

Tiivistelmä	1
Johdanto	2
Koejärjestelyt	3
Tulipaloksenario ja testausjärjestelyt	3
Testiympäristö	3
Katto- ja aurinkosähköjärjestelmät	3
Mittaustulokset ja havainnot	4
Palon leviäminen katoilla	4
Lämpötilat eristekerrosten sisällä puolivälissä ja alapuolella	4
Läpialaminen / palon leviäminen alaspäin	5
Yhteenveto ja johtopäätökset	6
Viitteet ja muistiinpanot	7
Vastuuvapauslauseke	7

Sanasto

- BAPV (Building Attached Photovoltaics): BAPV:ssä aurinkosähkömoduulit kiinnitetään rakennuksiin ylimääräisten kiinnitysraakenteiden avulla (joskus myös nimellä "building applied")
- BIPV (Building Integrated Photovoltaics): Aurinkosähkötuotteet, joita käytetään korvaamaan perinteisiä rakennusmateriaaleja rakennuksen vaipan osissa, kuten katossa, kattoikkunoissa tai julkisivuissa
- FM: Factory Mutual Insurance Company
- MW: Mineraalivilla EN13162 mukaan
- PIR: PIR-eriste EN13165 mukaan
- PV-paneeliryhmä: Useiden toisiinsa kytkettyjen PV-paneelien muodostama kokonaisuus
- PV-paneeli: Erillinen aurinkosähköpaneeli, joka voidaan rakentaa useista aurinkosähkömoduuleista
- TC: Termoelementti (lämpöanturi)

Lämmöneristeiden palokäyttäytyminen loppukäytön olosuhteissa

Vertailevat polttokokeet, miten PIR & mineraalivilla (MW) lämmöneristeet vaikuttavat loivan katon palokäyttäytymiseen, kun katolle on asennettu aurinkosähköjärjestelmä

Tiivistelmä

Paloturvallisuus on tärkeä osa-alue rakennusten suunnittelussa ja rakentamisessa.

Rakennuksiin asennetaan yhä enemmän aurinkosähkö (PV) -järjestelmiä energiansäästö- ja kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistavoitteiden saavuttamiseksi sekä asukkaiden energiakulujen pienentämiseksi. Monissa maissa aurinkosähköjärjestelmien asentaminen uusiin taloihin ja erityisesti suuriin teollisuustiloihin on tullut pakolliseksi. Siksi on tärkeää, että sääntelyviranomaisilla ja vakuutusyhtiöillä on vankat tutkimustulokset, jotta ne voivat tehdä tietoon pohjautuvia riskiperusteisia päätöksiä.

PIR on yleisesti käytössä oleva lämmöneriste erityisesti loivilla katoilla. Erinomaisen lämmöneristävyytensä lisäksi PIR-eristelevyjen korkea puristuslujuus antaa tukevan pohjan aurinkosähköjärjestelmien asennukselle ja huollolle pitkäaikaista käyttöä ajatellen.

Rakennesuunnittelijoiden, arkkitehtien, rakennusten omistajien, valvojien ja vakuutusyhtiöiden on tiedettävä, että tulipalon sattuessa katolla, jossa on käytössä

aurinkosähköjärjestelmiä, kattorakenne on paloturvallinen täyttäen sille asetut palotekniset vaatimukset.

Aurinkosähköjärjestelmien ja niihin liitettyjen asennusten paloturvallisuus

Vaikka säädöksiä ja standardeja on kehitetty niin, että ne estäisivät aurinkosähköasennuksia ja niihin liittyviä sähkökaapeleita ja -laitteita muodostumasta sytytysläheteiksi, sääolosuhteiden aiheuttamien vaurioiden ja/tai mahdollisten viallisten asennusten vuoksi tulipalon syttymisriski on edelleen olemassa. Aurinkosähköjärjestelmille ei ole tällä hetkellä saatavilla palokäyttäytymisen luokkaa tai CPR:n nojalla CE-merkintävaatimusta. Vaikka itse aurinkosähköjärjestelmien palotekninen käyttäytyminen on tärkeä parametri, jota on syytä tarkastella tarkemmin, tätä näkökohtaa ei käsitellä tässä asiakirjassa.

