Fire Safety in Germany*. s.l. :
Högskolan Dalarna, 2018.
17. **Johnson J, ym.** 7.1.2.1 PHOTOVOLTAIC DC ARC FAULT DETECTOR TESTING AT SANDIA NATIONAL
LABORATORIES. s.l. : Sandia National Laboratories, 2011.

18. **Kuchlmayr, T.** *Brande und Brandrisiken bei PV-Anlagen - Ein Überblick mit Beispielen aus der Praxis.* s.l. : TÜV Rheinland, 2012.
19. **SMA America LCC.** PV Arc-Fault Circuit Interrupter: Direct Current Arc-Fault Detection in PV Systems. *AFCI_White_Paper_130811_2_.pdf.* s.l. : SMA America LCC.
20. **Dürschner.** *Brandgefahr und Brandschäden bei Photovoltaikanlagen - Beobachtungen eines Sachverständigen.* s.l. : 3. Workshop PV-Brandsicherheit Köln, 2014.
21. **Bopp G, Laukamp H.** *Installationsempfehlungen und Diskussionsstand der zukünftigen PV Installationsnorm IEC 60364-9-1.* s.l. : Fraunhofer ISE, 2014.
22. **IEC.** *Technical report: Incompatibility of connectors for DC-application in photovoltaic systems.* s.l. : IEC, 2019. TR 63225.
23. **Binte F, Faudzi M.** *Flame Propagation Between Flat Roofing and Photovoltaic Installations.* s.l. : University of Edinburgh, 2019.
24. **Sherwood L, ym.** *Fire Classification Rating Testing of Stand-Off Mounted Photovoltaic Modules and Systems.* s.l. : Solarabcs, 2013.
25. **Kristensen S, ym.** *Fire-induced re-radiation underneath photovoltaic arrays on flat roofs.* s.l. : Proceedings of the Fire and Materials 2017 Conference, 2017.
26. **Guerra, J.** *Fire safety in Building-Mounted photovoltaic arrays. Seguridad y Medio Ambiente N133.* 2014.
27. **Namikawa S, ym.** *Photovoltaics and Firefighters' Operations: Best Practices in Selected Countries.* s.l. : IEA-PVPS T12-09:2017, 2017.
28. **Tommasinia R, ym.** *Risk of electrocution during fire suppression activities involving photovoltaic systems.* [Online] 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.firesaf.2014.05.008>.
29. **Holden, J.** *PVStop Verification Report.* s.l. : BRE Global, 2017.
30. **Sinha P, ym.** *Human Health Risk Assessment Methods for PV Part 1: Fire Risks.* s.l. : IEA-PVPS T12-14:2018, 2018.
31. **CFPA Europe.** *Photovoltaic systems: Recommendations on loss prevention.* s.l. : CFPA Europe, 2018.
32. **Electricity & Water Authority EWA Kingdom of Bahrain.** *Fire Safety Recommendations for Distributed Solar PV Systems.* s.l. : EWA, 2017.
33. **Fiorentini, L.** *Fires in Photovoltaic Systems: Lessons Learned from Fire Investigations in Italy.* s.l. : SFPE Emerging TRENDS enewsletter, 2015. 99.
34. **Gallagher, R.** *Photovoltaic System Fire Risk, an Insurer's Perspective.* s.l. : Zurich Services Corporation, 2016.

