



AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMIEN PALOTURVALLISUUS- OHJE

Aurinkosähköjärjestelmien paloturvallisuus -työryhmä

Sisällysluettelo

1	Johdanto	3
2	Aurinkosähköjärjestelmän toimintaperiaate	4
3	Aurinkosähköjärjestelmien riskit.....	7
3.1	Vaikutus paloturvallisuuteen.....	7
3.2	Riskit eri rakennustyypeittäin ja paloluokittain.....	11
3.3	Pelastushenkilöstön työturvallisuusriskit ja vaikutus sammutustyöhön	16
4	Säädökset.....	20
4.1	Yleiset vaatimukset.....	20
4.2	Sähköturvallisuuslain vaatimukset	22
4.3	Sähkötöiden tekeminen, käyttöönottovaiheen tarkastukset ja ilmoitukset.....	23
4.4	Sähkölaitteiston kunnossapito ja määräaikaistarkastus	24
4.5	Laitteiston liittäminen sähkönjakeluverkkoon	25
5	Määräykset ja suositukset aurinkosähköjärjestelmien turvallisuuden parantamiseksi.....	26
5.1	Järjestelmän tai sen osan erottaminen, merkinnät ja varoitukset.....	26
5.2	Pelastustoiminnan turvallisuuden ja paloturvallisuuden parantaminen	28
5.3	Aurinkosähköjärjestelmien sijoittaminen	29
5.3.1	Erillinen voimalakenttä.....	30
5.3.2	Sijoitus katolle	32
5.3.3	Sijoitus ulkoseinälle	35
5.3.4	Muun paloturvallisuuteen vaikuttavan tekniikan huomioiminen.....	39
5.4	Akut ja akustotilat.....	40
5.5	Sammutusveden saanti	41
5.6	Kohdekortti ja -tiedot pelastuslaitokselle	42
5.7	Kiinteistön huolto- ja kunnossapito.....	43
	Lähteet.....	44

1 Johdanto

Aurinkosähköjärjestelmien määrä kasvaa jatkuvasti kiihtyvällä vauhdilla. Tapoja toteuttaa järjestelmiä on monenlaisia ja niihin liittyy uudenlaisia riskejä. Kehitys on ollut hyvin nopeaa. Viranomaissäädökset ja standardit eivät ota tarkasti kantaa pelastustoimintaan liittyviin näkökulmiin ja varsinkin suomenkielinen ohjeistus aurinkosähköjärjestelmien paloturvallisuudesta on ollut hyvin hajanaista. Tämän vuoksi ohjeelle on olemassa selkeä tarve.

Tämän ohjeen tarkoitus on kertoa aurinkosähköjärjestelmien omistajille, suunnittelijoille, rakentajille ja viranomaisille aurinkosähköjärjestelmien riskit, niihin liittyvät keskeisimmät turvallisuusmääräykset ja -ohjeet sekä antaa pelastustoimen näkemyksen mukaisia suosituksia pelastustoiminnan mahdollistamiseksi, pelastushenkilöstön työturvallisuuden huomioimiseksi ja hyvän paloturvallisuuden toteutumiseksi. Ohje käsittelee uusien toteutettavien aurinkosähköjärjestelmien suunnittelua, toteutusta, käyttöä ja huoltoa. Olemassa oleviin kohteisiin ohjetta voi soveltaa mahdollisuuksien mukaan suosituksena turvallisuutta parannettaessa.

Tämä ohje on sovellettavissa kaikkiin rakennuksiin kiinteästi asennettaviin sekä erillisiin sähköntuottoon liittyviin aurinkosähköjärjestelmiin koosta riippumatta. Kaikki aurinkosähköjärjestelmien asennukset eivät ole luvanvaraisia, jolloin riskien arviointi ja turvallisuustason toteutus ovat hankkeeseen ryhtyvän vastuulla.

Ohje on valmisteltu pelastuslaitosten kumppanuusverkoston Turvallisuuspalveluiden asiantuntijaverkoston työryhmän toimesta. Työryhmässä ovat olleet mukana Ari Holopainen (Päijät-Hämeen pelastuslaitos), Jani Jämsä (Etelä-Savon pelastuslaitos), Saila Kauppinen (Jokilaaksojen pelastuslaitos), Markus Kuosmanen (Etelä-Karjalan pelastuslaitos), Vesa Läderberg (Päijät-Hämeen pelastuslaitos) ja Pia Nyman (Itä-Uudenmaan pelastuslaitos). Ohjeen laatimisessa on ollut mukana laajasti eri alojen toimijoita. Työssä on hyödynnetty laaja-alaisesti lähdemateriaalia kotimaasta ja ulkomailta.

Ohje on ennen viimeistelyvaihetta käynyt laajalla lausuntokierroksella aurinkosähköjärjestelmiin liittyvillä viranomaistahoilla ja eri alojen toimijoilla. Saadut kommentit on huomioitu ohjeessa. Ohjeen viimeistelyvaiheessa ovat olleet mukana edustajat Turvallisuus- ja kemikaaliviraston Sähkölaitteistotryhmästä. Heidän kanssaan on käyty läpi kaikki ohjeessa olevat sähköturvallisuuteen liittyvät asiat ja niihin saadut kommentit.

Pelastuslaitosten kumppanuusverkoston Turvallisuuspalvelut-palvelualue on hyväksynyt tämän ohjeen sovellettavaksi kaikilla pelastuslaitoksilla. Tämä ohje ei ole oikeudellisesti sitova, vaan toimivaltaiten pelastusviranomaisten yhteistyössä syntynyt konsensusnäkemys pelastuslain soveltamisesta.

2 Aurinkosähköjärjestelmän toimintaperiaate

Aurinkosähköjärjestelmä tuottaa sähköä aurinkopaneelien avulla. Paneeleja on monentyyppisiä eri tarkoituksiin yksittäisistä mökkipaneeleista koko katon kokoisiin järjestelmiin. Paneelit voivat olla erilisiä yksi- tai kaksipuolisia tai ne voivat olla integroituja esimerkiksi kate- tai julkisivumateriaaleihin. Yleensä paneelit sijoitetaan rakennusten katoille, mutta niitä asennetaan myös julkisivuihin. Aurinkosähköjärjestelmä voidaan toteuttaa myös maanelineelle tai aurinkoseuraimeen asennettuna tai esimerkiksi vedessä kelluvalle alustalle asennettuna.



Katteeseen integroidut aurinkopaneelit (Kuva: Solarguide)



Aurinkopaneelit mökillä (Kuva: Karjalainen)



Aurinkopaneelikenttä Lempäälässä (Kuva: Aamulehti Yle)



Aurinkopaneelit kauppakeskuksen katolla (Kuva: Yle)



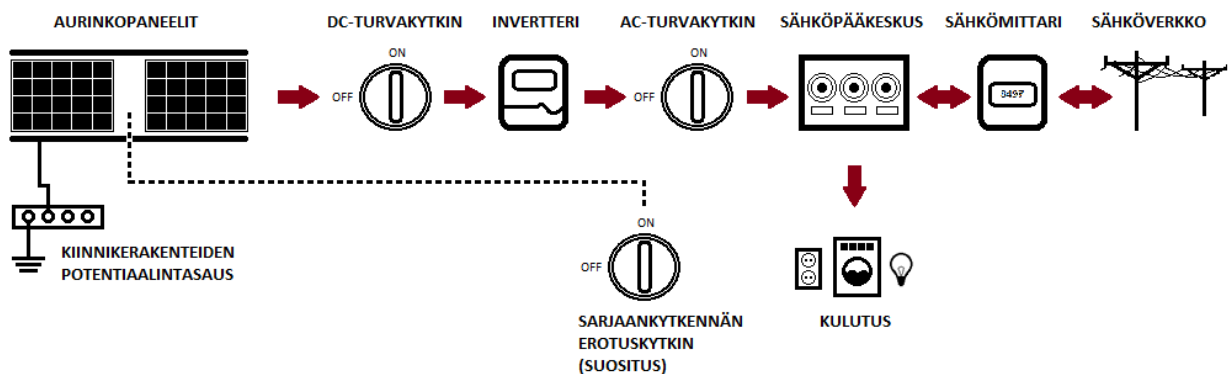
Yllä: kattotiiliin integroitu aurinkopaneelisto
(Kuva: FlexSol Solutions)

Vasemmalla: Euroopan suurin pystysuora aurinkopaneelijärjestelmä Manchesterissa Englannissa (Kuva: Interesting Engineering)

Aurinkosähköjärjestelmän tärkeimmät osat turvallisuuden näkökulmasta ovat aurinkopaneelit, kaapeloinnit, vaihtosuuntaaja ja turvakytkimet. Katoilla järjestelmään kuuluu usein myös telineet lisäpaineineen paneelien kiinnitystä varten.

Aurinkosähköjärjestelmiä on sekä pienen- että pienjännitteisinä. Järjestelmä voi olla erillinen eli verkkoon kytkemätön (off-grid) tai yleiseen sähköjakelu- tai kiinteistöjen sähköverkkoon kytketty (on-grid) järjestelmä. Aurinkovoimalat voivat sijaita rakennusten katoilla tai maan tasolla suurilla aukeilla. Niiden tuottama sähköteho voidaan muuntaa muuntoaseman kautta suurjännitteiseksi. (Läderberg 2017, 13)

Mikäli aurinkosähköjärjestelmä on asennettu sähköjakeluverkkoon liitettyyn kiinteistöön, kuuluu järjestelmään aurinkopaneelit ja vaihtosuuntaaja (invertteri), joka muuttaa paneelien tuottaman tasavirran vaihtovirraksi. Järjestelmässä voi olla myös akusto, joka on tyypillinen varsinkin sähköjakeluverkkoon kytkemättömissä kohteissa, kun halutaan hyödyntää paneelien tuottamaa sähköä myöhemmin. AC-puolen erotusmahdollisuus, yleensä turvakytin, on pakollinen järjestelmissä, jotka on asennettu sähköjakeluverkkoon liitettyihin kiinteistöihin. Turvakytkimellä voidaan erottaa aurinkosähköjärjestelmä sähköverkosta, mutta se ei estä paneeleja tuottamasta sähköä. (SFS 6000-7-712:2022)



Yllä havainnekuva rakennuksessa olevan sähköverkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän kokoonpanosta. DC-puolen turvakytin on usein integroitu vaihtosuuntaajaan. Paneeliston jännitteen ylittäessä 60 V, on järjestelmän metalliset asennustelineet ja kaapelihyllyt, sekä näitä lähellä sijaitsevat

muut johtavat osat liitettävä potentiaalintasaukseen. Metallisten kattorakenteiden potentiaalintasaus voidaan toteuttaa myös asennustelineiden kautta. Mikäli käytetään aurinkopaneelien sarjaan-kytkennän erotuskytkimiä, tulee ne sijoittaa pelastushenkilöstön helposti saavutettavaan paikkaan, esimerkiksi paloilmoitinkeskuksen viereen. (katso luku 5.1). (Kuva: pelastuslaitosten kumppanuusverkosto 2022, mukaillen Motiva 2021)

Suunnittelussa ja pelastustoiminnassa on tärkeää huomioida, että AC-turvakytkin ei tee aurinkopaneeleja, vaihtosuuntaajaa eikä niiden välisiä komponentteja ja kaapelointeja jännitteettömiksi. Tämä erotus katkaisee vain sähkönsyötön aurinkosähköjärjestelmästä kiinteistön sähköverkkoon. Aurinkopaneelit tuottavat sähköä niin kauan kuin saavat valoa (auringonvalo, keinovalo, tulipalon loimu), joten valoa saavan järjestelmän tasasähköpuoli vaihtosuuntaajan DC-turvakytkimelle saakka pysyy jännitteellisenä, vaikka AC-turvakytkimestä katkaistaisiin sähkönsyöttö. Isoissa järjestelmissä, joissa paneeleja on kytketty sarjaan, ne saattavat tuottaa vaarallisia jännitteitä valosta, vaikka paneelit olisi erotettu rakennuksen sähköjärjestelmästä.

Verkkoon kytkemättömässä aurinkosähköjärjestelmässä aurinkopaneelien tuottama sähkö varastoidaan akkuihin ennen käyttöä, mikäli sähköntuotanto ja -kulutus eivät ole samanaikaista. Akkuista voidaan ottaa virtaa suoraan tasavirtaa hyödyntäviin laitteisiin. Järjestelmään voidaan lisätä vaihtosuuntaaja, jos tasavirta halutaan muuttaa vaihtovirraksi. Verkkoon kytkemättömiin järjestelmiin on mahdollista liittää aggregaatti, jota voidaan käyttää varavoimanlähteenä. Akulla varustettuun järjestelmään asennetaan lataussäädin, jonka tarkoitus on säätää paneelien tuottamaa sähköä ja valvoa akun latautumista. (Läderberg 2017, 13-14)

3 Aurinkosähköjärjestelmien riskit

3.1 Vaikutus paloturvallisuuteen

Aurinkosähköjärjestelmät ovat lähtökohtaisesti hyvin turvallisia oikein asennettuna, käytettynä ja asianmukaisesti huollettuna. Järjestelmä pitää yleensä sisällään lukuisia paneeleja, kaapelointeja, liitoksia ja vaihtosuuntaajia sekä joskus myös akuston, jotka vastaavasti kuin muutkin sähköjärjestelmän osat, voivat virheellisesti toteutettuna tai vaurioitumisen seurauksena muodostaa paloriskin.

Pienjännitesähköasennuksia koskevan standardin SFS 6000 vuoden 2022 painos edellyttää, että aurinkosähköjärjestelmän vaihtosuuntaajan ja mahdollisten erillisten DC-kytkimien asennusalustan on oltava palamatonta materiaalia. Jos rakenne ei itsessään ole palamaton, on alustana käytettävä erillistä palamatonta materiaalia (esim. sementtikuitulevy). Jos käytettävä palamaton materiaali on hyvin lämpöä johtavaa, on palavan rakenteen ja asennusalustan väliin jätettävä vapaa tuulettuva tila.

Pelastustoiminnan näkökulmasta suurin huoli on pelastushenkilöstön työturvallisuus, sillä aurinkopaneelit tuottavat sähköä niin kauan kuin saavat valoa riippumatta siitä onko sähkönsyöttö paneeleilta kiinteistöön katkaistu AC-turvakytkimestä. Aurinkopaneelit tuottavat sähköä myös keinovalolla ja tulipalon tuottamasta valosta. Tutkimuksissa on vahvistettu, että keinovalolla saatu jännite voi olla niin suuri, että se on ihmiselle vaarallista. Myös jopa osittain palaneet paneelit voivat valoa saadessaan tuottaa niin suuren jännitteen, että siitä voi aiheutua vakavan sähköiskun vaara. (Läderberg 2017, 55–59.) Jo kolmen aurinkopaneelin välinen sarjaankytkentä pystyy tuottamaan ihmiselle vaarallisen jännitteen. Paneelien tuottama sähkö voi johtua katoilla myös sinne kerääntyvän sammutusveden kautta.

Pelastushenkilöstön työturvallisuusriskiä voidaan pienentää erottamalla paneelien välinen sarjaankytkentä. Tämä voidaan toteuttaa mm. erillisillä sarjaankytkennän erotuskytkimillä tai paneelien väliset kosketussuojatut liittimet avaten. On kuitenkin huomioitava, että sarjaankytkentään käytettävillä pistoliittimillä ei ole virrankatkaisukykyä, joten ennen liittimien avaamista on esim. sammutettava vaihtosuuntaaja tai avattava tasasähköosan erotuskytkin.

Rikkoutunut paneeli tai vioittunut järjestelmä voi aiheuttaa suuren jännitteen, jolloin sähköisku voi olla hengenvaarallinen tai vaurio voi aiheuttaa tulipalon. Sähkö voi johtua rikkoontuneesta paneelistä runkoon, telineisiin, katteeseen ja muualle ympäristöön. Äärimmäiset sääilmiöt voivat myös vaurioittaa järjestelmää. Siten myrskyt ja lumikuormat tuleekin ottaa huomioon suunnittelussa ja kattarakenteiden kantavuuden mitoituksessa.