Muita huomioita aurinkosähköjärjestelmistä loivilla katoilla

Euroopassa palon leviämistä lämmöneriste- ja vesieristysjärjestelmiin, jotka ovat alttiina ulkoiselle tulenlähteelle, voidaan arvioida ja säädellä käyttämällä yhtä CEN

Tässä kokoonpanossa osoitettiin, että palon leviämisen ja sisäisten vaurioiden kannalta ei ole välttämätöntä edellyttää palamatonta eristettä.

TS 1187 -standardissa esitetyistä neljästä testimenetelmästä [1] ja siihen liittyvää luokitusstandardia EN13501-5 [2]. Niiden kattojen osalta, joissa aurinkosähköjärjestelmät on asennettu kattorakenteen päälle, vakuutusyhtiöt ja joidenkin maiden sääntelyviranomaiset ovat kyseenalaistaneet sen, onko historiallisesti hyväksytty turvallisuustaso edelleen riittävä tällaisille yhdistelmälle, kun otetaan huomioon, että aurinkosähköjärjestelmät voivat toimia syytyslähteenä ja lisäävät katon kokonaispalokuormaa. Lisäksi on olemassa huoli siitä, että ne voivat voimistaa tulipaloja heijastessaan lämpösäteilyä takaisin rakenteeseen.

Useat vakuutusyhtiöt ovat ehdottaneet yksinkertaisena toimenpiteenä, että loivilla katoilla tulisi käyttää jatkossa vain palamattomiksi luokiteltuja lämmöneristemateriaaleja, jos katolle asennetaan aurinkosähköjärjestelmä. Selvittääkseen onko tämä ehdotus perusteltu, PU Europe teetti kaksi vertailevaa testiä. Valittiin kaksi FM [3] -hyväksyttyä kattojärjestelmää, joista yksi oli PIR- ja toinen MW-eristeinen. Kattorakenteen päälle asennettiin Pohjois- ja Länsi-Euroopassa yleisesti käytettyjä aurinkopaneelien ja syytyslähteenä käytettiin paneelien alla olevaa kaasupoltinta.

Molemmissa testeissä liekkirintaman leviämisenopeus katon pinnalla aurinkopaneeli-

en alla oli yhtä suurta. Lisäksi oli mahdollonta havaita lämmöneristeestä johtuvia eroja palon leviämisen suhteen katon pinnalla aurinkopaneelien ulkopuolella.

PIR-eriste hiilti vain hieman yli 25 % paksuudestaan ja katto jäähdyi jatkuvasti sen jälkeen, kun aurinkopaneelit olivat sammuneet.

Johtopäätökset polttokokeista:

- Palamaan syttyneen aurinkosähköjärjestelmän alla olevat kattorakenteet voivat altistua korkeille lämpötiloille ja lämpösäteilylle;
- Huolimatta kaasupolttimella sytytettyjen aurinkopaneelien tuottamasta korkeasta lämpötilasta, PIR-eristeisen kattorakenteen palokäyttätyminen oli hyvä verrattuna MW-eristeiseen kattorakenteeseen. Palon leviäminen katon pinnalla palavien aurinkopaneelien ulkopuolelle ja ympärille oli samanlaista molemmissa testatuissa katoissa;
- Polttokokeessa osoitettiin, että testatussa rakenteessa palon leviämisen ja sisäisten vaurioiden kannalta ei ole tarpeen edellyttää palamattoman eristeen käyttöä.

Tässä esitetyt tulokset koskevat ainoastaan testattuja kattorakennatarkkaisuja ja aurinkopaneelikokoonpanoja.

Johdanto

PU Europe tilasi KIWA BDA Testinging -tutkimuslaitokselta vertailevat polttokokeet kahdelle FM-hyväksytylle kattojärjestelmälle yhdessä BAPV:n kanssa.