35. **Falvo M, Capparella S.** Safety issues in PV systems: design choices for a secure fault. s.l. : Case Studies in Fire Safety (2014), 2014.
36. **Pester S, Woodman S.** Fire and Solar PV Systems - Literature Review. s.l. : BRE National Solar Centre, 2017.
37. **SFS.** IEC 62548:2016:fi Aurinkosähköpaneelistot. Suunnitteluvaatimukset. s.l. : SFS. IEC 62548.
38. —. SFS-EN 62446-1:2016/A1:2018 Aurinkosähköjärjestelmät. Vaatimukset dokumentaatiolle, kunnossapidolle ja testaamiselle. Osa 1: Sähköverkkoon kytketyt järjestelmät. Dokumentaatio, käyttöönottotestit ja tarkastus. s.l. : SFS. 62446-1:2016/A1:2018.
39. **Sähköinfo Oy.** ST 55.36 Aurinkosähköjärjestelmän käyttöönottotarkastuspöytäkirja. s.l. : Sähköinfo Oy, 2017.
40. **SFS.** SFS 6000-7-712:2017 Erikoistilojen ja -asennusten vaatimukset. Aurinkosähköjärjestelmät. s.l. : SFS. 6000-7-712:2017.
41. **Manzini G, ym.** The fire risk in photovoltaic installations - Checking the PV modules safety in case of fire. *69th Conference of the Italian Thermal Engineering Association, ATI 2014.* s.l. : Energy Procedia 81, 2014.
42. **Ympäristöministeriö.** 848/2017 Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta. *Rakennusten paloturvallisuus - määräykset ja ohjeet.* s.l. : Ympäristöministeriö, 2017.
43. **Jantunen, J.** YMPÄRISTÖMINISTERIÖN ASETUS RAKENNUSTEN PALOTURVALLISUUDESTA MUISTIO. s.l. : Ympäristöministeriö, 2017.
44. **TUKES.** Luettelo S10-2019 SÄHKÖLAITTEISTOJEN TURVALLISUUTTA JA SÄHKÖTYÖTURVALLISUUTTA KOSKEVAT STANDARDIT . s.l. : TUKES, 2019.
45. **Sähköinfo Oy.** ST 51.21.05 Käyttöönottotarkastuspöytäkirja . s.l. : Sähköinfo Oy, 2019.
46. —. ST 51.21.06 Käyttöönottotarkastuspöytäkirja ryhmäjohtotason sähköasennuksille. s.l. : Sähköinfo Oy, 2019.
47. **VDE Group.** 3.3.1.1 VDE-AR-E 2100-712:2018-12 Maßnahmen für den DC- Bereich einer Photovoltaikanlage zum Einhalten der elektrischen Sicherheit im Falle einer Brandbekämpfung oder einer technischen Hilfeleistung (Measures for the DC range of a PV installation for the . s.l. : VDE group, 2018.
48. **IET / BRE.** Code Practice for Grid Connected Solar Photovoltaic Systems . s.l. : IET (institution of Engineering and Technology / BRE Solar Energy Centre UK, 2015 .
49. **Roberts C, ym.** Guide to the Installation of Photovoltaic Systems 2012. s.l. : Microgeneration Certification Scheme ('MCS'), 2012.
50. **NFPA.** National Electrical Code 2017. *NFPA 70.* s.l. : NFPA National Fire Protection Association, 2017.
51. **CBSC.** California Fire Code 2016. s.l. : California Building Standards Commissiona, 2016.