Litiumioniakustopalo puolestaan on erittäin vaikea sammuttaa ja palosta vapautuvat kemikaalit ovat erittäin myrkyllisiä, joilta suojautumiseen tavanomainen sammutusasu ei välttämättä riitä. Palosta vapautuvista kemikaaleista esimerkiksi syövyttävä fluorivety voi läpäistä sammutusason jopa minuutissa. Turvallinen akkupalon sammutustyö sisätiloissa vaatisi kemikaalisuojapuvun. (Suosalo 2020, 35–36.) Tämän vuoksi esimerkiksi suurten, erillisten akustotilojen sijoituksessa on huomioitava pelastuslaitoksen sisääntuloväylät, lähestymissuunnat, kulkuväylät, uloskäytävät ja poistumisreitit.

Rakennuspalon sammuttamisen kannalta aurinkosähköjärjestelmät ovat myös esteinä sammutustyössä sekä sammuttajille, sammutusraivaukselle että sammutusvedelle. Järjestelmä muodostaa rakennukseen ylimääräistä palokuormaa ja asennustavasta riippuen paneelien alle voi muodostua onkalomaisia tiloja, jotka voivat vaikuttaa savukaasujen virtaukseen kiihdyttämällä ja levittämällä paloa.

Tutkimuksessa (Technical University of Denmark) havaittiin, että aurinkopaneeleilla voi olla merkittävä vaikutus nimenomaan palon leviämiseen muuttamalla palon dynamiikkaa. Niiden paloriskit eivät siis liity pelkästään lisääntyneeseen palokuormaan ja järjestelmän syttymisriskeihin (Steemann Kristensen et al. 2017, 12). Esimerkiksi osa paneeleista voi olla palavatarvikkeisia ja ne voivat muodostaa palon leviämistä mahdollistavia reittejä ulkoseinillä ja kattopinnoilla. Paneelit voivat myös muodostaa alapuolelleen lämpöä ja savua kerääviä onteloita, jotka voivat edistää palon leviämistä.

Viime vuosina Suomessa aurinkosähköjärjestelmistä on aiheutunut vuosittain enintään kymmenkunta tulipaloa. Pääosin palot ovat tapahtuneet kevät- ja kesäaikaan. Paloja on tapahtunut niin pienissä kuin suurissa rakennuksissa, jolloin uhattuna olleet omaisuusarvot ovat olleet suuria. Aurinkosähköjärjestelmien tulipaloja ovat aiheuttaneet mm. kaapelitotot, akustot, vaihtosuuntaajat ja muut komponentit. Tilastojen valossa aurinkosähköjärjestelmien palojen syyt ovat moninaisia. (Pelastustoimen PRONTO-järjestelmä, 2017–2021.)

Tietoa tapahtuneista tulipaloista aurinkosähköjärjestelmissä on saatavilla laajemmin ulkomailta. On huomionarvoista, että maakohtaiset säädökset vaihtelevat ja tapoja toteuttaa järjestelmiä on monenlaisia. Lisäksi tekniikan kehitys on nopeaa, joten pitkän ajan tilastosta ei kannattane tehdä kovin pitkälle meneviä johtopäätöksiä riskeistä Suomen olosuhteita ajatellen. On kuitenkin merkillepantavaa, että kansainvälisiä lähteitä tarkastellen ylivoimaisesti suurin osa tulipaloista on johtunut suunnittelu- ja asennusvirheistä eikä niinkään viallisista tuotteista. Onnettomuudet ovat tapahtuneet tyypillisesti parin vuoden kuluessa järjestelmien asennuksesta. Useissa maissa kattoon integroitujen järjestelmien aiheuttamia paloja ja vahinkoja rakennuksille on ollut paljon suhteessa niiden asennusmäärään. Myös säännöllisen huollon ja kunnossapidon merkitys on tärkeä. (Rasinkoski 2020, 6–8, 74)

Saksassa on tutkittu, että vuosina 2011–2013 aurinkosähköjärjestelmien paloista kolmannes johtui aurinkosähköjärjestelmän komponenteista, kolmannes suunnitteluvirheistä ja kolmannes asennusvirheistä. Tutkimuksessa havaittiin, että paloista suhteettoman suuri osuus tapahtui keskipäivällä ja aikaisin iltapäivällä auringon säteilyn ja samalla paneelien sähköntuoton ollessa voimakkaimmillaan, jolloin vialliset tai vaurioituneet komponentit ovat ylikuumentuneet ja aiheuttaneet syttymän. (Prume & Viehweg 2018, 246.)



Aurinkosähköjärjestelmän tulipalo vuonna 2013 New Jerseyssä varastorakennuksessa, jonka katolla oli yli 8 000 aurinkopaneelia (Milke et al. 2014, 4-5). (Kuva: Reax Engineering)



Aurinkosähköjärjestelmän tulipalo saksalaisessa hoitolaitoksessa/vanhainkodissa Bremenissä vuonna 2019. Tulipalossa evakuoitiin 96 hoitolaitoksen asukasta. Savulle altistumisen johdosta hoitoa tarvitsi 21 ihmistä, joista palomiehiä oli 2. (Feuerwehr-Magazin. 2019) (Kuva: Feuerwehr-Magazin / Nonstopnews)

Erilaisissa testeissä on havaittu, että palaessaan aurinkopaneeleihin liittyvien johtavien rakenteiden potentiaalintaus katkeaa aikaisessa vaiheessa. Tällöin paneeleista itsestään, niiden komponenteissa ja kiinnikkeissä yms. sähköiskun mahdollisuus kasvaa merkittävästi. Vioittuneet ja lämpöä saaneet sähköjohdot ovat myös sähköiskun saamisen todennäköisyyttä lisääviä tekijöitä. Sähköiskun vaaraa voidaan vähentää sijoittamalla paneelista tulevat johdot (plus- ja miinuskaapelit) kulkemaan aina vierekkäin, jolloin paneeli menee herkemmin oikosulkuun aiheuttamatta valokaarta ja tämä lisää työturvallisuutta.

Toinen havaittava tekijä on, että paneelit tuottavat sähköä aina kun ne altistuvat valolle, oli järjestelmä kunnossa tai ei. Paneelit voivat näin ollen sytyttää tulipaloja myöhemminkin palotilanteen ja järjestelmän vaurioitumisen jälkeen ellei paneeleita kytketä irti järjestelmän vaurioituttua esimerkiksi tulipalossa. Aurinkopaneelit tulee siis muistaa kytkeä irti, vaikka ne eivät vaurioituisi palossa, mutta niiden syöttö menee palossa tai muulla tavoin vaurioituneeseen rakennukseen. Ohjeita palon jälkeisiin toimenpiteisiin aurinkosähköjärjestelmissä löytyy esimerkiksi julkaisusta: IEC/TR 63226:2021:fi.

Rakennukselle voi muodostua palon leviämisen ja uudelleen syttymisen riski, mikäli aurinkosähköjärjestelmän tasasähköpuolen kaapeleita ei saada jännitteettömiksi rakennuksen ulkopuolelta tai ne on sijoitettu palaviin rakenteisiin. DC-kaapeleissa ei ole oikosulkusuojia ja niin kauan kuin paneelit tuottavat sähköä, voi kaapelin eristevaurio palotilanteessa aiheuttaa oikosulun ja tasasähkökaapeleiden

välisen valokaaren. Jos paneelit tuottavat sähköä, valokaari ei sammu ennen kuin paneelit on erotettu sähköttömiksi. Valokaari voi johtua myös rakennukseen sisälle tai palaviin rakennekerrokseen, joissa DC-kaapelit kulkevat.

Jos rakennuksessa on yleiseen sähköverkkoon yhdistetty aurinkosähköjärjestelmä sekä oma varavoima, sähkökatko voi aiheuttaa vaaratilanteen. Sähkökatkossa aurinkovoimalan vaihtosuuntaaja sammuttaa itsensä ja automaattisesti toimiva varavoimakone käynnistyy. Varavoiman käynnistymisen jälkeen vaihtosuuntaaja saattaa taas käynnistyä. Jos rakennuksessa ei kuluteta varavoiman ja aurinkosähköjärjestelmän tuottamaa tehoa, voi vaihtosuuntaajan teho ohjautua varavoimakoneelle. Varavoimakoneen suojalaitteet voivat laueta tai kone voi jopa vaurioitua. Tällöin kohteessa tarvittava varavoima voidaan menettää (ks. luku 4.5.).

3.2 Riskit eri rakennustyypeittäin ja paloluokittain

Erilaisiin rakennuksiin asennettuina aurinkosähköjärjestelmät voivat aiheuttaa erityyppisiä riskejä. Yleisesti ottaen; mitä pienempi ja käyttötavaltaan vähäriskisempi rakennus, sitä vähemmän palomääräyksissä on vaatimuksia rakennuksen tai sen materiaalien palonkestolle. Mitä suurempi rakennus ja vaativampi käyttötapa, sitä enemmän paloteknisiä vaatimuksia sillä on.

Esimerkiksi tavanomaisessa P3-paloluokan omakotitalossa koko rakennus on yleensä samaa palo-osastoa ja sen verhoilu ja eristeet voivat olla rakennustarvikkeita, jotka palavat melko herkästi. Aurinkosähköjärjestelmä voi omakotitalossa olla asennettu monin eri tavoin (katon, julkisivuun, terasseille jne.), mutta palo missä tahansa rakennuksen osassa voi levitä nopeasti ja asettaa asukkaat hengenvaaraan ja tuhota koko rakennuksen.

Suurissa rakennuksissa puolestaan palo-osastoinnit ovat järeämpiä ja pintamateriaalit useasti heikommin palavia, mutta niissä esimerkiksi suuri kattopinta-ala voi mahdollistaa laajojen aurinkopaneelientien asennuksen. Tällöin palovahingot voivat olla merkittäviä kattorakenteissa ja sammutustyön vesivahingot suuria myös katon alapuolisissa tiloissa, mutta palo-osastojen vuoksi ihmiset ehtivät yleensä hyvin poistumaan rakennuksesta. Toisaalta henkilöturvallisuudelle voi tulla haasteita suurten henkilömäärien takia.



Yllä: aurinkopaneelien alumiiniset kehys- ja tukirakenteet sulavat tulipalon voimasta ja pisarointi levittää paloa. Liekkien alla näkyvät heitteet ovat sulaa alumiinia.

Vasemmalla: katon oikeanpuoleisen lappeen aurinkopaneelit tuottavat edelleen sähköä, vaikka palo on jo levinnyt niihin.

Kuvat Satakunnan ammattikorkeakoulun *Aurinkosähköjärjestelmien turvallisuus palotilanteissa* -hankkeesta vuodelta 2021. (Kuvat: Markus Kuosmanen)

Aurinkosähköjärjestelmien aiheuttamat paloriskit vaihtelevat siis rakennustyypeittäin. Alla on eri paloluokkien rakennusten tyypillisimpiä riskejä ja huomioita riskeihin varautumisesta.

P1-paloluokan rakennukset

P1-paloluokan rakennukset ovat yleensä suuria ja niissä voi olla isoja ihmismääriä (esimerkiksi kaupakeskukset, kerrostalot, hoitolaitokset, majoitustilat, suuret kokoontumistilat, suuret teollisuus- ja varastorakennukset).

Näissä rakennuksissa tulisi erityisesti kiinnittää huomiota siihen, ettei aurinkosähköjärjestelmä vaaranna poistumista, eli järjestelmän osat tulisi sijoittaa riittävän etäälle uloskäytävistä, poistumisreiteistä ja varateistä. P1-paloluokan rakennuksissa on tiukat vaatimukset heikosta syttyvyydestä rakennusten julkisivujen materiaaleille ja eristeille. Rakentamismääräysten ulkoseinää ja katemateriaaleja koskevat vaatimukset tulee huomioida myös aurinkosähköjärjestelmien osalta. Aurinkosähköjärjestelmien asennuksella ei saa heikentää julkisivupinnan syttymisherkkyyksivaatimuksia ympäristöministeriön asetukseen rakennusten paloturvallisuudesta (848/2017) ja sen muutoksiin (927/2020) nähden.

Yli 2-kerroksisen P1-paloluokan rakennuksen julkisivuissa on huomioitava myös, että varatiekäyttöön suunnitellun parvekkeen pintojen on oltava vähintään B-s2, d0 -luokkaa. Myöskään ensimmäisessä kerroksessa ja varateiden ylä- ja alapuolella olevien pintojen osalta ei saa heikentää niiden vaatimuksia asetuksen (927/2020) vaatimustasosta, jos pintojen osallistuminen paloon voi vaarantaa varatien käytön. (katso lisätietoa luvuista 5.2 *Aurinkosähköjärjestelmien sijoitus* ja 5.2.3 *Sijoitus julkisivuun*)

Aurinkosähköjärjestelmien akkujen ja vaihtosuuntaajien tarvitsemat tilat on henkilöturvallisuuden näkökulmasta aina suositeltavaa palo-osastoida ja sijoittaa erilleen reiteistä, joita käytetään poistumiseen sekä erilleen tiloista, joissa majoitutaan tai oleskellaan.

P2-paloluokan rakennukset

P2-paloluokan asuinrakennukset voivat olla jopa 8-kerroksisia ja niissä on P1-paloluokkaa huomattavasti kevyemmät vaatimukset julkisivumateriaalien paloturvallisuuden suhteen. Niissäkin voi olla suuria ihmismääriä ja laajoja pinta-aloja. Julkisivuun asennetut aurinkosähköjärjestelmät voivat aiheuttaa merkittävän riskin paloturvallisuudelle etenkin puujulkisivuisissa asuinrakennuksissa.

Rakentamismääräysten ulkoseinää ja katemateriaaleja koskevat vaatimukset tulee huomioida P2-luokan rakennuksissa myös aurinkosähköjärjestelmien osalta. Aurinkosähköjärjestelmien asennuksella ei saa heikentää julkisivupinnan syttymisherkkyyksivaatimuksia ympäristöministeriön asetukseen rakennusten paloturvallisuudesta (848/2017) ja sen muutoksiin (927/2020) nähden.

Yli 2-kerroksisen P2-paloluokan rakennuksen julkisivuissa on huomioitava myös, että varatiekäyttöön suunnitellun parvekkeen pintojen on oltava vähintään B-s2, d0 -luokkaa. Myöskään ensimmäisessä kerroksessa ja varateiden ylä- ja alapuolella olevien pintojen osalta ei saa heikentää niiden vaatimuksia asetuksen (927/2020) vaatimustasosta, jos pintojen osallistuminen paloon voi vaarantaa varatien käytön. (katso lisätietoa luvuista 5.2 *Aurinkosähköjärjestelmien sijoitus* ja 5.2.3 *Sijoitus julkisivuun*)

Aurinkosähköjärjestelmien akkujen ja vaihtosuuntaajien tarvitsemat tilat on henkilöturvallisuuden näkökulmasta aina suositeltavaa palo-osastoida ja sijoittaa erilleen reiteistä, joita käytetään poistumiseen sekä erilleen tiloista, joissa majoitutaan tai oleskellaan.

P3-paloluokan rakennukset

P3-paloluokan rakennuksissa, kuten omakotitaloissa ja vapaa-ajan asunnoissa, suurimmat riskit liittyvät palava-aineisiin rakennustarvikkeisiin. P3-paloluokassa voi olla pienehköinä rakennuksina myös riskialttiita käyttötapoja, kuten 1-tasoisia hoivalaitoksia, majoitustiloja, pienehköjä kouluja, päiväkojeja ja toimistorakennuksia.