Euroopan talousalueella (ETA) markkinoitua ja käytettyä rakennustuotetta on testattava ja luokiteltava paloteknisesti ja/tai palonkestävyyden suhteen, jotta ne voidaan saattaa markkinoille CE-merkinnällä. Kattojärjestelmille on asetettu erityisvaatimuksia, joilla luokitellaan palotekninen käyttäytyminen ulkoisen paloaltistuksen yhteydessä. Kun aurinkosähköjärjestelmiä otetaan käyttöön katoilla, saattaa olla tarpeen harkita lisävaatimuksia.

Rakennuksen vaipan osana olevat aurinkosähköjärjestelmät, kuten BIPV, voidaan testata ja luokitella rakennustuotteiksi CPR:n (rakennustuoteasetus (EU) N:o 305/2011) mukaisesti. Kattoihin integroitujen aurinkosähköjärjestelmien – ns. in-roof järjestelmät – osalta tämä tarkoittaa, että niihin sovelletaan kattoja koskevia kansallisia määräyksiä, jotka perustuvat palokäyttätymisen vaatimukseen (EN13501-1) ja kattojen ulkoiseen paloaltistukseen (EN13501-5), kuten kaikilla muillakin kattotuotteilla.

Kattorakenteen päälle asennettavia aurinkosähköjärjestelmiä, kuten BAPV, ei pidetä Euroopassa CPR:n alaisina rakennustuotteina. Niihin sovelletaan sen sijaan pienjännitdirektiiviä (2014/35/EU). Joidenkin maiden viranomaiset ovat kuitenkin ottaneet käyttöön kattojen päälle asennettujen aurinkosähkömoduulien palokäyttätymistä koskevia vaatimuksia (esimerkiksi Saksassa EN13501-1 mukainen vähimmäisluokka E) ja edellyttävät asennus- ja kunnossapitosertifiointijärjestelmiä (esim. Alankomaat). Jotkut Euroopan unionin maat tutkivat parhaillaan vaatimuksia ja lisäsertifiointijärjestelmiä.

Eurooppalainen standardointikomitea CEN/TC 127 "Rakennusten paloturvallisuus" käynnisti hiljattain työn selvittääkseen tarvetta kehittää standardi tai tekninen spesifikaatio, joka kattaisi kattorakenteiden ja aurinkosähkömoduulien yhteisvaikutuksen paloturvallisuuteen. Lisäksi vakuutusyhtiöt ovat alkaneet pohtia lisävaatimuksia

rakennusten vakuuttamisesta, kun katolla on BAPV-järjestelmä, ja vakuutusyhtiöiden asiantuntijat ovat yhä useammin harkitse-massa vain palamattomaksi luokiteltavien eristeiden sallimista katoille tällaisten järjestelmien alla.

PU Europe tilasi KIWA BDA Testinging -tutkimuslaitokselta vertailevat polttokokeet kahdelle FM-hyväksytylle kattojärjestelmäl-le yhdessä BAPV:n kanssa Troned Twente Safety Campusessa Alankomaissa.

Vuonna 2021 tehdyissä polttokokeissa arvioitiin testattujen eristysmateriaalien vaikutusta koko kattokokonaisuuden palokäyttäytymiseen BAPV-järjestelmään liittyvän palon sattuessa. Kokeessa tarkas-teltiin palon leviämisen lisäksi myös palon tunkeutumista rakenteeseen.

Testien tarkoituksena ei ollut arvioida tiet-tyjä eristetuotteita (tuotemerkejä), vaan ne suoritettiin yksinomaan:

- tutkiaksemme, onko perusteltua vaatia ainoastaan palamattomaksi luo-kiteltuja lämmöneristeitä aurinkosäh-köjärjestelmien alapuolella olevissa kattorakenteissa;
- saadaksemme yleistä tietoa, että miten kahden erilaisen lämmöneris-teen käyttö vaikuttaa aurinkosähkö-järjestelmällä varustettujen kattojen paloturvallisuuteen.

Testauksessa ei otettu huomioon muita tekijöitä, jotka voivat vaikuttaa katon suori-tuskykyyn, kuten aurinkosähköjärjestelmän telineet yksityiskohtineen ja itse aurinko-sähköpaneelien oma palokäyttäytyminen.