52. **Solar ABCs.** Understanding the CAL FIRE Solar Photovoltaic Installation Guideline. s.l. : Solar America Board for Codes and Standards Solar ABCs, 2012.
53. **VDE Renewables GmbH, Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. (GDV) .** Photovoltaikanlagen. s.l. : Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. (GDV), 2017.
54. **MCS Service Company .** Guide to the Installation of Photovoltaic Systems. s.l. : The Microgeneration Certification Scheme MCS, 2013.
55. **Hoppu, T.** Säännösmuutokset 2017-2018 YmA rakennsuten paloturvallisuudesta. 2018. s.l. : Pksrava.
56. **Sähköinfo Oy.** Järjestemän muistilista. s.l. : Sähköinfo Oy, 2017.
57. **FM Global.** Roof Mounted Solar Photovoltaic Panels. *FM Global Property Loss Prevention Data Sheets.* s.l. : FM Global, 2014.
58. **Allianz Risk Consulting.** Understanding the Fire Hazards of Photovoltaic Systems. s.l. : Allianz Global Corporate & Specialty® , 2012.
59. **Liciotti C, Cancelliere P.** Maintenance of PV Systems: how to reduce fire risk and enhance overall reliability. *2nd International Fire Safety Symposium IFireSS 2017.* s.l. : Italian National Fire Rescue and Service, 2017.
60. **SMA Solar Technology Ag.** Technical Information Capacitive Leakage Currents. s.l. : SMA Solar Technology Ag.
61. **SMA Solar Technology AG .** Manufacturer's Declaration: Confirmation of integrated all-current sensitive residual-current monitoring unit (RCMU). s.l. : SMA Solar Technology AG , 2018.
62. **SolarEdge.** Safety Risks and Solutions in PV Systems for Europe and APAC . s.l. : SolarEdge, 2018.
63. **Löning A, Mertz C.** Safety through module electronics? Less is more! s.l. : SMA Solar Technology AG, 2018.
64. **Enphase Energy Inc.** Addressing Safety and Warranty Concerns in BIPV Applications. s.l. : Enphase Energy Inc, 2019.
65. **GreenEnergy Finland Oy GEF.** Aurinkovoimalan paloturvallisuus SRV Aalto-Yliopisto. s.l. : GreenEnergy Finland Oy GEF, 2018.
66. **Pester, S.** Installer Requirements. *MCS Installer Technical Standards.* s.l. : BRE National Solar Centre, 2015.
67. **Microgeneration Certification Scheme (MCS).** Product Certification Scheme Requirements: Pitched Roof Installation Kits. s.l. : Department of Energy and Climate Change (DECC), 2008.
68. **IF Global Insurance Service.** SOLAR PANELS ON ROOFS What is the hazard? s.l. : IF Global Insurance Service, 2017.

69. **Spataru S, ym.** Firefighter safety for PV systems: overview of future requirements and protection systems. s.l. : Aalborg University Denmark, 2014.

70. **SolarEdge.** Safety Risks and Solutions in PV Systems for Europe and APAC. s.l. : SolarEdge, 2018.

71. **Löning A, Mertz C.** Safety through module electronics? Less is more ! s.l. : SMA Solar Technology Ag, 2018?

Liite 1: aurinkosähköön liittyvät SFS-standardit

SFS 6000-7-712:2017 Pienjännitesähköasennukset. Osa 7-712: Erikoistilojen ja -asennusten vaatimukset. Aurinkosähköjärjestelmät

Vahvistettu 18.08.2017

SFS 6000-7-712:2017:sv Lågspänningselinstallationer. Del 7-712: Krav för specialutrymmen och -installationer. Fotoelektriska solenergisystem

Vahvistettu 18.08.2017

SFS-EN 50380:2017 Aurinkosähköpaneelien merkintä- ja dokumentointivaatimukset

Vahvistettu 15.09.2017

SFS-EN 61724-1:2017 Aurinkosähköjärjestelmän suorituskyky. Osa 1: Valvonta

Vahvistettu 09.06.2017

SFS-EN 61829:2016 Aurinkosähköpaneelisto. Laitteiston virta-jännite-ominaisuuksien mittaus

Vahvistettu 11.03.2016

SFS-EN 62446-1:2016 + A1:2018

Aurinkosähköjärjestelmät. Vaatimukset dokumentaatiolle, kunnossapidolle ja testaamiselle. Osa 1: Sähköverkkoon kytketyt järjestelmät. Dokumentaatio, käyttöönottestit ja tarkastus

Vahvistettu 26.10.2018

SFS-EN 62446-1:2016/A1:2018 Aurinkosähköjärjestelmät. Vaatimukset dokumentaatiolle, kunnossapidolle ja testaamiselle. Osa 1: Sähköverkkoon kytketyt järjestelmät. Dokumentaatio, käyttöönottestit ja tarkastus

Vahvistettu 26.10.2018

SFS-EN IEC 62485-2:2018

Akkujen ja akkuasennusten turvallisuusvaatimukset. Osa 2: Paikalliset

Vahvistettu 18.05.2018

IEC 62548:2016:fi Aurinkosähköpaneelistot. Suunnitteluvaatimukset

Vahvistettu 23.03.2018