P3-paloluokan rakennuksissa ulkoverhoukselle ja rakennuksen eristeille ei ole paloturvallisuusmääräyksissä asetettu tiukkoja vaatimuksia. Pääosin julkisivupinnat saavat olla D-luokkaa (esimerkiksi puuta). Siksi olisi erityisen tärkeää kiinnittää huomiota siihen, että aurinkosähköjärjestelmän osat olisi kunnolla paloeristetty rakenteista ja pintamateriaaleista, jotka voivat helposti syttyä. (katso lisätietoa luvusta 5.2.3 *Sijoitus julkisivuun*)

Aurinkosähköjärjestelmien akut ja vaihtosuuntaajat on henkilöturvallisuuden vuoksi erittäin suositeltavaa sijoittaa erityisesti asuin-, majoitus- ja hoitolaitosrakennuksissa tilaan, jossa ei ole oleskella tai yövyä (esimerkiksi tekniseen tilaan tai ulos). On suositeltavaa, että akut sijoitetaan omaan palo-osastoonsa, jossa on asuintiloista erillinen ilmanvaihto. (katso lisätietoa luvuista 5.2 *Aurinkosähköjärjestelmien sijoitus* ja 5.3 *Akut ja akustotilat*)

P0-paloluokka

Suunniteltaessa aurinkosähköjärjestelmää P0-paloluokan rakennukseen tulisi järjestelmä ottaa huomioon osana paloturvallisuuden erityissuunnittelun kokonaisuutta (myös jälkiasennuksissa), koska rakennuksen paloturvallisuusratkaisut perustuvat täysin erityissuunnitteluun. Jälkiasennettaessa aurinkosähköjärjestelmä P0-luokan rakennukseen tulisi tehdä laajempi, tapauskohtainen tarkastelu järjestelmän vaikutuksista rakennuksen kokonaisturvallisuuteen.

Ilmanvaihdon huomioiminen

Ilmanvaihdon osalta aurinkosähköjärjestelmien suunnittelussa olisi tärkeää huomioida, etteivät mahdollinen palo ja sen aiheuttama myrkyllinen savu leviä rakennuksen ilmanvaihdon mukana vaarantaen rakennuksen henkilöturvallisuutta. Esimerkiksi laajoissa rakennuksissa koko rakennuksen tai sen osien ilmanvaihto on toiminnassa myös osassa rakennusta sattuvan palon aikana. Tämä tulisi huomioida erityisesti suurissa rakennuksissa; esimerkiksi kauppakeskuksessa tai hoitolaitoksessa savun leviäminen koko rakennuksen raittiin tuloilman sekaan voi aiheuttaa henkilöturvallisuusriskin koko rakennukseen, vaikka itse tulipalo ei sellaista uhkaa vielä palo-osastojen vuoksi aiheuttaisikaan.

Erilliset voimalakentät

Rakennukseen voidaan tuottaa sähköä myös rakennuksesta erillisellä aurinkosähköjärjestelmällä. Paloturvallisuuden näkökulmasta on aina suositeltavampaa toteuttaa aurinkosähköjärjestelmä siten, että se on rakennuksesta erillään. Mitä suurempi etäisyys rakennuksiin, sitä pienempi palovaara aiheutuu itse rakennuksille. On tärkeää huomioida, että suuren paneelikentän tulipalon aiheuttama savunmuodostus voi olla hyvin voimakasta ja laajalle leviävää, jolloin lähellä olevissa rakennuksissa ihmisten turvallisuus voi olla vaarassa.

Pelastustoiminnan mahdollistamiseksi ja työturvallisuuden takaamiseksi laajojen erillisten aurinkovoimalakenttien yhteydessä tulisi huomioida mahdollisuus lähestyä paneelikenttää useammasta suunnasta, kentän ympäriajomahdollisuus ja mahdollisuudet päästä paneeliryhmien välille (katso lisätietoa luvusta 5.3.1 *Erillinen paneelikenttä*).



Kelluvan aurinkosähköjärjestelmän tulipalo Japanin Ichiharassa vuonna 2019. Palon aiheutti taifuuni, joka riepotteli ja pinosi paneeleja aiheuttaen järjestelmän ylikuumenemisen ja syttymisen. Liki 51 000 paneelin järjestelmä ehti olla käytössä puolitoista vuotta ennen taifuunin iskemistä. (PV-Magazine. 2019) (Kuva: Asahi.com)



Yllä: aurinkosähkövoimalan ja ruohikon tulipalon jäljet Englannissa Verwoodissa 11.7.2022 tapahtuneen palon jälkeen. (Kuva: yllä Max Willcock/BNPS)

Alla: aurinkosähkövoimalan muuntamon tulipalo Hollannissa Emmeloordissa 8.4.2020 (Kuva: Jeffrey Korte)



3.3 Pelastushenkilöstön työturvallisuusriskit ja vaikutus sammutustyöhön

Työturvallisuuden näkökulmasta aurinkosähköjärjestelmien riskit voidaan jakaa karkeasti kahteen osaan: itse järjestelmän aiheuttamiin työturvallisuusriskeihin ja riskeihin, jotka liittyvät palon leviämiseen ja sammutusraivauksen haasteisiin. Aurinkosähköjärjestelmä voi aiheuttaa hengenvaarallisen sähköiskun vaaran, mikäli järjestelmä on vikaantunut. Veden käyttäminen sammutustyössä voi vaikuttaa jännitteisiin ja lisätä riskiä sähköiskuille. Paneelistot, varsinkin lähelle kattoa asennetut, voivat nopeuttaa palon leviämistä. Paneelistosta voi johtua palotilanteessa hengenvaarallisia jännitteitä myös sähköä johtaviin katemateriaaleihin tai kattopinnoille kerääntyvän sammutusveden kautta. Aurinkosähköjärjestelmät telineineen ja tukirakenteineen voivat merkittävästi hidastaa sammutusraivauksia, mikä puolestaan voi lisätä tulipalon aiheuttamaa riskiä pelastushenkilöstölle.

Aurinkosähköjärjestelmistä on tunnistettu mm. seuraavia riskejä:

- Sähköiskut ja palovammat mahdollisesta kontaktista rikkoonuneisiin paneeleihin, johtoihin ja muihin järjestelmän osiin, myös sähköiskun johtuminen katemateriaalin tai suihkutettavan ja katolle kertyvän sammutusveden kautta. Myös vesisade voi lisätä sähköiskun vaaraa.
- Sarjaan kytketyt paneelit voivat tuottaa hengenvaarallisen jännitteen palotilanteessa jopa pelkästä keinovalaistuksesta, vaikka aurinkosähköjärjestelmä olisi irrotettu rakennuksen sähköverkosta
- Paneelit tuottavat sähköä niin kauan kuin ne saavat valoa (auringonvalo, keinovalo ja tulipalosta syntyvä valo). Paneelien peittäminen kankaalla on hankalaa ja voi aiheuttaa sähköiskun vaaran, eivätkä valoa estävät vaahdotteet pysy paneelien päällä. Sähköntuoton pysäyttäminen on erittäin hankalaa. (Läderberg 2017, s. 50-53)
- Pelastushenkilöstölle muodostuu työturvallisuusriski, mikäli aurinkosähköjärjestelmän tasasähköpuolen kaapeleita ei saada jännitteettömiksi rakennuksen ulkopuolelta. DC-kaapeleissa ei ole oikosulkusuojia ja niin kauan kuin paneelit tuottavat sähköä, voi kaapelin eristevaurio palotilanteessa aiheuttaa oikosulun ja tasasähkökaapeleiden välisen valokaaren. Jos paneelit tuottavat sähköä, valokaari ei sammua ennen kuin paneelit on erotettu sähköttömiksi. Valokaari voi johtua myös rakennukseen sisälle.
- Erityisesti katteeseen integroitu aurinkosähköjärjestelmä ja sen jännitteelliset osat voivat olla vaikeita havaita etenkin sammutustyön haastavissa olosuhteissa (huono näkyvyys tulipalossa, järjestelmän osat katolle kertyneen likaisen sammutusveden seassa, pimeys, jne.)
- Valokaaret, jotka voivat olla hengenvaarallisia, aiheuttavat palovammoja ja levittävät paloa
- Palon leviämisen nopeutuminen paneeliston muodostamissa onteloissa (hormivaikutus) ja myrkylliset palokaasut
- Aurinkopaneelistot voivat aiheuttaa ulkoseinillä ja kattopinnoilla leviävässä palossa katvealueita sammutusveden saamiseksi pinnoille ja esteitä sammutusraivaukselle. Tällöin paneelien alla olevaa tulipaloa voi olla vaikea sammuttaa koskematta paneeleihin. Sammutusveden saaminen palavaan onteloon voi olla haasteellista. Tulipaloon osallistuvien ja vaurioituneiden aurinkopaneelien käsittely ja purkaminen voi olla pelastushenkilöstölle jopa hengenvaarallista.
- Sortumat ja rakenteiden tai aurinkosähköjärjestelmän osien tippumiset eli aurinkosähköjärjestelmän painon vaikutus sortumisnopeuteen, mikäli rakenteet palon vuoksi ovat heikentyneet
- Akustopalojen vaikea sammutettavuus ja erittäin myrkylliset palokaasut
- Liukastumisen vaara kattopinnoilla olevien paneelien vuoksi



Sähköpalossa sammutustyössä katolle kertyvä vesi voi aiheuttaa pelastushenkilöstölle vakavan sähköiskun vaaran. Pelastushenkilöstö oli rakentanut kuormalavoista kulkusillat parantaakseen työturvallisuuttaan aurinkosähköjärjestelmän tulipalossa. (Kuva: Päijät-Hämeen pelastuslaitos)



Lapiolla rikottu aurinkopaneeli. Paneelin rikkominen ei katkaissut virtapiiriä, johon se oli kytketty, ja jännitteen tuotto jatkui kunnes kaapelit katkaistiin.

Kuva Satakunnan ammattikorkeakoulun *Aurinkosähköjärjestelmien turvallisuus palotilanteissa* -hankkeesta vuodelta 2021.

Sammutusveden saaminen aurinkopaneelien alla oleviin palaviin rakenteisiin voi olla hyvin vaikeaa etenkin, jos paneelit muodostavat laajan, yhtenäisen pinnan.

Kuva Ruotsista Laholmista hotellirakennuksen tulipalosta 22.8.2021 (Kuva: Roger Larsson)





Sammutustyön onnistumisen ja pelastushenkilöstön työturvallisuuden vuoksi on erittäin tärkeää jakaa paneelienttä osiin, joiden välissä on turvallista liikkua ja mahtuu työskentelemään. Suuren, yhteisen paneelienttän sammuttaminen on hyvin vaikeaa ja sisältää työturvallisuusriskejä. (Kuva: Cecil Daily)



Hollannissa Noordburgumissa tapahtui keväällä 2021 valtava tulipalo, jonka syttymissy on epäselvä. Rakennusta käytettiin puutavaran säilytykseen ja sen katolla oli 1600 aurinkopaneelia. Tulipalo tuhosi sekä varaston että viereisen maalaistalon. Aurinkopaneelit sirpaloituivat tulipalon voimasta ja niiden teräviä sirpaleita levisi savun mukana kilometrien päähän tulipalopaikasta laajoille alueille pilaten karjan laidunmaita. Tulipalo oli niin voimakas, että pelastuslaitoksen kalustoon tuli kuumuudesta vaurioita ja henkilöstö joutui sammutuksen ohella jäähdyttämään myös esimerkiksi nostolavayksikköään (PV-Magazine. 2021; Omrop Fryslân. 2021; Waldnet. 2021) (Kuva: CAMJO Media)

4 Säädökset

4.1 Yleiset vaatimukset

Aurinkosähköjärjestelmien rakentamista koskevat velvoittavat vaatimukset perustuvat maankäyttö- ja rakennuslakiin (MRL 132/1999) ja sen nojalla annettuun maankäyttö- ja rakennusasetukseen (MRA 895/1999) sekä ympäristöministeriön asetukseen rakennusten paloturvallisuudesta (YMa 848/2017) ja sen muutosasetukseen (YMa 927/2020).

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

Aurinkopaneelit asennetaan usein rakennusten katoille ja seinille, jolloin lain mukaan tarvitaan toimenpidelupa, koska kyseessä on niin kutsuttu julkisivutoimenpide. Mikäli toimenpidettä voidaan pitää vähäisenä, voi kunta määrätä rakennusjärjestyksessä, että toimenpidelupaa ei tarvita. (MRL 132/1999 126 a § 1 ja 2 mom)

Maankäyttö- ja rakennuslaissa tai -asetuksessa ei käsitellä aurinkosähköjärjestelmiä suoraan muutoin kuin niiden toimenpidevaraisuuden osalta; kaupunkikuvaan tai ympäristöön merkittävästi vaikuttavan aurinkopaneelin tai -keräimen asentaminen tai rakentaminen vaatii toimenpideluvan (MRL 132/1999 126 a §). Käytännössä toimenpiteiden luvanvaraisuudesta säädetään kuntakohtaisesti rakennusjärjestyksellä, jossa on huomioitu myös aurinkosähköjärjestelmien asennuksen mahdollinen luvanvaraisuus.

Mikrotuotantolaitteistoja (= teho enintään 50 kVA) suurempien aurinkovoimaloiden paloturvallisuusjärjestelyistä tulisi suunnitteluvaiheessa neuvotella myös pelastusviranomaisen kanssa.

Ympäristöministeriön asetuksen rakennusten paloturvallisuudesta (YMa 848/2017) perustelumuistion 28 §:ssä rakennuksen katteen paloturvallisuudesta määrätään seuraavaa:

Kate ei saa syttyä helposti naapurirakennuksen palosta. Palo ei saa levitä katteessa eikä sen alustassa vaaraa aiheuttavalla tavalla. Katteen on oltava BROOF(t2)-luokkaa. BROOF(t2)-luokkaan kuulumaton kate voidaan kuitenkin hyväksyä erilliseen tulisijattomaan rakennukseen tai erityistapauksessa muuhunkin rakennukseen, jos tästä ei aiheudu aluepalon vaaraa.

Suuret kattopinnat on jaettava enintään 2 400 neliömetrin osiin. Vaatimus ei koske tapauksia, joissa katteen alusta on vähintään A2-s1, d0 -luokkaa tai muita ratkaisuja, joiden paloturvallisuustasoa voidaan pitää hyväksyttävänä.

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 hyväksyttäviin katteisiin. Pelastushenkilöstön työturvallisuutta arvioitaessa otetaan huomioon sähköturvallisuus.

On huomioitava, että aurinkosähköjärjestelmiä voidaan toteuttaa myös muualle kuin rakennusten katoille, vaikka em. paloturvallisuusasetuksessa viitataan lähinnä kattoasennuksiin. Maankäyttö- ja rakennuslaki velvoittaa joka tapauksessa suunnittelemaan ja rakentamaan rakennukset paloturvallisiksi, rajoittamaan palon

syttymis- ja leviämisvaaraa sekä käyttämään rakentamisessa paloturvallisuuden kannalta soveltuvia rakennustuotteita ja teknisiä laitteistoja. Lisäksi em. laki määrää ottamaan pelastushenkilöstön turvallisuuden rakentamisessa huomioon. (MRL 132/1999 117 b §)

Mikäli hanke on rakennusluvan alainen, rakennusvalvontaviranomainen suorittaa luvassa määrätyt katselmuksset (käyttöönotto-/loppukatselmus). Tarvittaessa, lupavaiheessa sovitusti näihin osallistuu myös pelastusviranomainen.

Vaikka aurinkovoimalalle ei olisi edellytetty rakennusvalvontaviranomaisen lupaa, mikrotuotantolaitteistoja (=teho enintään 50 kVA) suuremmista aurinkosähköjärjestelmistä on suositeltavaa ilmoittaa pelastuslaitokselle ja varata mahdollisuus pelastusviranomaisen tarkastukselle ennen niiden käyttöönottoa.

4.2 Sähköturvallisuuslain vaatimukset

Aurinkosähköjärjestelmien sähköturvallisuutta koskevat velvoittavat vaatimukset perustuvat sähköturvallisuuslakiin (STL 1135/2016) ja sen nojalla annettuihin valtioneuvoston asetuksiin sähkölaitteistoista (VNa 1434/2016) sekä sähkötyöstä ja käyttötyöstä (VNa 1435/2016).