Koejärjestelyt



Kuva 1: Loivalla katolla oleva aurinkosähköjärjestelmä kaasupolttimen sytyttämisen jälkeen

Testattiin kaksi 6 m x 6 m kokoista kattorakennetta, jotka olivat samanlaisia eristekerrosta lukuun ottamatta.

Tulipaloskenaario ja testausjärjestelyt

Testeissä simuloitiin ulkoista tulipaloa, joka alkoi katon päällä olevan aurinkopaneelin alla.

Sytytyslähteenä käytettiin CENELEC CLC/TR 50670:2016 [4] -standardissa esitettyä kaa-supoltinta, jota käytettiin 10 minuutin ajan. Tämän polttimen on osoitettu aiheuttavan kattoon vastaavan paloaltistuksen, kuin CEN/TS 1187 t1:ssä käytettävä puukasa, joka edustaa palavaa oksaa [5].

Termoelementit asennettiin teräspoimule-vyn päälle ja eristekerroksen sisään keskelle eristekerrosta. Molemmat polttokokeet videoitiin.

Testiympäristö

Polttokokeet tehtiin ulkona samana päivä-nä. Tuulen suunta muuttui ensimmäisen ja toisen kokeen välisenä aikana. Oli selvästi havaittavissa, että tuulen suunnalla on suu-ri vaikutus liekin leviämisseurantaan katolla.

Toinen ero polttokokeiden välillä oli ympäristöolosuhteet. Ensimmäinen poltto-koe MW-eristyksellä suoritettiin aamulla,

jolloin ilmankosteus oli korkea ja lämpötila vielä viileä. Alkulämpötilat eristekerroksen keskellä olivat MW-eristeen osalta enintään 13°C ja PIR-eristeen osalta enintään 33,9°C.



Kuva 2: Aurinkosähköjärjestelmän sijoittelu katolla

Kattorakenne ja aurinkosähköjärjestelmä

Testattiin kaksi 6 m x 6 m kokoista kattora-kennetta, jotka olivat samanlaisia eristeker-rosta lukuun ottamatta.

Testejä varten valittiin FM:n hyväksymät kattorakenteet, jotka sisälsivät joka PIR- tai MW-eristeitä, kaksi yleisesti käytettyä tuo-tetyyppiä loivien kattojen eristämiseen.

Kattorakenteet koostuivat vedeneristyskat-teesta (PVC), lämmöneristeestä, höyryn-sulkukalvosta (PE-kalvo) ja kantavasta teräspoimulevystä. Eristepaksuudet valitiin siten, että rakenteet olivat lämmöneris-tävyydeltään samanlaiset (PIR-eriste: yksi kerros, 142 mm; MW-eriste: kaksi 130 mm:n kerrosta - kokonaispaksuus 260 mm).

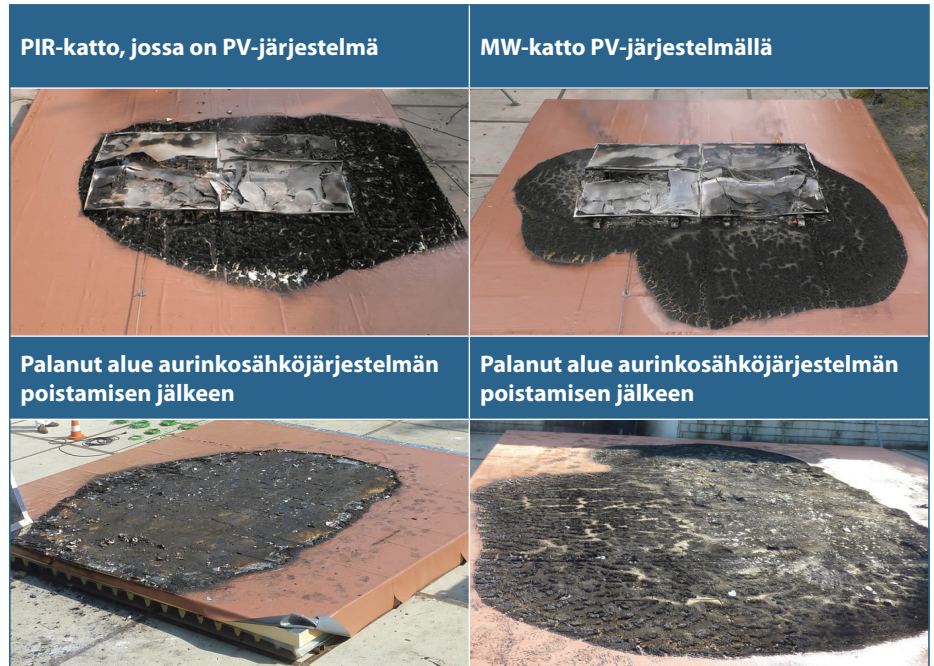
Aurinkosähköjärjestelmä koostui aurinko-sähköpaneelista, joiden foliopintaiset

