

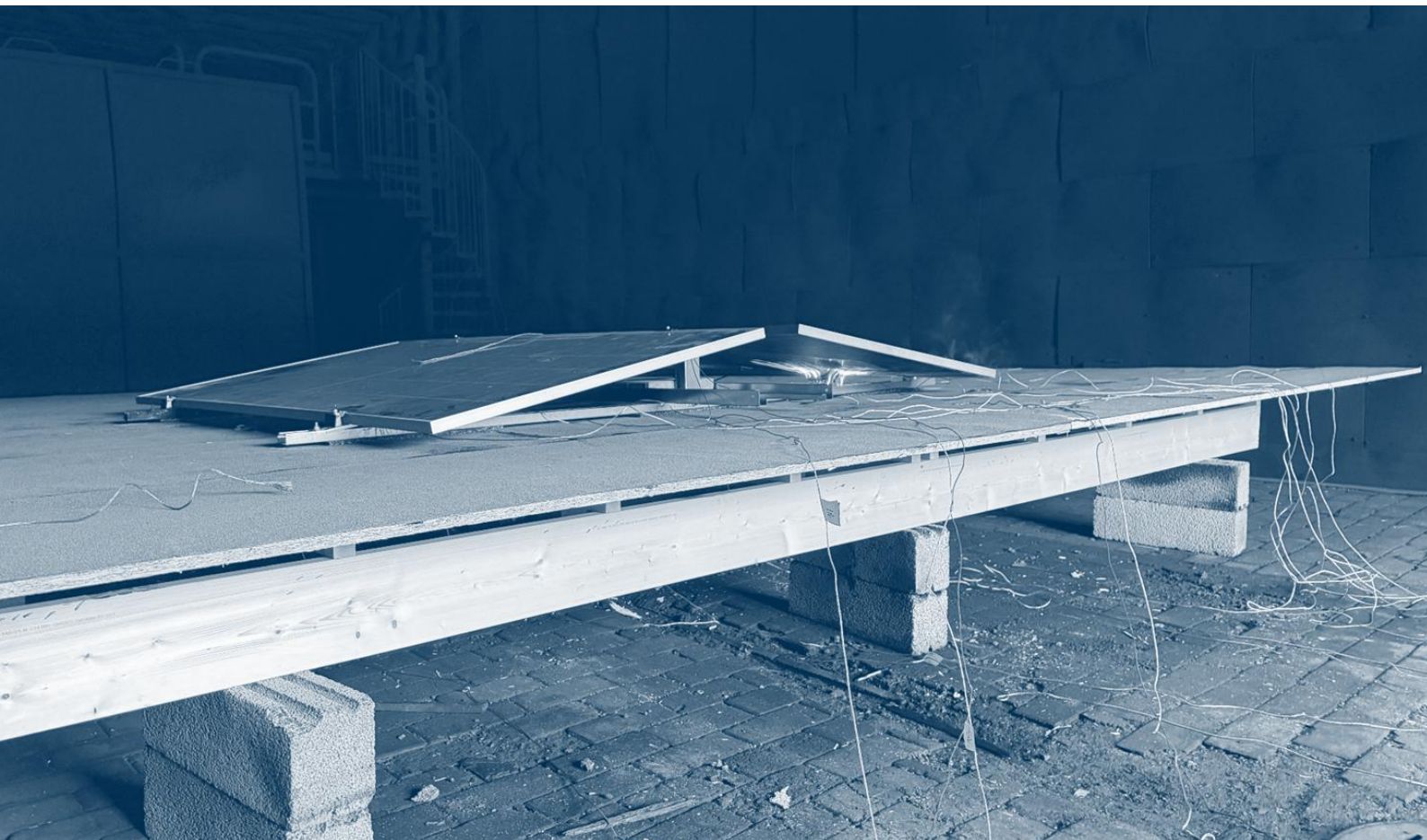
Paloturvallinen puurakentaminen

Puukattoelementit ja aurinkopaneelit-tutkimushanke

Puutuoteteollisuus ry

Aleksi Ojala ja Elina Rastas

15.6.2026



Versiopäivitykset

Päivämäärä	Rev.	Tärkeimmät muutokset	Tekijä(t)
15.6.2026	-	<i>Ensimmäinen versio</i>	ERa/AOj