Sähkön tuotantoa sekä sähkönsiirtoa ja -jakelua säädellään sähkömarkkinalaissa (588/2013) ja valtioneuvoston asetuksessa sähkömarkkinoista (65/2009).

Sähkömarkkinalaki velvoittaa sähköverkonhaltijaa pyynnöstä liitettämään sähköverkkoonsa tekniset vaatimukset täyttävät sähkönkäyttöpaikat ja voimalaitokset. Tämä velvollisuus koskee myös pien- ja mikrotuotantolaitoksia kuten omakotitalojen aurinkosähköjärjestelmiä (Energiateollisuuden verkostosuositus YA9).

Sähköturvallisuuslakia sovelletaan sähkölaitteisiin ja -laitteistoihin, joita käytetään sähkön tuottamisessa, siirrossa, jakelussa tai käytössä ja joiden sähköisistä tai sähkömagneettisista ominaisuuksista voi aiheutua vahingon vaara tai häiriötä.

Aurinkosähköjärjestelmä on osa kiinteistön sähkölaitteistoa. Sähköturvallisuuslain vaatimukset koskevat siten myös aurinkosähköjärjestelmiä. Lain mukaan aurinkosähköjärjestelmä on suunniteltava, rakennettava, valmistettava ja korjattava niin sekä huollettava ja käytettävä käyttötarkoituksensa mukaisesti niin, että järjestelmästä ei aiheudu kenenkään hengelle, terveydelle tai omaisuudelle vaaraa.

Aurinkosähköjärjestelmiä koskevia tekniset vaatimukset on annettu sähköalan standardeissa. Tukes julkaisee luettelon (S10) niistä standardeista, joita noudattaen lain sähköturvallisuusvaatimusten katsotaan täytyvän. Sähköalan standardeja noudatetaankin lähes määräyksenomaisesti.

Aurinkosähköjärjestelmiä koskevia yksityiskohtaisia teknisiä vaatimuksia annetaan pienjännitesähköasennuksia koskevan standardisarjan SFS 6000 osassa Aurinkosähköiset tehonsyöttöjärjestelmät sekä verkon rinnalla toimivien mikrogeneraattoreille teknisiä vaatimuksia annetaan standardissa SFS-EN 50549-1:2019 EN. Standardeita noudattaen varmistetaan aurinkosähköjärjestelmien asennuksen ja käytön sähköturvallisuus.

Standardissa IEC 62548 määritellään aurinkopaneelistojen yleiset suunnitteluvaatimukset. Standardissa kuvataan mm. aurinkosähköjärjestelmän yleinen kokoonpano ja määritellään aurinkosähköpaneeliston peruskäsitteet. Maatelineisiin asennettujen suurten laitosten suunnitteluun annetaan lisäohjeita standardijulkaisussa IEC/TS 62738.

Muita aurinkovoimaloiden suunnittelussa huomioitavia julkaisuja ja ohjeita:

Generaattorilaitteistot:

- EU-komission asetus 2016/631
- Fingrid VJV 2018
- SFS-EN 50549-1:2019
- ET:n Sähkön pientuotannon tekniset vaatimukset (2021)
- Verkkoyhtiön ohjeet
- ST-kortisto:
 - o ST 55.32 Verkkoon kytketyt aurinkosähköjärjestelmät
 - o ST 55.36 Aurinkosähköjärjestelmän käyttöönottotarkastuspöytäkirja
- ST-käsikirja 40 Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu ja toteutus

4.3 Sähkötöiden tekeminen, käyttöönottovaiheen tarkastukset ja ilmoitukset

Aurinkosähköjärjestelmiä asentavalla toimijalla tulee olla sähköturvallisuuslain (1135/2016) mukainen oikeus kiinteistöjen sähköasennuksiin. Tukes pitää rekisteriä sähkötöihin oikeudet omaavista toiminnanharjoittajista.

Käyttöönottotarkastus ja pöytäkirja

Sähkölaitteisto voidaan ottaa käyttöön vasta, kun on varmistuttu, että se täyttää sitä koskevat turvallisuusvaatimukset. Sähköturvallisuuden varmistamiseksi on sähkölaitteistolle tehtävä aina käyttöönottotarkastus ennen laitteiston käyttöönottoa. Laitteiston rakentajan tulee huolehtia sähkölaitteiston käyttöönottotarkastuksesta ja laatia tarkastuksesta sähkölaitteiston haltijan käyttöön tarkastuspöytäkirja. Pöytäkirjasta tulee käydä ilmi kohteen yksilöintitiedot, sähkölaitteiston rakentajan ja sähkötöiden johtajan nimi ja yhteystiedot, selvitys sähkölaitteiston säännösten ja määräysten mukaisuudesta, sovelletut standardit, yleiskäyttö käytetyistä tarkastusmenetelmistä sekä tarkastusten ja testausten tulokset.

Aurinkosähköjärjestelmän käyttöönottotarkastus on kuvattu pienjännitesähköasennuksia koskevassa standardisarjassa SFS 6000 sekä aurinkosähköjärjestelmiä koskevassa standardissa SFS-EN 62446-1, jossa annetaan vaatimukset sähköverkkoon kytketyn järjestelmän dokumentaatiolle, kunnossapidolle ja testaamiselle.

Jos rakentamisessa on poikettu olennaisia turvallisuusvaatimuksia vastaavista standardeista tai julkaisuista, niin käyttöönottotarkastuspöytäkirjaan on liitettävä selvitys olennaisten turvallisuusvaatimusten täyttämiseksi valituista ratkaisuksista ja kuvaus siitä miten ratkaisut täyttävät olennaiset turvallisuusvaatimukset sekä tilaajan antama suostumus standardeista tai julkaisuista poikkeamiseen.

Tarkastuksen tekijän on allekirjoitettava tarkastuspöytäkirja tai varmennettava se muulla vastaavalla luotettavalla tavalla.

Sähkölaitteiston varmennustarkastus

Käyttöönottotarkastuksen lisäksi on sähköturvallisuuslaissa vaatimus ns. kolmannen osapuolen varmennustarkastuksen suorittamisesta. Varmennustarkastusta koskevat vaatimukset määräytyvät sähköturvallisuuslain mukaisesta sähkölaitteistoluokituksesta. Käyttöönottotarkastuksen lisäksi sähkölaitteiston varmennustarkastus on suoritettava paritaloa suuremmille asuinkohteille ja muille rakennuksille sekä näiden sähkölaitteistoihin kohdistuville merkittävälle muutos- ja laajennustöille, kun muutosalueen suojalaitteena toimivan ylivirtasuojan nimellisvirta on yli 35 A. Tällainen muutostyö mainitun virtarajan ylittyessä on esimerkiksi laitteiston laajentaminen aurinkosähköjärjestelmällä. Kohteissa, joihin vaaditaan nimettäväksi sähkölaitteiston käytön johtaja, on varmennustarkastusveloitteen rajana yli 250 A:n nimellisvirta.

Aurinkosähköjärjestelmän rakentajan velvollisuus on huolehtia käyttöönottotarkastuksen lisäksi varmennustarkastuksesta. Varmennustarkastuksen tekee valtuutettu tarkastaja tai valtuutettu laitos. Tarkastuksesta laaditaan sähköasennusten haltijalle luovutettava tarkastustoditus.

4.4 Sähkölaitteiston kunnossapito ja määräaikaistarkastus

Sähkölaitteiston kunnossapito

Sähkölaitteiston haltija (omistaja tai vuokralainen) on vastuussa laitteiston turvallisuudesta, sen ylläpitämiseksi tarvittavasta kunnossapidosta ja siitä, että laitteisto täyttää sähköturvallisuuslain vaatimukset. Samoin sähkölaitteiston haltijan on huolehdittava siitä, että laitteiston kuntoa ja turvallisuutta tarkkaillaan ja että havaitut puutteet ja viat poistetaan riittävän nopeasti.

Sähköturvallisuuden ylläpitämiseksi laajemmille sähkölaitteistoille (sähköturvallisuuslain laitteistoluokat 2 ja 3) on laadittava sähköturvallisuuden ylläpitävä kunnossapito-ohjelma. Muiden sähkölaitteistojen osalta ohjelma voidaan korvata laitteiden ja laitteistojen käyttö- ja huolto-ohjeilla.

Aurinkosähkölaitteistojen mm. ennakoivan ja korjaavan kunnossapidon erityiskysymyksiä käsitellään ja ohjeistetaan standardissa SFS-EN IEC 62446-2.

Aurinkosähkölaitteistojen kuntoa on tarkkailtava säännöllisesti osana sähkölaitteistoa. Esimerkiksi erityisen säärasituksen alla on paneelisto. Mikäli paneeli rikkoutuu, voi paneelin sisälle pääsevä vesi aiheuttaa hapettumista ja oikosulun. Jos johonkin järjestelmän osista kohdistuu ulkoinen vaurio, on vaurioitunut osa korjattava tai vaihdettava sähköiskun vaaran ja tulipaloriskin vuoksi. Jos järjestelmä vikaantuu, on se korjattava välittömästi ammattitaitoisen sähköurakoitsijan toimesta valmistajan ohjeen mukaisesti.

Sähkölaitteiston määräaikaistarkastus

Sähköasennusten kunnossapitoa täydentävät lakisääteiset käytönaikaiset määräaikaistarkastukset. Sähköturvallisuuden varmistamiseksi laissa määrätään sähkölaitteistolle tehtäväksi määräaikaistarkastukset sähkölaitteistoluokituksen mukaan. Määräaikaistarkastusvelvoite koskee muita kuin asuinrakennuksia, joissa ylivirtasuojan nimellisvirta on yli 35 A. Tarkastusväli on sähkönjakeluverkkojen osalta viisi vuotta ja muiden tarkastusvelvoitteen piiriin kuuluvien järjestelmien osalta kymmenen vuotta.

Määräaikaistarkastuksessa varmistutaan mm. siitä, että sähkölaitteiston käyttö on turvallista, kunnossapito on riittävää turvallisuuden ylläpitämiseksi ja laitteistolle on tehty kunnossapito-ohjelman mukaiset toimenpiteet.

Määräaikaistarkastuksen voi tehdä Tukesin nimeämä valtuutettu laitos tai valtuutettu tarkastaja. Tarkastuksen tekijän on laadittava määräaikaistarkastuksesta laitteiston haltijan käyttöön tarkastuspöytäkirja ja kiinnitettävä pääkeskukseen tai vastaavaan kohtaan laitteistoa tarkastustarra osituksena suoritetusta tarkastuksesta.

Sähköturvallisuuslainsäädäntö:

Sähköturvallisuuslaki (STL 1135/2016) 1 §, 2 §, 4 §, 6 §, 31 §, 33 §, 43 §, 44 §, 45 §, 46 §, 49 §, 50 §, 55 § ja 84 §

Valtioneuvoston asetus sähkölaitteistoista (VNa 1434/2016) 5 §, Liite; Sähkölaitteistojen olennaiset turvallisuusvaatimukset.

4.5 Laitteiston liittäminen sähköjakeluverkkoon

Jos aurinkosähköjärjestelmä kytketään sähköverkkoon, tulee siitä ilmoittaa alueen jakeluverkkoyhtiölle. Verkkoyhtiö pyrkii osaltaan vaikuttamaan käytön turvallisuuteen ja varmistumaan järjestelmän soveltuvuudesta liitettäväksi.

Jakeluverkon kanssa rinnan toimiva generaattorilaitteisto on varustettava laitteilla, joilla sen voi erottaa yleisestä jakeluverkosta. Näiden laitteiden on oltava jatkuvasti yleisen jakeluverkon haltijan käytettävissä. Erotuslaitteena voi toimia liittymän pääkytkin tai erillinen generaattorilaitteiston pääkytkin. Asiasta on sovittava liittymän haltijan ja jakeluverkkoyhtiön kesken.

Kohteissa, joissa on käytössä varavoimaa on varmistettava, ettei generaattori voi verkkohäiriötilanteessa toimia rinnan yleisen jakeluverkon kanssa. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi automatiikalla tai kolmiasentoisella vaihtokytkimellä, joka katkaisee verkkosyötön ennen kuin varavoimasyöttö kytkeytyy. Jos kiinteistössä on varavoiman lisäksi aurinkosähköjärjestelmä, on varmistettava, että mahdollisessa sähköverkon häiriötilanteessa varavoima toimii suunnitellulla tavalla aurinkosähköjärjestelmästä riippumatta. Tämä voidaan toteuttaa esim. estämällä ohjauksin aurinkosähköjärjestelmän vaihtosuuntaajaa käynnistymästä varavoimakäyttötilanteessa.

5 Määräykset ja suositukset aurinkosähköjärjestelmien turvallisuuden parantamiseksi

Edellä luvussa 4 on käsitelty aurinkosähköjärjestelmien suunnitteluun, lupavaatimuksiin ja sähköturvallisuuksivaatimuksiin liittyvät asiat. Tähän lukuun on koottu aurinkosähköjärjestelmien turvallisuuden parantamiseen liittyvät muut vaatimukset ja pelastusalan näkemyksen mukaisia pelastuslain 9 §:ään perustuvia suosituksia huomioitavista asioista pelastustoiminnan mahdollistamiseksi, pelastushenkilöstön työturvallisuuden huomioimiseksi ja hyvän paloturvallisuuden toteutumiseksi.

Aurinkosähköjärjestelmien standardissa SFS 6000-7-712:2022 todetaan: **”HUOM. On noudatettava kansallisia tai paikallisia paloturvallisuusvaatimuksia.”**

5.1 Järjestelmän tai sen osan erottaminen, merkinnät ja varoitukset

Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelussa ja toteutuksessa on noudatettava edellä luvussa 4 esitettyjä turvallisuusvaatimuksia. Lisäksi:

Erottaminen

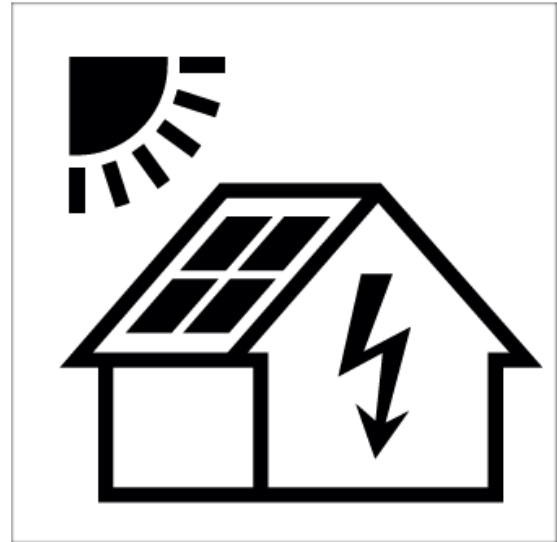
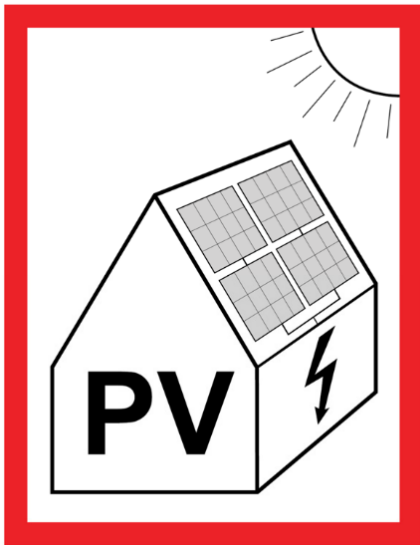
Vaihtosuuntaajan huollon ja vaihtamisen mahdollistamiseksi on oltava erotuslaitteet, joilla vaihtosuuntaaja voidaan erottaa tasasähköosasta ja vaihtosähköosasta.