taustalevyt oli luokiteltu paloluokkaan C standardin IEC 61730-2 [6] mukaisesti. Neljä näistä paneeleista (kokonaiskoko 3,2 m x 1,84 m, kulma kattoon nähden 13°) asennettiin selät vastakkain, mikä jäljittelee Pohjois- ja Länsi-Euroopassa yhä useammin

käytettyä itä-länsi-suuntaista asennusta. Palon mahdollisen leviämisen kannalta kriittisemmän tilanteen aikaansaamiseksi aurinkosähköpaneelin avoimissa päissä ei ollut pystysuoria suojia.

Mittaustulokset ja havainnot

Vedeneristyskerroksen ja eristekerroksen yläpinnan vauriot olivat samankaltaiset molemmissa tapauksissa.



Kuva 3: Koekappaleet polton jälkeisenä päivänä

Palon leviäminen katoilla

Molemmissa testeissä todettiin, että aurinkosähköpaneelien syttymisvaihe oli voimakas, ja sen seurauksena liekki levisi itsestään katon pintaa pitkin aurinkosähköjärjestelmän ulkopuolelle.

Valitulla aurinkosähköpaneelien kokoonpanolla kattorakenteen lämpöaltistusta lisäsi liekkien osittainen jääminen aurinkosähköjärjestelmän keskipisteen alle ja aurinkosähköjärjestelmästä tuleva takaisin kattorakennetta päin kohdistuva lämpösäteily sekä itse palavien aurinkosähköpaneelien palokuorma.

Palon leviämisen pääsuunta aurinkosähköjärjestelmän ulkopuolelle oli erilainen molemmissa testeissä tuulen suunnan vaikutuksesta.

Aurinkosähköjärjestelmä sekä katon lämmön- ja vedeneristysjärjestelmä sammuiivat noin 32 minuutin (PIR) ja 28 minuutin (MW) kuluttua. Liekit sammuiivat itsestään ilman ulkoisia toimenpiteitä, eivätkä ne levinneet koko kattoalueelle kummassakaan tapauksessa.

Kuvasta 3 käy ilmi, että kattojen vaurioitunut pinta-ala oli molemmissa tapauksissa rajallinen ja hyvin samankaltainen [7].

Lämpötilat eristekerrosten sisällä puolivälissä ja alapuolella (ks. myös kohta "Testiympäristö" alkulämpötilojen osalta ja huomautus [8])

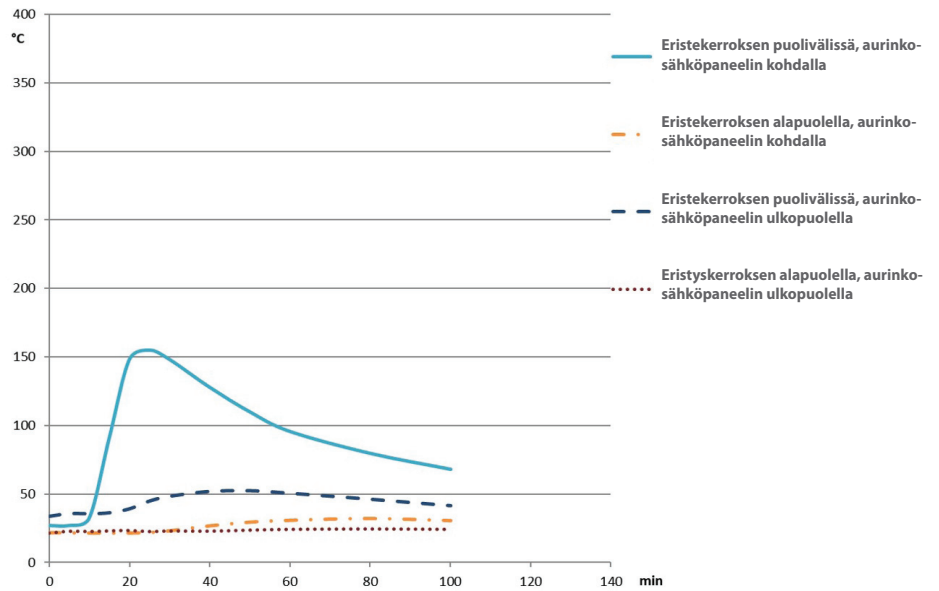
PIR-koekappaleessa PV-järjestelmän kohdalla eristekerroksen puolivälissä olivat 155 °C 23 minuutin kuluttua ja alkoivat laskea tämän jälkeen. Teräspoimulevyssä, eristekerroksen alapuolella, aurinkosähköjärjestelmän kohdalla, havaittiin vain pientä nousua (10 °C) 80 minuuttiin saakka testin alkamisesta. Koko katto, myös teräspoimulevy, alkoi jäähtyä noin 80 minuutin kuluttua polttokokeen alkamisesta.

MW-eristetyssä katossa aurinkosähköjärjestelmän kohdalla lämpötila saavutti 35 °C:n lämpötilan eristekerroksen puolivälissä 30 minuuttia testin alkamisen jälkeen. Vaikka liekehtiminen oli sammunut noin 30 mi-

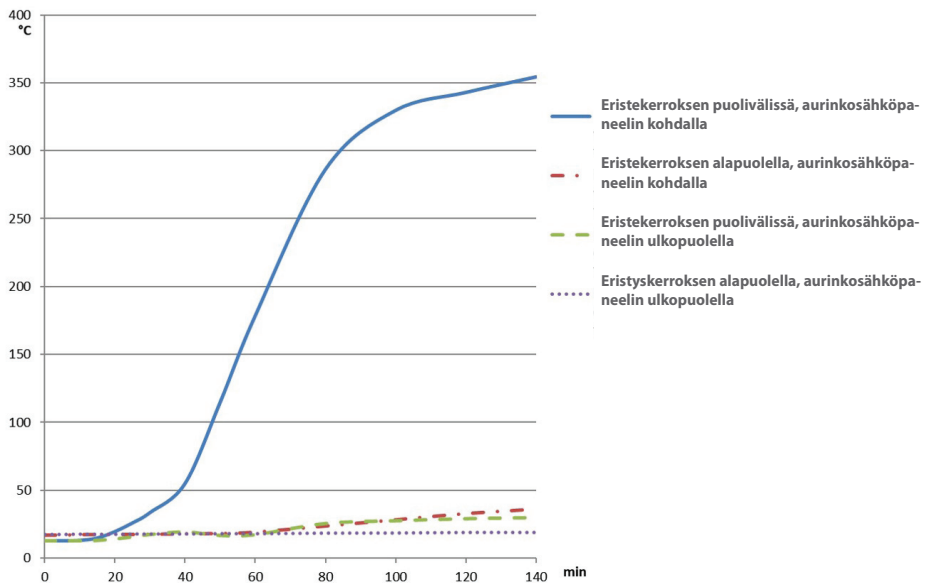
nuutin kuluttua testin alkamisesta. Lämpötila nousi 290 °C:een 80 minuutin kuluttua ja nousi edelleen. Suurin mitattu lämpötila oli 440 °C neljän tunnin kuluttua

aurinkosähköjärjestelmän kohdalla. Yön yli tehdyissä mittauksissa teräspoimulevyn huippulämpötila oli 190 °C.