Aurinkosähköjärjestelmässä tulee siten olla:

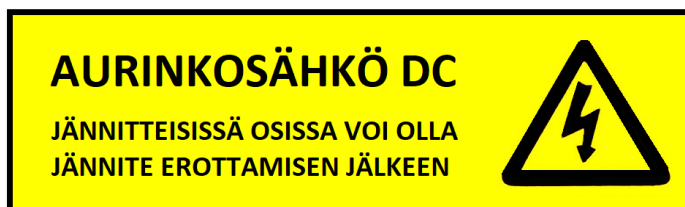
- Vaihtosähköosan AC-turvakytkin, jolla aurinkosähköjärjestelmä saadaan vaihtosuuntaajan jälkeen erotettua kokonaan irti kiinteistön sähköverkosta. Turvakytkin suositellaan sijoitettavaksi rakennuksen ulkopuolelle tai sähköpääkeskuksen välittömään läheisyyteen siten, että sille on pääsymahdollisuus jake-luverkkoyhtiöllä ja pelastustoiminnan yhteydessä
- Tasasähköosan (DC-osa) erotuslaitteet (erottamiseen soveltuva vaihtosuuntaajaan integroitu DC-kytkin tai erillinen DC-turvakytkin), joilla aurinkopaneelien tuottama jännite voidaan erottaa kiinteistön sähköverkosta. Kun vaihtosuuntaaja sammutetaan rakenteellisena osana olevasta DC-kytkimestä tai avataan AC-turvakytkin, voidaan DC-osa sen jälkeen virrattomana erottaa tasasähköpuolen kosketussuojatuista liittimistä, jolloin vaihtosuuntaajan huolto voidaan tehdä luotettavasti erotettuna.
- Erilliset DC-turvakytkimet ovat perusteltuja silloin, kun DC-kaapelit kulkevat pitkiä matkoja palosuojaamattomana rakennuksen sisällä.

Merkinnät ja varoitukset

- Aurinkosähköjärjestelmän sisältävä kohde edellytetään merkittäväksi kunnossapitohenkilöiden, tarkastajien, sähköverkon huoltohenkilöiden, pelastusalan henkilöiden, jne. turvallisuuden varmistamiseksi alla olevan kuvan mukaisella kilvellä. Merkintä on asennettava sähköasennuksen liittymiskohtaan tai sähköenergian mittauskohtaan, jos se on erillään asennuksen liittymiskohdasta ja sähkökeskukseen, jota syötetään vaihtosuuntaajasta. Näissä paikoissa merkin koon tulee tilan niin salliessa olla vähintään A5. (SFS 6000 vaatimus on mm. että merkkien ja kilpien on oltava luettavissa 0,8 m etäisyydeltä)



- Sähköverkkoon kytketyssä aurinkosähköjärjestelmässä syntyvästä vaarasta on varoitettava varoituskyltillä (kuvat yläpuolella).
- Aurinkosähköjärjestelmän kaapelit on merkittävä standardin mukaisesti.
- Tasasähköosan kaikissa luokse päästävissä jännitteisiä osia sisältävissä laitteissa, kuten sähkökeskuk- sissa ja liitäntäkeskuksissa on oltava pysyvä merkintä, joka ilmoittaa, että erottamisen jälkeen osissa voi olla edelleen jännite esim. tekstillä ”Aurinkosähkö DC – jännitteisissä osissa voi olla jännite erottamisen jälkeen”(kuva alla).



5.2 Pelastustoiminnan turvallisuuden ja paloturvallisuuden parantaminen

Pelastusalan näkemys huomioitavista asioista pelastustoiminnan mahdollistamiseksi, pelastushenkilöstön työturvallisuuden huomioimiseksi ja hyvän paloturvallisuuden toteutumiseksi:

- Tasasähköosan erotuslaitteet tulisi sijoittaa rakennuksen ulkopuolelle siten, että rakennuksen sisäpuoli saadaan jännitteettömäksi tulipalotilanteessa em. erotuskytkimistä. Tapauskohtaisesti pelastusviranomaisen kanssa sovitusti ne voidaan sijoittaa myös lähellä vaihtosuuntaajia olevaan sopivaan tekniseen tilaan.
- DC-kaapeleiden sijoittamista palaviin rakenteisiin ja pitkinä asennuksina rakennuksen sisäpuolelle tulisi välttää.
- Aurinkosähköjärjestelmän paneelien välinen sarjaankytkentä suositellaan toteutettavaksi siten, että se on erotettavissa rakennuksiin sijoitetuissa järjestelmissä käyttämällä sarjaankytkennän erotuskytkimiä.
- Sarjaankytkennän erotuskytkimet tulisi sijoittaa pelastuslaitokselle helposti saavutettavaan paikkaan, esimerkiksi kiinteistön paloilmoitinkeskuksen, savunpoistokeskuksen tai pelastusviranomaisen kanssa sovitun sammuksenreitien läheisyyteen.
- Kaikkien turvakytkinten taustalle ja alle on suositeltavaa asentaa palamatonta materiaalia, ellei alusta itsessään ole palamatonta. Esimerkiksi julkisivuun sijoitetun kytkimen vikaantuminen voi herkästi aiheuttaa palon leviämisen rakennuksen seinä- ja räystäsrakenteisiin.
- Kaikkien kytkinten sijaintipaikat suositellaan opastettaviksi heijastavilla kilvillä ja merkittäväksi kiinteistön aurinkosähköjärjestelmän kohdekorttiin (ks. luku 5.6.).
- Aurinkosähkökohteissa olevien opasteiden ja merkintöjen tulisi olla pelastuslaitoksen tulosuuntaan riittävän kokoisina, jotta ne näkyvät pelastustoiminnan kannalta turvallisen etäisyyden päähen. Mikäli kiinteistön pihaliittymässä on osoitemerkintöjä selventävä opastaulu, suositellaan pelastustoiminnan kannalta oleelliset aurinkosähköjärjestelmän tiedot laitettavaksi myös siihen.
- Varoitusmerkinnät on suositeltavaa lisätä myös rakennuksen talotikkaiden juurelle, katolle johtaviin ulkoportaisiin ja kaikkiin oviin, joista kuljetaan katolle.
- Jos kiinteistössä on sekä aurinkosähköjärjestelmä että varavoimakone, tulisi varmistaa, että sähköverkon häiriötilanteessa varavoima toimii suunnitellulla tavalla aurinkosähköjärjestelmästä riippumatta.

5.3 Aurinkosähköjärjestelmien sijoittaminen

Pelastusalan näkemys huomioitavista asioista pelastustoiminnan mahdollistamiseksi, pelastushenkilöstön työturvallisuuden huomioimiseksi ja hyvän paloturvallisuuden toteutumiseksi:

- Tulipalossa aurinkopaneelien alumiiniseoksesta tehdyt kehykset saattavat sulaa jo ennen kuin paneeli lakkaa tuottamasta virtaa. Mikäli aurinkopaneeli on asennettu alustalle, joka ei ole palamaton, tulisi palon leviäminen pisaroiden välityksellä estää esimerkiksi tarkoitukseen soveltuvalla palamattomalla alustalla tai sijoittamalla paneelit siten, ettei pisarointi vaikuta palon etenemiseen.
- Aurinkosähköjärjestelmän (erityisesti paneeliston) kiinnityksen mitoituksessa tulisi huomioida tarvittaessa myös poikkeukselliset tuuli- ja lumikuormat.
- Jos aurinkopaneelit ovat palavatarvikkeisia ja niitä on ulkoseinä- tai kattoasennuksissa laaja pinta-ala, ne voidaan tulkita palavina ulkoseinä- tai kattopintoina, jolloin niille tulee vaatimuksia ympäristöministeriön asetuksesta rakennusten paloturvallisuudesta (YMa 848/2017 ja YMa 927/2020, 25 §, 26 §, 28 § ja taulukko 8 sekä YMa perustelumuistio sivu 30).
- PO-paloluokan rakennuksiin palavatarvikkeisia paneeleja ei tulisi asentaa ilman selvitystä niiden vaikutuksesta rakennuksen paloturvallisuuden erityissuunnitteluun, koska aurinkosähköjärjestelmällä on suuri vaikutus rakennuksen kokonaisturvallisuuteen (katso luku 3.2 *PO-paloluokka*).
- Paloturvallisuuden näkökulmasta olisi suositeltavinta toteuttaa aurinkosähköjärjestelmä siten, että se on rakennuksesta erillään.

Jos paneelit ovat palavatarvikkeisia, niitä ei tulisi asentaa (vrt. PelL 10 § ja YMa 848/2017 26 § ja 31 §):

- uloskäytävien (ulko-ovet, porrashuoneiden ovet, jne.) välittömään läheisyyteen, suositellaan vähintään 4 metrin etäisyyttä em. kohteista
- avoimiin uloskäytäviin (ulkoportaat, luhtikäytävät, jne.) tai niiden välittömään läheisyyteen, suositellaan vähintään 4 metrin etäisyyttä näihin kohteisiin
- varateinä toimiville parvekkeille
- varateinä toimivien ikkunoiden ja parvekkeiden ylä- tai alapuolelle
- varateinä toimivien ikkunoiden ja parvekkeiden sivulle, suositellaan sivusuunnassa vähintään 4 metrin etäisyyttä näihin kohteisiin.

5.3.1 Erillinen voimalakenttä

Pelastusalan näkemys huomioitavista asioista pelastustoiminnan mahdollistamiseksi, pelastushenkilöstön työturvallisuuden huomioimiseksi ja hyvän paloturvallisuuden toteutumiseksi:

Mikrotuotantolaitteistoja (= teho enintään 50 kVA) suurempien paneelikenttien osalta pelastustoiminnan järjestelyistä on hyvä neuvotella paikallisen pelastusviranomaisen kanssa jo suunnitteluvaiheessa.

Palon leviämisen rajoittamiseksi ja palovahinkojen pienentämiseksi mikrotuotantolaitteistoja (= teho enintään 50 kVA) suuremmat voimalakentät tulisi sijoittaa vähintään 8 metrin etäisyydelle rakennuksista. Jos voimalakenttä on tarpeen sijoittaa lähemmäs rakennuksia, tulisi voimalakenttään päin olevan julkisivun olla palamattomista materiaaleista ja sen tulisi täyttää rakennuksen paloluokan mukainen osastointivaatimus.

Pelastustoiminnan kannalta tällaisen voimalakentän sijoituksessa tulisi huomioida myös:

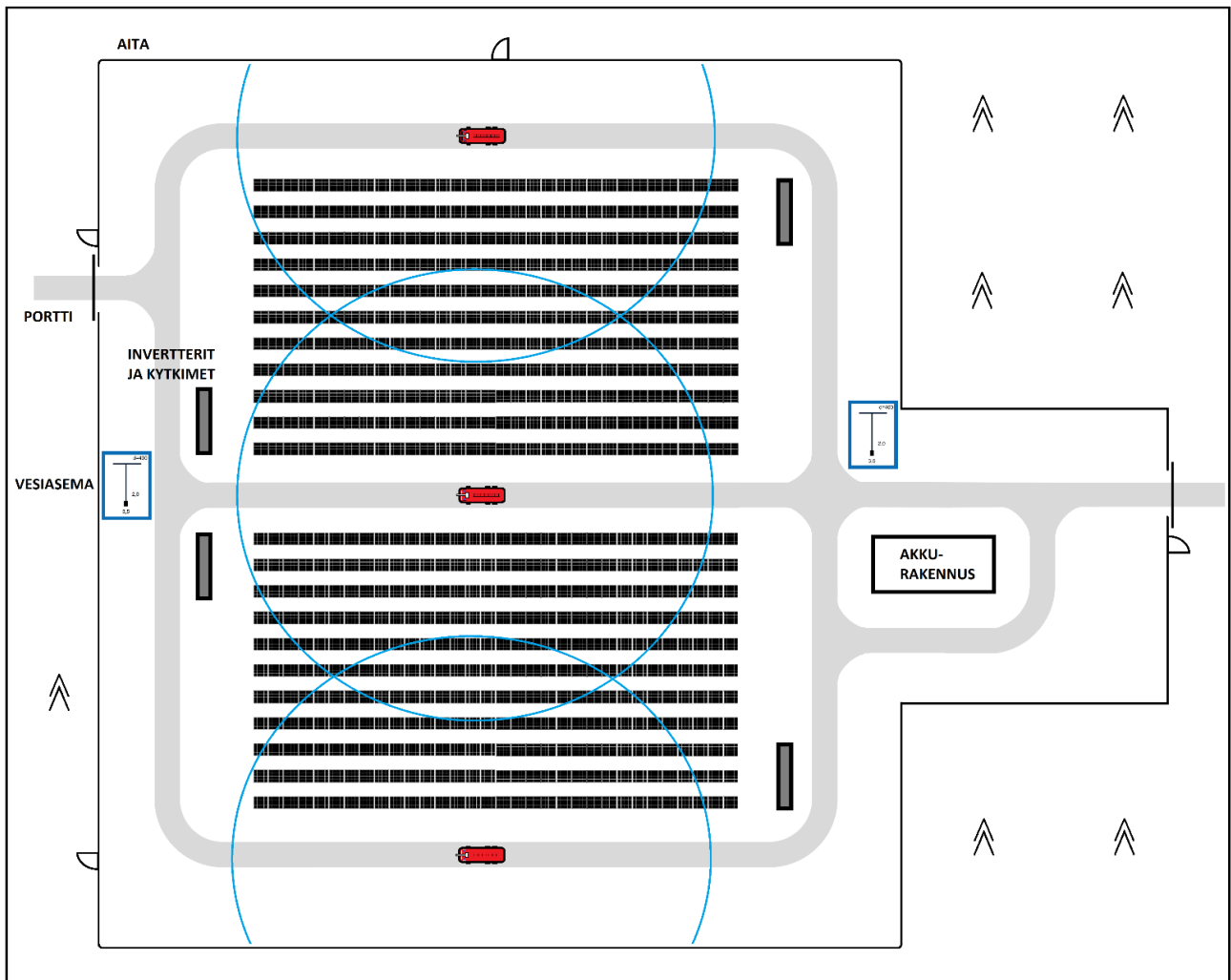
- lähestymisreitit voimalakentälle useammasta suunnasta
- pelastustien mitoituksen täyttävät ajoväylät voimalakentälle sekä
- mahdollisuus kiertää kenttä ja paneeliryhmät ympäri raskaalla ajoneuvokalustolla.

Paneelikentille tulisi muodostaa myös palon sammuttamisen ja rajoittamisen mahdollistavat rajoituslinjat ja ajoväylät paneeliryhmien välille. Laajoissa paneelikentissä tulisi olla sammutusauton pelastustien mitoituksen täyttävät ajoväylät vesitykkikantaman (esim. noin 25-30 m) etäisyydelle paneeleista. Lisäksi suositellaan järjestettäväksi mahdollisuuksien mukaan sammutusveden saanti voimalakentän molempien lähestymisreittien varrelle. Jos alueen normaali sammutusvesiverkosto ei tätä mahdollista, sovitaan erityisjärjestelyistä pelastusviranomaisen kanssa.

Erillisen voimalakentän vaihtosuuntaajat ja kytkimet tulisi sijoittaa paneelikentän reunalle helposti saavutettavaan paikkaan, riittävälle etäisyydelle aurinkopaneeleista. Sijoituspaikan olisi suositeltavaa olla säältä suojattu.

Pääsy voimalakentälle tulisi estää ilkeivallan ehkäisemiseksi ja henkilöturvallisuuden vuoksi, mikäli siellä voi esiintyä hengenvaarallisia jännitteitä. Mahdollisista aitausjärjestelyistä tulisi neuvotella paikallisen pelastusviranomaisen kanssa, jotta alueelle saadaan tarkoituksenmukaiset ajo- ja kulkureitit sammutustyötä varten.

Paneelikentän mahdollisen aluskasvillisuuden osalta tulisi huomioida, että se voi lisätä palon leviämisen riskiä. Palamaton alusta on suositeltavin. Palavan aluskasvillisuuden poisto tulisi huomioida riittävän laajalla alueella myös paneelikentän ympärillä maastopalovaaran ehkäisemiseksi.