PIR-eristeinen katto



MW-eristeinen katto

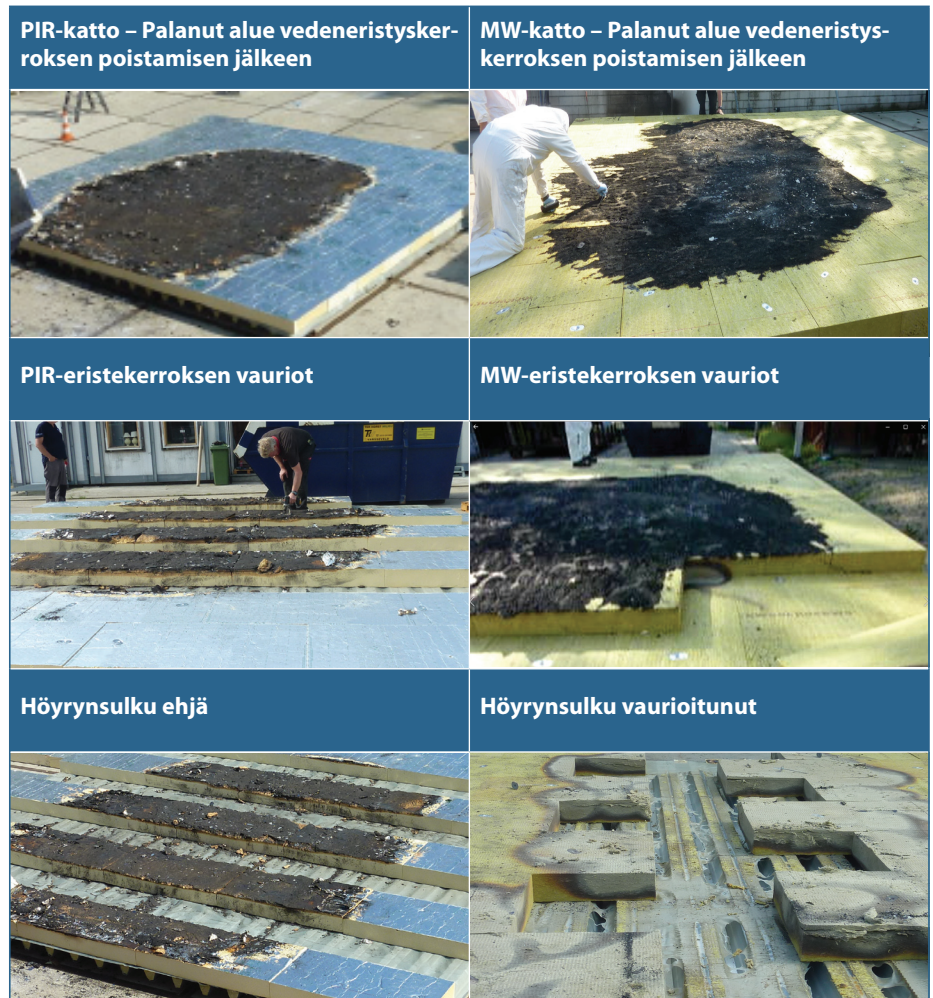


Kuva 4: Mitatut enimmäislämpötilat (°C)

Läpialaminen / palon leviäminen alaspäin

Vedeneristyskerroksen ja eristekerroksen yläpinnan vauriot olivat samanlaiset molemmissa testeissä. Vauriot syvemmällä eristekerroksessa olivat aivan erilaiset. PIR-katossa PIR-kerros hiilti yläpinnasta

alaspäin vain noin 25% kokonaispaksuudesta. Eristeen alaosa ja sen alla oleva höyrynsulku pysyivät vahingoittumattomina. MW-katossa vaurio ulottui teräspoimulevyn asti ja aiheuttanut höyrynsulun sulamisen.



Kuva 5: Valokuvat koekappaleista kerroksittain purettuna testin jälkeen

Yhteenveto ja johtopäätökset

Ero liekkien leviämisessä näiden kahden rakenteen välillä oli pieni.