Esimerkkikuva suositeltavista erillisen aurinkovoimalan paloturvallisuusjärjestelyistä.

5.3.2 Sijoitus katolle

Katso aurinkopaneelien sijoituksessa huomioitavat yleiset asiat luvusta 5.2.

Vaatimukset

Aurinkosähköjärjestelmien kattoasennuksissa tulee huomioida asetuksen rakennusten paloturvallisuudesta (YmA 927/2020) 28 §:n katteita koskevat vaatimukset.

Katteeseen integroidut aurinkopaneelit (BIPV) tulkitaan yleensä rakennustarvikkeiksi, joten niiden osalta tulee noudattaa yllä mainittuja vaatimuksia.

Aurinkopaneelit eivät saa oleellisesti lisätä palon leviämisen vaaraa katteessa eikä sen alustassa (YmA 848/2017 perustelumuistio 28 §).

SFS 6000-7-712.420.101 mukaan: ”Vaihtosuuntaajien ja tasasähköerotuskytkimien taustalla ja alla on oltava palamatonta materiaalia esim. sementtikuitulevyä, ellei asennusalusta itsessään ole palamatonta. Mikäli palamatonta materiaalia on hyvin lämpöä johtavaa, tulee materiaalin ja puurakenteisen asennusalan väliin jättää vapaa tuulettuva ilmatila, jonka avulla estetään lämpöjohtumisesta johtuvasta pyrolyysistä aiheutuva asennusalan suurempi syttymisherkkyys.”

Pelastusalan näkemys huomioitavista asioista pelastustoiminnan mahdollistamiseksi, pelastushenkilöstön työturvallisuuden huomioimiseksi ja hyvän paloturvallisuuden toteutumiseksi:

Asennettaessa aurinkosähköjärjestelmä rakennuksen katolle tulisi katteen materiaalin olla vähintään BROOF(t2) -luokkaa.

Rakennuksen katon ja siihen asennetun laajan yhtenäisen paneelikentän väliin voi muodostua onteloraenne, jossa tulipalo voi edetä odottamattomalla tavalla etenkin harjakatoilla (hormivaikutus). Muodostuvan ontelorakenteen vuoksi tulipaloa voi olla myös vaikea sammuttaa koskematta paneeleihin. Sammutusveden saaminen palavaan onteloon voi olla mahdotonta. Tulipaloon osallistuvien ja vaurioituneiden aurinkopaneelien käsittely ja purkaminen voi olla pelastushenkilöstölle hengenvaarallista. Katon paneelikenttää suunniteltaessa on syytä ottaa nämä riskit huomioon ja tarvittaessa rajoittaa yhtenäisen paneelikentän kokoa.

Suurille paneelikentille tulisi muodostaa rajoituslinjoja sammutustyön mahdollistamiseksi. Rajoituslinjat on suositeltavaa tehdä alapuolisten palo-osastojen mukaan. Yhtenäisen paneelikentän suositeltava enimmäiskoko katolla on 20 x 20 metriä ja kenttien väliin tulisi jättää vähintään 2 metrin levyinen käytävä.

Katoille sijoitettavien aurinkosähköjärjestelmien suunnittelussa tulisi huomioida mahdollinen paloturvallisuussyistä tehty kattopintojen osiin jako ja niiden asennuksessa tulisi noudattaa samaa osiin jakoa kuin rakennuksen kattopinnoissa on noudatettu (vrt. YMa 28 §). Aurinkosähköjärjestelmän ei tulisi heikentää kattopinnan osiin jakoa. Pystysuuntaisen palokatkon tulisi ulottua vähintään 0,5 metriä aurinkopaneelin tai järjestelmän osan yläpuolelle. Ellei korkeussuositus täyty, suositeltava etäisyys palokatkosta on vähintään 2,5 metriä. Mikäli kate on jaettu osiin vaakasuoralla palokatkolla, ei aurinkosähköjärjestelmän osia tulisi sijoittaa tälle alueelle. (vrt. RIL 195-1-2018 kuva 5.11)

Palomuurin ja palavatarvikkeisten paneelien sekä muiden kiinteiden asennusten väliin suositellaan jättämään vähintään 2,5 metriä vapaata tilaa. Palomuurin ylitykset suositellaan tehtäväksi esimerkiksi palonkestävällä koteloinnilla.

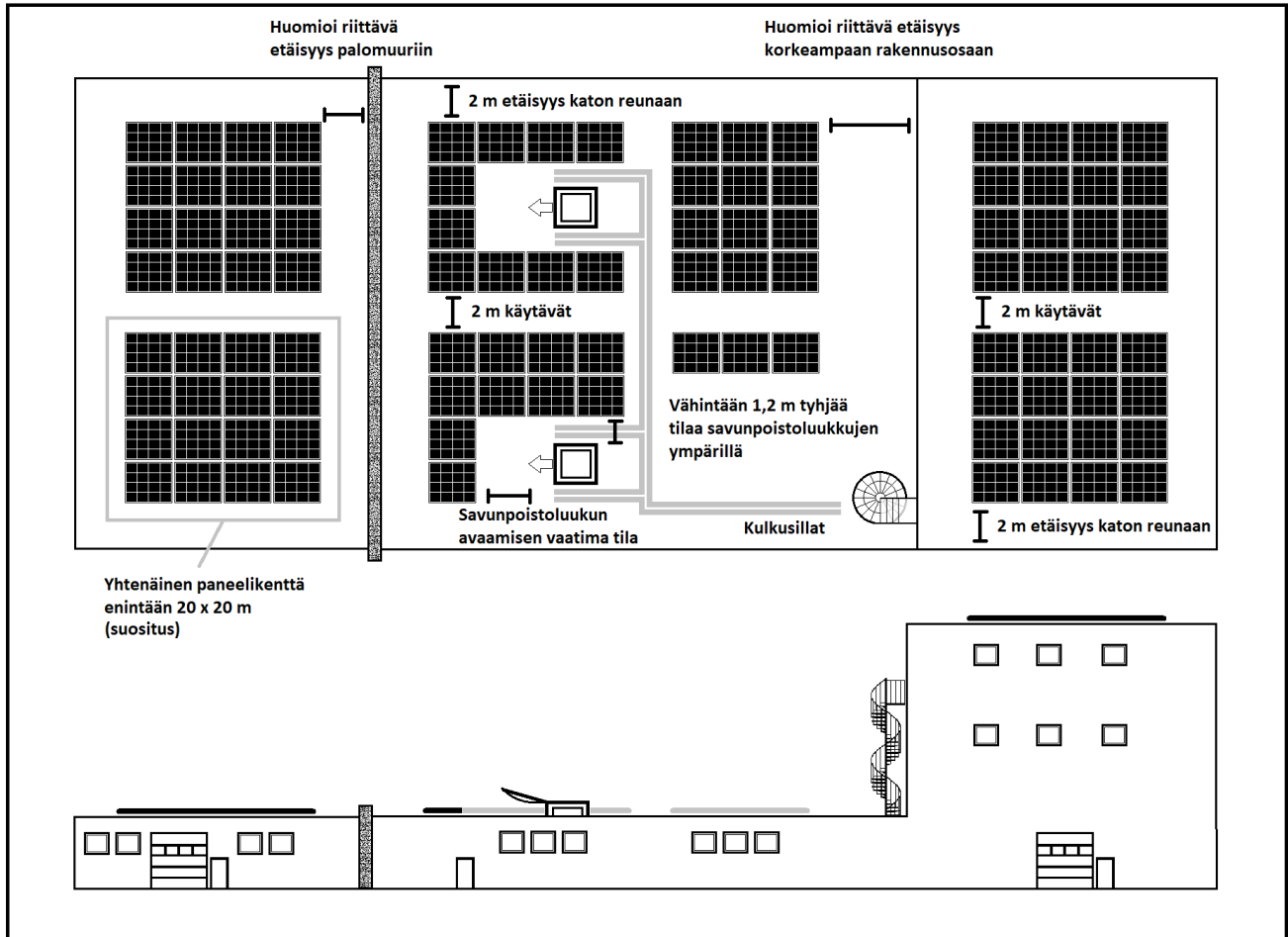
Mikäli rakennuksessa on eri tasoja (kuten rakennuksen matalamman osan kattotasanne, jonne asennetaan aurinkosähköjärjestelmä), suositellaan katolla olevien palavatarvikkeisten aurinkosähköjärjestelmän osien ja seinän väliin jättämään 4 metriä tyhjää tilaa.

Aurinkopaneelien ja katon reunan väliin suositellaan jättämään vähintään 2 metriä etäisyyttä putoamissuojauksen takia.

Yllä olevia etäisyyksiä suositellaan noudatettavan myös katemateriaaliin integroiduille aurinkopaneeleille, jos ne sisältävät palavaa materiaalia.

Mikäli aurinkopaneelit sijoitetaan tasakatolle, jonne sammutustyön johdosta voi kertyä vettä lammikoiksi lisäten sähköiskun vaaraa, suositellaan pelastushenkilöstön työturvallisuuden parantamiseksi rakentamaan katolle kulkusillat sähköä huonosti johtavasta materiaalista. Kulkusillat suositellaan asentamaan aurinkosähköjärjestelmän osien välisiin käytäviin ja niitä pitkin tulisi olla kulkumahdollisuus aurinkosähköjärjestelmän katolla sijaitseville kytkimille ja muihin pelastustoiminnan kannalta kriittisiin kohteisiin (uloskäytäviin, portaakkoihin, tikkaille, savunpoistoluukuille, sammutusvesiputkistojen vedenottoliittimille ym.). Kulkusiltojen suositeltava minimileveys on 900 mm ja niiden tulisi olla vähintään 300 mm irti kattopinnasta.

Myös katolla sijaitsevat mahdolliset savunpoistojärjestelyt tulisi huomioida aurinkopaneelien sijoituksessa, ks. luku 5.3.4.



Suosituksia katolla huomioitavista etäisyyksistä aurinkopaneelien sijoituksessa.



Aurinkopaneeleja ei tulisi asentaa puiselle katolle tai viherkatolle, jotka eivät yleensä täytä Broof(t2) -luokkaa (Kuva vasemmalla: Droomhuis ja kuva oikealla: Pia Zanetti)

5.3.3 Sijoitus ulkoseinälle

Katso aurinkopaneelien sijoituksessa huomioitavat yleiset asiat luvusta 5.2.

Vaatimukset

Aurinkosähköjärjestelmien sijoittelussa ulkoseinille tulee huomioida asetusten rakennusten paloturvallisuudesta (YmA 927/2020 ja YmA 848/2017) 25-26 § pintakerrosvaatimukset. Taulukossa 8 on esitetty ulkoseinän ulkopinnan ja tuuletusvälin pintojen luokkavaatimukset.

Seinäpintaan integroidut aurinkopaneelit (BIPV) tulkitaan yleensä rakennustarvikkeiksi, joten niiden osalta tulee noudattaa yllä mainittuja vaatimuksia.

Ulkoseinissä tulee huomioida myös em. ympäristöministeriön asetuksen 21 § vaatimus: "Palo ei saa levitä ulkoseinän tai parvekkeen kautta palo-osastosta toiseen määrätyn ajan kuluessa." Katso tähän liittyvät suositukset jäljempänä.

SFS 6000-7-712.420.101 mukaan "Vaihtosuuntaajien ja tasasähköerotuskytkimien taustalla ja alla on oltava palamatonta materiaalia esim. sementtikuitulevyä, ellei asennusalusta itsessään ole palamatonta.

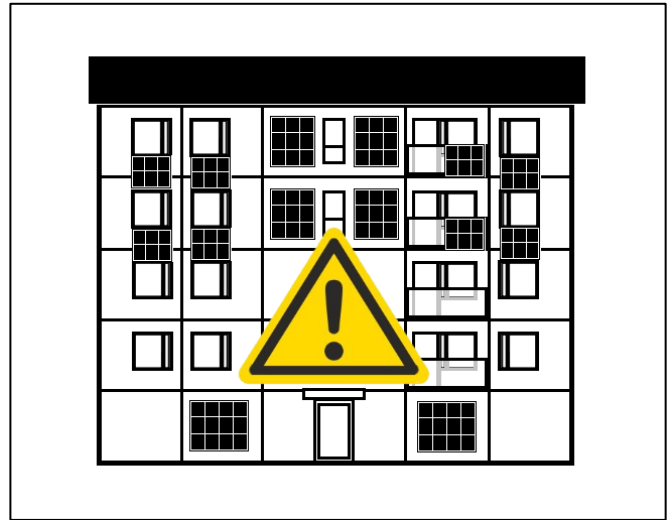
Mikäli palamatonta materiaalia on hyvin lämpöä johtavaa, tulee materiaalin ja puurakenteisen asennusalustan väliin jättää vapaa tuulettuva tila, jonka avulla estetään lämpöjohtumisesta johtuvasta pyrolyysistä aiheutuva asennusalustan suurempi syttymisherkkyys."

Pelastusalan näkemys huomioitavista asioista pelastustoiminnan mahdollistamiseksi, pelastushenkilöstön työturvallisuuden huomioimiseksi ja hyvän paloturvallisuuden toteutumiseksi:

Ulkoseinällä olevien paneelien laajojen osien putoamista palon sattuessa tulisi rajoittaa henkilöturvallisuuden ja pelastustoiminnan työturvallisuuden varmistamiseksi.

Rakennuksen ulkoseinän ja siihen asennetun laajan yhtenäisen paneelikentän väliin voi muodostua ontelorakenne, jossa tulipalo voi edetä odottamattomalla tavalla varsinkin pystysuunnassa (hormivaikutus). Tällaisessa ontelossa olevaa tulipaloa voi olla myös vaikea sammuttaa koskematta paneeleihin. Sammutusveden saaminen palavaan onteloon voi olla mahdotonta. Tulipaloon osallistuvien ja vaurioituneiden aurinkopaneelien käsittely ja purkamisen voi olla pelastushenkilöstölle hengenvaarallista. Ulkoseinän paneelikenttää suunniteltaessa on syytä ottaa nämä riskit huomioon ja tarvittaessa rajoittaa yhtenäisen paneelikentän kokoa.

Aurinkopaneelien alla olevan ulkoseinän suositellaan olevan palamattomista tarvikkeista ja täyttävän rakennuksen paloluokan mukaisen palo-osastointivaatimuksen. Tällöin myös palavatarvikkeinen paneelikenttä voi olla kooltaan laajempi.



Vasemmalla: esimerkki palamattomasta ja palo-osastointivaatimuksen täyttävästä ulkoseinästä paneeliryhmän taustalla. (Kuva: Kiinteistölehti, 2016)

Oikealla: julkisivuun asennettavia aurinkopaneeleja ei tulisi asentaa varateinä toimivien ikkunoiden ja parvekkeiden lähelle, sillä ne voivat vaarantaa varateiden käytön. Aurinkopaneelit eivät myöskään saisi edistää palon leviämistä julkisivusta ullakkoon.

Rakennuksen ulkoseinillä paneelientä tulisi jakaa riittävän pieniin osiin, jos paneelit tai ulkoseinät ovat palavatarvikkeisia. Paneeliryhmän maksimikoko tulisi suunnitella palon rajoittamisen kannalta kohteen erityispiirteiden mukaan. Suositeltava enimmäiskoko voisi olla esimerkiksi pystysuunnassa 3 m ja vaakasuunnassa 20 m.

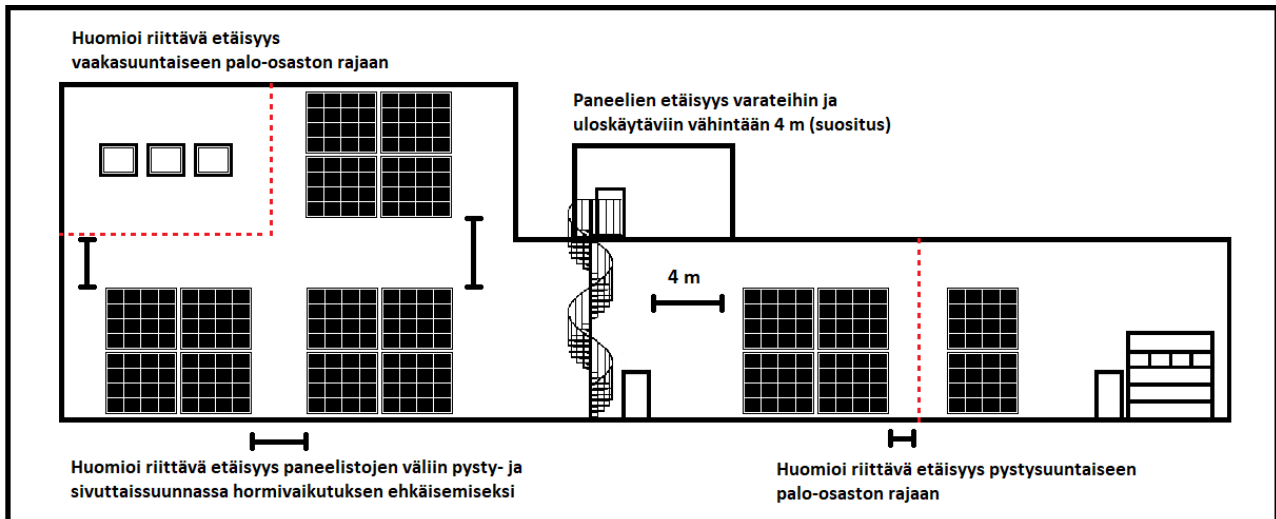
Paneeliryhmien välillä tulisi huomioida myös riittävät etäisyydet pysty- ja vaakasuunnassa hormivaikutuksen ehkäisemiseksi ja palon rajoittamisen mahdollistamiseksi. Paneelien sijoitussuunnittelussa tulisi huomioida tarvittavat etäisyydet myös uloskäytäviin ja varateihin (ks. myös luku 5.3.).

Ulkoseinään asennettavassa aurinkopaneelientä tulisi huomioida myös rakennuksen palo-osastointi. Paneelit eivät saisi edistää palon leviämistä rakennuksen palo-osastosta toiseen ulkoseinän kautta. Palavatarvikkeiset paneelit voivat vaikuttaa palon leviämiseen ulkoseinällä. Palamattomienkin paneelien alle voi muodostua palavatarvikkeisella ulkoseinällä ontelo, joka vaikuttaa palon leviämiseen.

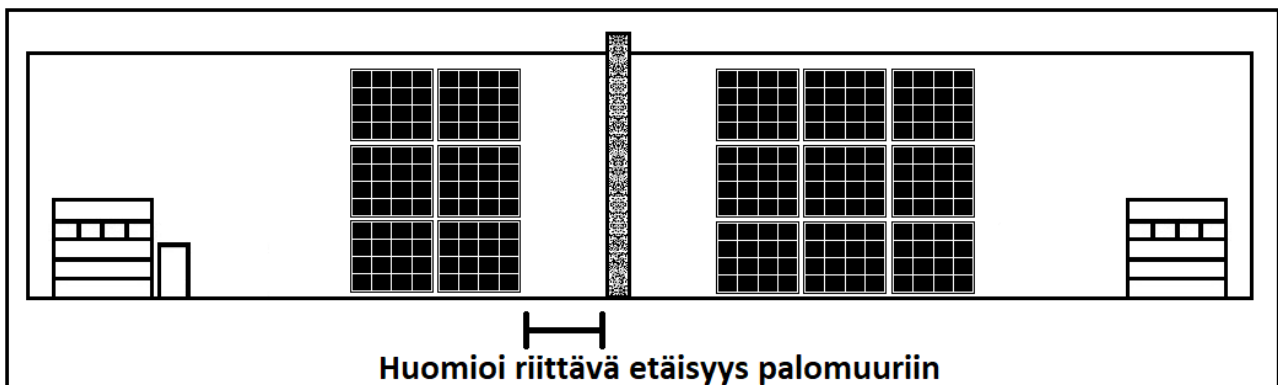
Ulkoseinään rajoittuvat palo-osastot ja palomuurit on syytä huomioida suunnittelussa ympäristöministeriön asetuksen rakennusten paloturvallisuudesta (848/2017) perustelumistion 21 § mukaisesti. Seuraavia asioita suositellaan huomioitavaksi:

- ulkoseinään rajoittuvien vierekkäisten palo-osastojen osaston rajan kohdalle ei tulisi sijoittaa aurinkovoimalan osia, jos paneelit tai ulkoseinät ovat palavatarvikkeisia
- ulkoseinällä palo-osaston rajan tai palomuurin kohdalla aurinkovoimalan osien etäisyys toisistaan tulisi olla vähintään 1 m, jos osastoivuusvaatimus on EI 90 tai enemmän
- ulkoseinässä aurinkovoimalan osia ei tulisi sijoittaa niin, että ne edistävät palon leviämistä yläpuolisiin osastoihin ovien, ikkunoiden ja muiden aukkojen kautta (vrt. perustelumistion ns. 1 m sääntö)

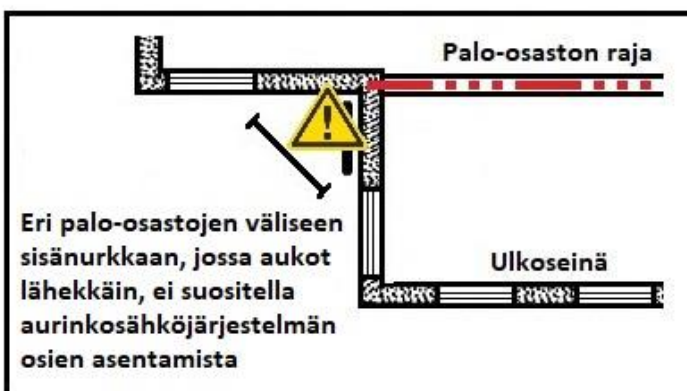
- jos aurinkovoimalan osia sijoitetaan sisänurkkaan, jossa on osastoraja ja seinien välinen kulma on alle 135° , aurinkovoimalan osia ei tulisi sijoittaa niin, että ne edistävät palon leviämistä viereiseen osastoon ovien ja ikkunoiden kautta.



Kuva: Esimerkkejä paloturvallisuuden huomioimisesta ulkoseinälle asennettavissa paneelikentissä.

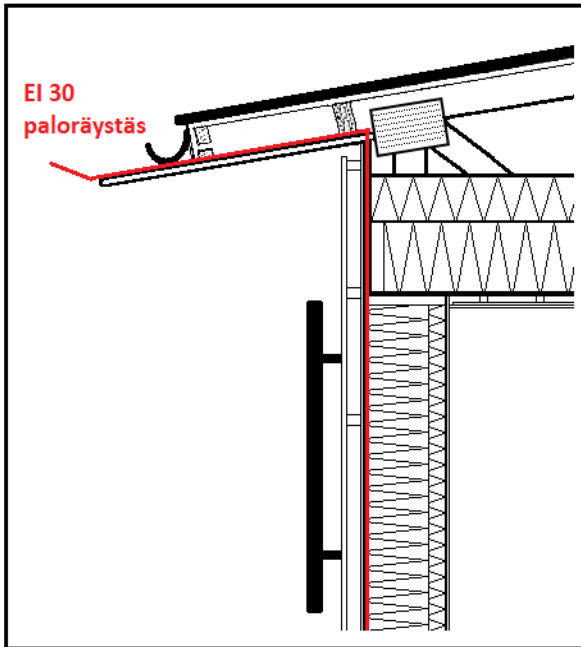


Kuva: Julkisivuun sijoitettujen aurinkopaneelien välinen etäisyys tulisi huomioida, jos osastoivan seinän tai palomuurin osastointivaatimus on EI 90 tai enemmän.



Kuva: Aurinkovoimalan osia ei tulisi sijoittaa ulkoseinän sisänurkkaan niin, että ne edistävät palon leviämistä viereiseen osastoon ovien ja ikkunoiden kautta.

Ulkoseinällä leviävä palo ei saa päästä julkisivusta räystäään alle, ullakolle ja kattorakenteisiin, jos ullakko on rakennettu omaksi palo-osastoksi. Palavatarvikkeisten aurinkopaneelien sijaitessa lähellä räystästä tai ullakkoa, tulisi huomioida ympäristöministeriön asetuksen määräykset ulkoseinäpinnoista (YmA 927/2020 26 §). Tällöin palon leviämistä julkisivusta ullakkoon ja yläpohjan onteloon suositellaan rajoitettavaksi niin, että se vastaa EI30-luokan rakennusosaa. (YmA 927/2020 taulukko 8 alaviite 4)



Vasemmalla: Aurinkopaneeli palavatarvikkeisella ulkoseinällä. Havainnekuva suositeltavan paloräystään periaatteesta.

Oikealla: Aurinkosähköjärjestelmän komponenttien tulipalon aiheuttamat vauriot rakennuksen julkisivussa. (Kuva: Päijät-Hämeen pelastuslaitos)

5.3.4 Muun paloturvallisuuteen vaikuttavan tekniikan huomioiminen

Pelastusalan näkemys huomioitavista asioista pelastustoiminnan mahdollistamiseksi, pelastushenkilöstön työturvallisuuden huomioimiseksi ja hyvän paloturvallisuuden toteutumiseksi:

Savunpoisto

Savunpoistoluukkujen ja muiden aukkojen ympärille suositellaan jätettävän vähintään 1,2 metriä vapaata tilaa (vastaa NFPA 1 -standardin vaatimuksia) ja luukun avaamissuuntaan avaamisen mahdollistava vapaa tila. Vanhojen katolta käsin avattavien savunpoistoluukkujen ympärillä tulisi olla joka suuntaan vähintään 2 metriä vapaata tilaa ja luukun avaamissuuntaan avaamisen mahdollistava vapaa tila. Luukkujen tulisi olla helposti saavutettavissa, käytettävissä ja huollettavissa käytävien avulla. (katso luku 5.2.2 *Sijoitus katolle*)

Ilmanvaihto

Suurissa rakennuksissa aurinkosähköjärjestelmän osia ei tulisi asentaa ilmanottoaukkojen läheisyyteen eikä niiden alapuolelle. Mikäli tämä ei ole mahdollista, tulisi raitisilmakanava varustaa mahdollisuuksien mukaan savuun reagoivin palonrajoittimin, jotta ilmanvaihtolaitteisto ei levitä palosta aiheutunutta savua koko rakennukseen. (katso luku 3.2. *Ilmanvaihdon huomioiminen*)

5.4 Akut ja akustotilat

Vaatimukset

Akut on standardin SFS 6000 mukaan sijoitettava riittävän suojattuun tilaan, esimerkiksi erillisiin akkuhuoneisiin, kaappeihin tai koteloihin tai sähkötiloissa erillisille akkuja varten erotetuille alueille. Tiloissa on oltava riittävä ilmanvaihto. Sijoittelussa on huomioitava ulkoiset vaarat (tulipalo, ilkeävalta, mekaaninen vaurioituminen yms.) ja akun itsensä aiheuttamat vaarat (jännite, korroosio yms). Akkuhuoneet on merkittävä vaarallisuudesta jännitteestä varoittavalla merkillä, ja merkillä joka kieltää avotulen teon ja tupakoinnin. (SFS 6000 570.6.3, Liite 57C).

Sähköturvallisuusmielessä akkujen ja akustojen suhteen on huomioitava, että navoissa voi aina olla jännite. Kaikissa akkuihin liittyvissä toimenpiteissä on otettava tämä huomioon (SFS 6000 570.6.1.1).

Akkujen varastoinnissa tulee huomioida valmistajan ohjeet. Tiedot varastointivaatimuksista tulee pyytää akkutoimittajalta jo suunnitteluvaiheessa.

Pelastusalan näkemys huomioitavista asioista pelastustoiminnan mahdollistamiseksi, pelastushenkilöstön työturvallisuuden huomioimiseksi ja hyvän paloturvallisuuden toteutumiseksi:

Akustotila suositellaan sijoitettavaksi rakennuksesta erilleen, helposti saavutettavaan paikkaan ja vähintään 8 metrin etäisyydelle.

Tulipalotilanteessa akkujen vaikean sammutettavuuden ja erittäin myrkyllisen savunmuodostuksen vuoksi tulisi kiinnittää erityistä huomiota poistumisen turvaamiseen, pelastustoiminnan mahdollistamiseen ja pelastushenkilöstön työturvallisuuteen. Näiden vuoksi akustotiloja ei tulisi sijoittaa ulkonakaan lähelle:

- rakennuksen sisäänkäyntejä
- uloskäyviä, varateitä ja poistumisreittejä
- pääkulkureittejä, ajoteitä ja portteja.

Erittäin myrkyllisen savun vuoksi pelastuslaitokselle tulisi järjestää kaksi vaihtoehtoista lähestymissuuntaa akustotilojen läheisyyteen pelastustien (sammutusauton) mitoituksen täyttävillä ajoyhteyksillä, jotta lähestyminen voitaisiin suorittaa tuulen yläpuolelta. Myrkyllisen savun ja vaikean sammutettavuuden vuoksi akustotiloihin tulisi olla pääsy suoraan ulkokautta.

Mikäli akustotila sijaitsee lähempänä kuin 8 metriä rakennuksista tai rakennuksen osana, se suositellaan palo-osastoitavaksi vähintään ko. rakennuksen paloluokan mukaisen osastointivaatimuksen mukaan. Rakennukseen sijoitettaessa akustotilan tulisi sijaita ulkoseinällä siten, että sinne on järjestettävissä pääsy suoraan ulkokautta.

Pientaloissa akut suositellaan sijoitettavaksi tiloihin, jotka eivät ole asuintiloja tai niihin välittömässä yhteydessä. Tarkoituksenmukainen sijoituspaikka voisi olla esimerkiksi palo-osastoitu tekninen tila, jossa on asuintiloista erillinen ilmanvaihto. Tila tulisi järjestää sellaiseksi, ettei akkujen läheisyyteen pääse kertymään palokuormaa. Tilaan on tarkoituksenmukaista järjestää käynti suoraan ulkoa kulkematta asuintilojen kautta, erityisesti, jos tilassa on litiumioniakkuja. Tilaan on suositeltavaa sijoittaa palovaroitin.

Akustotilojen suunnittelussa tulisi huomioida pelastustoiminnan ja savunpoiston edellytykset. Akkupaloissa saattaa kehittyä nopeasti korkeita pitoisuuksia palamattomia ja herkästi syttyviä kaasuja. Erillisen tai palo-osastoidun akustotilan savunpoiston tulisi olla suunniteltu ja mitoitettu riittäväksi. Savunpoistojärjestelyjen tulisi olla pelastushenkilöstön turvallisesti käytettävissä menemättä sisälle akustotilaan.