Kaksi kattorakennetta, joissa oli kantavana rakenteena teräspoimulevy ja rakenteen päälle asennettu aurinkosähköjärjestelmä (BAPV), altistettiin yläpinnastaan palolle. Testimenetelmän (4 PV-moduulia kahdessa kahden rivissä 6 m x 6 m:n kokoisen kattorakenteen päällä, jotka sytytetään CLC/TR 50670:2016:n mukaisella polttimella) oletetaan edustavan kohtuullisesti tarkasteltavaa palotilannetta.

Osoitettiin, että testatun FM-hyväksytyin PIR-eristeellä ja palavalla vedeneristyskatteella varustetun katon suorituskyky oli hyvä verrattuna vastaavaan kattoon, jossa oli MW-eriste. Molempien rakenteiden osalta testin lopussa liekkejä ei tarvinnut sammuttaa - palo sammui ilman toimenpiteitä. Palo ei levinnyt koko katon alueelle, mutta aurinkosähköjärjestelmät paloivat

kokonaan. Ero liekkien leviämisessä näiden kahden rakenteen välillä oli pieni. Kun katto purettiin polttoja seuraavana päivänä, teräspoimulevyn päällä oleva höyrynsulku oli PIR-kattojen osalta vahingoittumaton, kun taas MW-katon osalta se oli osittain sulanut.

Jotta voidaan varmistaa, että aurinkosähköjärjestelmien alapuolella oleviin kattorakenteisiin liittyvät riskit ymmärretään täysin, saatetaan tarvita lisätestejä sen osoittamiseksi, ettei kattojen läpipalamista tai palon leviämistä aurinkosähköjärjestelmien ulkopuolelle tapahdu. Tarkoituksena mukaisen testimenetelmän käyttö tämän kysymyksen selvittämiseksi on kestävämpi tapa tarkastella aihetta, kuin yksinkertaisesti PIR-eristeen korvaaminen palamattomalla lämmöneristeellä.

Vastuuvapauslauseke

Vaikka kaikki tässä julkaisussa esitetyt tiedot ja suositukset on laadittu huolellisesti ja edustavat parasta tietämystämme, ovat tietomme ja uskomuksemme mukaan oikeita julkaisupäivänä, mitään tässä esitetyä ei saa tulkita takuuksi, ei nimenomaisesti eikä muuksi.

Tämä dokumentti on käännetty PU Europan julkaisemasta alkuperäisestä englanninkielisestä versiosta suomeksi PU Nordic:n toimesta. Riitatapauksissa dokumentin alkuperäistä englanninkielisistä versiota tulee pitää lähdeviittauksena ja referenssinä.

Viitteet ja muistiinpanot

- [1] CEN TS 1187:2012 Test methods for external fire exposure to roofs
- [2] EN 13501-5:2016 Classification using data from external fire exposure to roofs tests
- [3] FM 4470 Single-ply, polymer-modified bitumen sheet, built-up roof (BUR) and liquid applied roof assemblies for use in Class 1 and non-combustible roof deck construction
- [4] CLC/TR 50670:2016 External fire exposure to roofs in combination with photovoltaic (PV) arrays – Test method(s)
- [5] Bachelor Thesis, Constantin Niederwieser, Entwicklung einer Prüfmethode zur Beurteilung des Brandverhaltens von dachadditiven und dachintegrierten Photovoltaikanlagen, Hochschule Bonn-Rhein-Sieg, 2013
- [6] IEC 61730-2:2016 Photovoltaic (PV) module safety qualification – Part 2: Requirements for testing
- [7] Tarkkoja pinta-aloja ei ole laskettu, koska kahden testin erilaisten tuulensuuntien vuoksi aurinkosähköjärjestelmän alta alkanut tulipalo saavutti PIR-kattojärjestelmän lähimmän reunan
- [8] PIR-kattoa varten tiedonkeruu lopetettiin, kun kävi selväksi, että kaikki TC:t olivat jäähtymässä. MW-kattoa seurattiin pidempään, koska lämpötilat nousivat jatkuvasti pidemmän aikaa