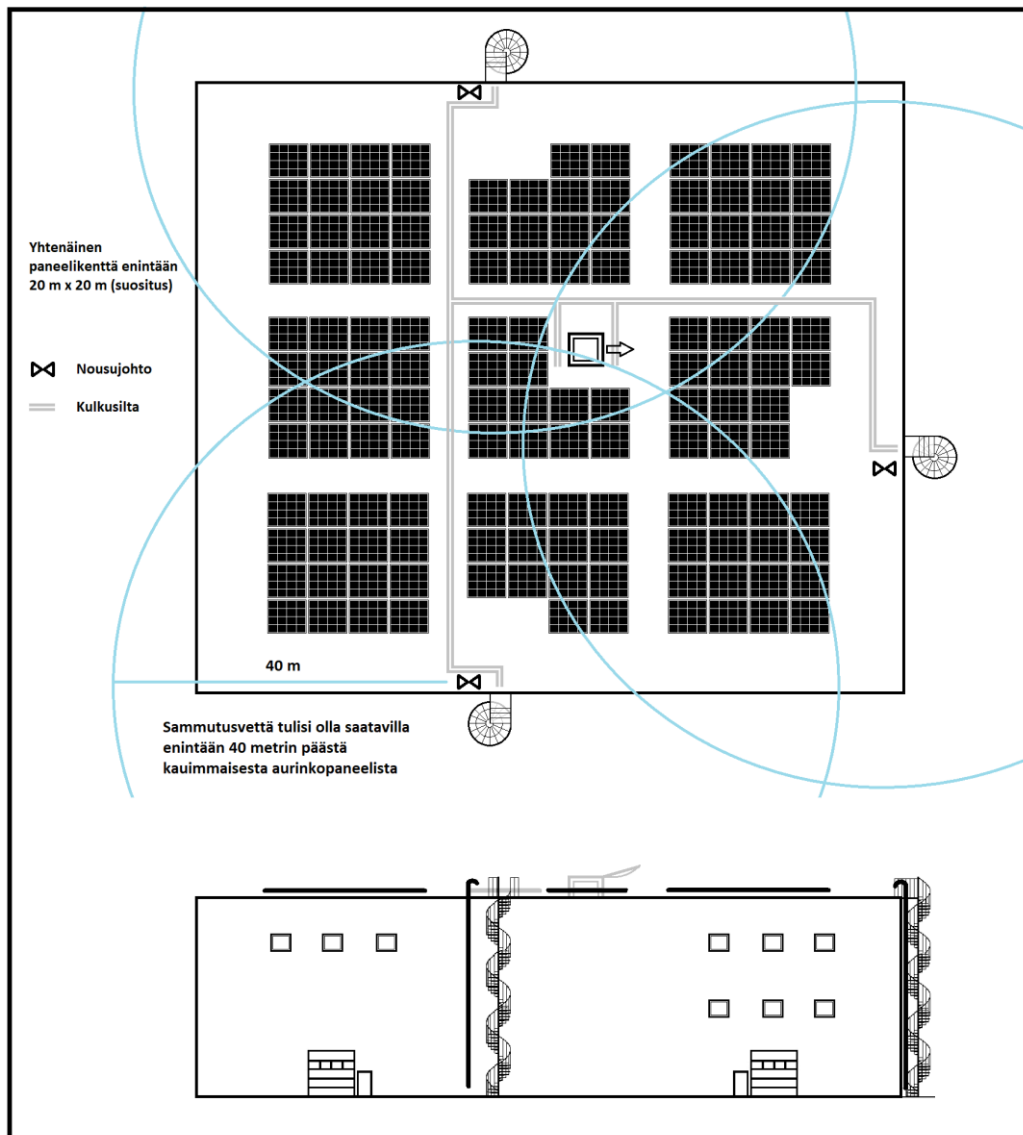
5.5 Sammutusveden saanti

Pelastusalan näkemys huomioitavista asioista pelastustoiminnan mahdollistamiseksi, pelastushenkilöstön työturvallisuuden huomioimiseksi ja hyvän paloturvallisuuden toteutumiseksi:

Suurten aurinkovoimaloiden suunnittelun yhteydessä tulisi huomioida riittävä sammutusveden saanti. Sammutusvettä tulisi olla rakennukseen sijoitetuissa järjestelmissä saatavissa vähintään 40 metrin päässä voimalakentän kauimmaisesta pisteestä. Tarvittaessa kohteeseen suositellaan suunniteltavaksi erilliset sammutusvesiputkistot.

Korkealle sijoittuvan järjestelmän suunnittelussa tulisi huomioida myös alueen pelastuslaitoksen kiinteiden sammutusvesiputkistojen (ns. nousujohtot) suunnitteluohjeet.

Rakennuksista erillisten voimalakenttien sammutusvesijärjestelyjen osalta, ks. luku 5.3.1.



Kuva. Huomioitavia suosituksia rakennukseen sijoitetun suuren aurinkosähköjärjestelmän sammutusvesijärjestelyistä.

5.6 Kohdekortti ja -tiedot pelastuslaitokselle

Pelastusalan näkemys huomioitavista asioista pelastustoiminnan mahdollistamiseksi, pelastushenkilöstön työturvallisuuden huomioimiseksi ja hyvän paloturvallisuuden toteutumiseksi:

Mikrotuotantolaitteistoja (= teho enintään 50 kVA) suuremmista aurinkosähköjärjestelmistä tulisi laatia kohdekortti pelastuslaitoksen, kiinteistönhuollon ja kiinteistön käyttäjien tueksi. Kortista tulee selvittää järjestelmän perustiedot ja ohje järjestelmän virrattomaksi tekemisestä sekä aurinkosähköjärjestelmän turvallisuuteen liittyvien kytkinten sijaintipaikat (katso luku 5.2). Jos koko järjestelmää ei jostain syystä voi tehdä virrattomaksi, tulee kohdekortissa ja paneelien erotuskytkimellä olla tieto tästä.

Kohdekortti toimitetaan pelastuslaitokselle ja sijoitetaan rakennuksessa paloilmoitinkeskuksen välittömään läheisyyteen tai sähköpääkeskukseen, mikäli rakennuksessa ei ole paloilmoitinta.

5.7 Kiinteistön huolto- ja kunnossapito

Vaatimukset

Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999 ja pelastuslaki 379/2011 velvoittavat kiinteistön omistajaa, haltijaa ja toiminnanharjoittajaa pitämään rakennuksen ympäristöineen turvallisessa käyttökunnossa:

MRL 166 §: Rakennuksen kunnossapito

Rakennus ympäristöineen on pidettävä sellaisessa kunnossa, että se jatkuvasti täyttää terveellisyyden, turvallisuuden ja käyttökelpoisuuden vaatimukset eikä aiheuta ympäristöhaittaa tai rumenna ympäristöä.

Pell 9 §: Rakennusten palo- ja poistumisturvallisuus

Rakennuksen omistajan ja haltijan sekä toiminnanharjoittajan on osaltaan huolehdittava siitä, että rakennus, rakennelma ja sen ympäristö pidetään sellaisessa kunnossa, että:

- 1) tulipalon syttymisen, tahallisen sytyttämisen sekä leviämisen vaara on vähäinen;
- 2) rakennuksessa olevat henkilöt pystyvät tulipalossa tai muussa äkillisessä vaaratilanteessa poistumaan rakennuksesta tai heidät voidaan pelastaa muulla tavoin;
- 3) pelastustoiminta on tulipalon tai muun onnettomuuden sattuessa mahdollista;
- 4) pelastushenkilöstön turvallisuus on otettu huomioon.

Sähköturvallisuuslaki velvoittaa sähkölaitteiston haltijaa huolehtimaan laitteiston kunnosta ja siitä, että havaitut viat ja puutteet poistetaan riittävän nopeasti. Myös aurinkosähköjärjestelmän kuntoa on tarkkailtava säännöllisesti. Mikäli paneeli rikkoutuu, voi paneelin sisälle pääsevä vesi aiheuttaa hapettumista ja oikosulun. Jos johonkin järjestelmän osista kohdistuu ulkoinen vaurio, on vaurioitunut osa korjattava tai vaihdettava sähköiskun vaaran ja tulipaloriskin vuoksi. Jos järjestelmä vikaantuu, on se korjattava välittömästi ammattitaitoisen sähköurakoitsijan toimesta valmistajan ohjeen mukaisesti. (Tukes. 2021)

Sähköturvallisuuden varmistamiseksi laissa määrätään sähkölaitteistolle tehtäväksi määräaikaistarkastukset sähkölaitteistoluokituksen mukaan. Määräaikaistarkastusvelvoite koskee muita kuin asuinkohteita, jos ylivirtasuojan nimellisvirta on yli 35 A. Tarkastusväli on sähkönjakeluverkkojen osalta viisi vuotta ja muiden tarkastusvelvoitteen piiriin kuuluvien järjestelmien osalta kymmenen vuotta. (Sähköturvallisuuslaki 1135/2016, 44 §, 47 - 50 §.)

Aurinkosähköjärjestelmien kunnossapitoa käsittelee myös standardi SFS-EN IEC 62446-2.

Pelastusalan näkemys huomioitavista asioista pelastustoiminnan mahdollistamiseksi, pelastushenkilöstön työturvallisuuden huomioimiseksi ja hyvän paloturvallisuuden toteutumiseksi:

Aurinkosähköjärjestelmän huolto tulisi huomioida osana rakennuksen käyttö- ja huolto-ohjetta ja suorittaa valmistajan ohjeiden mukaan säännöllisesti osana kiinteistön turvallisuuden ylläpitoa.

Erillisen paneelikentän mahdollinen aluskasvillisuus tulisi pitää mahdollisimman vähäisenä ja lyhyenä, jotta se ei lisää palon leviämisen riskiä. Kuiva heinikko ja risukko edistää mahdollista paloa ja lisäksi ulkopuolelta alkanut maastopalo voi niiden kautta uhata aurinkosähköjärjestelmää.

Lähteet

Kirjalliset lähteet

Aamulehti. 2020. Verkkosivu. [Viitattu 22.3.2021]

Saatavissa: <https://www.aamulehti.fi/pirkanmaa/art-2000007318370.html>

Faudzi, F. 2019. *Flame Propagation Between Flat Roofing and Photovoltaic Installations*. The University of Edinburgh. Opinnäytetyö. [Viitattu 2.3.2021]

Saatavissa:

<https://www.ifv.nl/kennisplein/Documents/2019-UG-UoE-Flame-Propagation-Between-Flat-Roofing-and-Photovoltaic-Installations.pdf>

Feuerwehr-Magazin. 2019. Verkkosivu. [Viitattu 25.3.2021]

Saatavissa: <https://www.feuerwehrmagazin.de/nachrichten/pflegeheim-brennt-21-menschen-verletzt-90668>

FlexSol Solutions. 2021. Verkkosivu. [Viitattu 22.3.2021]

Saatavissa: <https://flexsolutions.com/solar-roof-tile/>

Gemeente Tytsjerksteradiel. 2021. *Update brand Noardburgum*. [Viitattu 3.12.2021]

Saatavissa: <https://www.t-diel.nl/update-brand-noardburgum>

Helen Oy. *Aurinkovoimaloiden turvallisuusohjeistus*. Verkkojulkaisu. [Viitattu 18.3.2021]

Saatavissa: https://www.helen.fi/globalassets/aurinko/yritykset/20210113_aurinkovoimaloiden-turvallisuusohje2.pdf

IEC/TR 63226:2021:fi. *Rakennuksiin asennettujen aurinkosähköjärjestelmien paloriskien hallinta*. Sesko ry. 2021.

Interesting Engineering. 2016. Verkkosivu. [Viitattu 22.3.2021]

Saatavissa: <https://interestingengineering.com/skyscraper-covered-solar-panels-europes-largest>

Karjalainen. 2016. Verkkosivu. [Viitattu 22.3.2021]

Saatavissa: <https://www.karjalainen.fi/uutiset/uutis-alueet/kotimaa/item/109396>

Läderberg, V. 2017. *Aurinkosähköjärjestelmien riskit pelastustoimelle*. Savonia-ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. [Viitattu 1.3.2021]

Saatavissa: <https://www.theseus.fi/handle/10024/124696>

L2 Paloturvallisuus Oy. 2019. *Ohje aurinkosähköjärjestelmien paloturvallisuudesta*.

Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999

Milke, J. & Royle, S. & Steranka, K. & Wills, R. The Fire Protection Research Foundation. 2014. *Commercial Roof-Mounted Photovoltaic System Installation Best Practices Review and All Hazard Assessment*. [Viitattu 25.3.2021]

Saatavissa:

<https://www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports/Building-and-life-safety/RFCCommercialRoofMountedPhotovoltaicSystemInstallation.ashx>

Motiva. 2021. Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä. Verkkosivu. [Viitattu 1.3.2021]

Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/tarvit-tava_laitteisto/verkkoon_liitetty_aurinkosahkojarjestelma

Omrop Fryslân. 2021. *Niets meer over van houthandel na grote brand in Noardburgum*. [Viitattu 3.12.2021]

Saatavissa: <https://www.omropfryslan.nl/nieuws/1059723-niets-meer-over-van-houthandel-na-grote-brand-noardburgum>

Pelastustoimen PRONTO-järjestelmä. 2021. Aurinkosähköjärjestelmien tulipalojen tilastohaku 21.12.2021. Tilastot 2017-2021. (Heidi Liukkonen Pelastusopisto)

Prume, K. & Viehweg, J. 2018. *Assessing Fire Risks in Photovoltaic Systems and Developing Safety Concepts for Risk Minimization*. [Viitattu 2.3.2021]

Saatavissa: https://www.energy.gov/sites/prod/files/2018/10/f56/PV%20Fire%20Safety%20Fire%20Guide-line_Translation_V04%2020180614_FINAL.pdf

PV-Magazine. 2021. *Major fire at solar-powered warehouse in the Netherlands raises concerns among nearby residents*. [Viitattu 3.12.2021]

Saatavissa: <https://www.pv-magazine.com/2021/05/26/major-fire-at-solar-powered-warehouse-in-the-netherlands-raises-concerns-among-nearby-residents/>

PV-Magazine. 2019. *Japan's largest floating PV plant catches fire after Typhoon Faxai impact*. [Viitattu 3.12.2021]

Saatavissa: <https://www.pv-magazine.com/2019/09/09/japans-largest-floating-pv-plant-catches-fire-after-typhoon-faxai-impact/>

Rasinkoski, A. 2020. *Aurinkosähköjärjestelmien paloriskit ja sammutusturvallisuus. Kirjallisuusselvitys ja näkemys Suomen tilanteeseen 2019*. Verkkojulkaisu. [Viitattu 1.3.2021]

Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/17365/Aurinkosahkojarjestelmien_paloriskit_ja_sammutusturvallisuus.pdf

Reax Engineering. 2021. Verkkosivu. [Viitattu 25.3.2021]

Saatavissa: <https://reaxengineering.com/warehouse-solar-panel-fire/>

Solarguide. 2021. Verkkosivu. [Viitattu 23.3.2021]

Saatavissa: <https://www.solarguide.co.uk/integrated-solar-panels#/>

Steemann Kristensen, J. & Merci, B. & Jomaas, G. 2017. *Fire-induced re-radiation underneath photovoltaic arrays on flat roofs*. Technical University of Denmark. [Viitattu 2.3.2021]

Saatavissa: https://orbit.dtu.dk/files/139971048/FAM_Kristensen_Merci_Jomaas_accepted_by_FAM.pdf

Suosalo, J. 2020. *Pelastuslaitoksen varautuminen sähköautopaloihin maanalaisissa pysäköintilaitoksissa*. Hämeen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. [Viitattu 1.3.2021]

Saatavissa: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/344835/Opinn%c3%a4ytety%c3%b6%20-%20Joonatan%20Suosalo.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Tukes. 2021. *Aurinkosähköjärjestelmät*. [Viitattu 3.12.2021]

Saatavissa: <https://tukes.fi/sahko/sahkotyot-ja-urakointi/aurinkosahkojarjestelmat>

Waldnet. 2021. *Noardburgum: brandweerauto's bijna geveld door hitte*. [Viitattu 3.12.2021]

Saatavissa: https://www.waldnet.nl/wn/nieuws/67697/Noardburgum:_brandweerautos_bijna_geveld_door_hitte.html

Yle. 2021. Verkkosivu. [Viitattu 23.3.2021]

Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-10406640>

Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017

Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017 perustelumuisto

Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta annetun ympäristöministeriön asetuksen muuttamisesta 927/2020

Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta annetun ympäristöministeriön asetuksen muuttamisesta 927/2020 perustelumuistio

Pienjännitesähköasennukset SFS 6000-7-712:2022 Aurinkosähköjärjestelmät

Pienjännitesähköasennukset SFS 6000-5-55:2022 Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen; 551 Pienjännitteiset generaattorilaitteistot