Liitteet

Liite	Asiakirja
1	Esitestit

Sisällysluettelo

1. Johdanto.....	6
2. Tutkimuksen tausta, tutkimuskysymykset ja tutkimuksen toteutus	7
2.1. Tutkimuksen tausta	7
2.2. Tutkimuskysymysten asettelu ja tutkimuksen rajaukset	8
2.3. Tutkimuksen toteutus	9
3. Polttokokeet	11
3.1. Yleistiedot	11
3.2. Koe 1 – Itä-länsi-aurinkopaneeliasennus	11
3.2.1. Koe-elementti	11
3.2.2. Aurinkopaneeliasennus	14
3.2.3. Mittaus ja havainnointi	15
3.2.4. Kokeen kulku	15
3.2.5. Palon leviämisestä tehdyt havainnot	18
3.2.6. Katteen ja elementin vaurioituminen	19
3.3. Koe 2 – etelä-aurinkopaneeliasennus painokivillä	21
3.3.1. Koe-elementti	21
3.3.2. Aurinkopaneeliasennus	22
3.3.3. Mittaus ja havainnointi	22
3.3.4. Kokeen kulku	23
3.3.5. Palon leviämisestä tehdyt havainnot	26
3.3.6. Katteen ja elementin vaurioituminen	27
3.4. Koe 3 – etelä-aurinkopaneeliasennus hitsatuilla telineillä	30
3.4.1. Koe-elementti	30
3.4.2. Aurinkopaneeliasennus	31
3.4.3. Mittaus ja havainnointi	32
3.4.4. Kokeen kulku	32
3.4.5. Palon leviämisestä tehdyt havainnot	36
3.4.6. Katteen ja elementin vaurioituminen	37
3.5. Koe 4 – itä-länsi-aurinkopaneeliasennus ilman sivusaumaa	40
3.5.1. Koe-elementti	40
3.5.2. Aurinkopaneeliasennus	40
3.5.3. Mittaus ja havainnointi	41
3.5.4. Kokeen kulku	42
3.5.5. Palon leviämisestä tehdyt havainnot	45
3.5.6. Katteen ja elementin vaurioituminen	46
4. Polttokokeiden tulosten yhteenveto ja arviointi	49
4.1. Palon leviäminen paneelikentässä	49
4.2. Palon leviäminen onteloon	49
4.3. Vaurioituminen palon aikana	50
4.3.1. Katteen yläpuoli	50
4.3.2. Katteen alapuoli	51
4.4. Koontitaulukko kokeista ja niiden tuloksista	52
5. Yhteenveto ja johtopäätökset keskeisistä havainnoista	53

5.1. Tutkimuskysymykset ja tutkimuksen rajaukset.....	53
5.2. Palon kehittyminen syttyneen aurinkopaneelin alapuolella	53
5.3. Palon leviäminen aurinkopaneelientän alapuolella.....	54
5.4. Palon leviäminen aurinkopaneelientän ulkopuolelle	54
5.5. Palon leviäminen onteloon 60 minuutin kokeen aikana	54
5.6. Vauriot ja jälkisyttyminen tuuletuksen aikana.....	54
5.7. Tunnistetut jatkotutkimustarpeet	54
5.7.1. Puukattoelementtien sauma- ja liitosdetaljiikka.....	54
5.7.2. Paneelientän geometrian muutosten arviointi	55
Lähdeluettelo	57

Kuvat ja taulukot

Kuva 2.1 – Aurinkopaneelin muodostamassa ontelossa sivulle taittuva liekki	8
Kuva 3.1 – Koekappale monipalosimulaattorissa	11
Kuva 3.2 – Koe-elementti yläpuolelta (LapWall)	12
Kuva 3.3 – Koe-elementin leikkaukset (LapWall).....	13
Kuva 3.4 – Koe-elementin sivusauma.....	13
Kuva 3.5 – Koe-elementin päätysauma	14
Kuva 3.6 – Koe 1 aurinkopaneeliasennus (Orima)	14
Kuva 3.7 – Koe 1 mittauspisteet (ei mittakaavassa)	15
Kuva 3.8 – Koe 1 koeasetelma	15
Kuva 3.9 – Kokeen 1 kulku.....	17
Kuva 3.10 – Koe 1 kokeen jälkeen (punainen neliö kuvaa sytytyslähteen sijaintia)	18
Kuva 3.11 – Koe 1 lämpötilat aurinkopaneelien keskikohdissa kattopinnalla	18
Kuva 3.12 – Koe 1 lämpötilat ontelon puolella	19
Kuva 3.13 – Koe 1 vaurioitunut alue	20
Kuva 3.14 – Koe 1 kermin vaurioiden mittaus.....	20
Kuva 3.15 – Koe 1 vaurioitunut OSB-levy	21
Kuva 3.16 – Koe 1 sivusauma koe-elementin alapuolelta kokeen jälkeen	21
Kuva 3.17 – Koe 2 aurinkopaneeliasennus (Orima)	22
Kuva 3.18 – Koe 2 mittauspisteet (ei mittakaavassa)	23
Kuva 3.19 – Koe 2 koeasetelma	23
Kuva 3.20 – Kokeen 2 kulku, 10–35 min.....	24
Kuva 3.21 – Kokeen 2 kulku, 40–60 min.....	25
Kuva 3.22 – Koe 2 kokeen jälkeen.....	26
Kuva 3.23 – Koe 2 lämpötilat aurinkopaneelien keskikohdissa kattopinnalla	26
Kuva 3.24 – Koe 2 lämpötilat ontelon puolella	27
Kuva 3.25 – Koe 2 vaurioitunut alue	27
Kuva 3.26 – Koe 2 kermin vaurioiden mittaus.....	28
Kuva 3.27 – Koe 2 vaurioitunut OSB-levy	29

Kuva 3.28 – Koe 2 sahatut OSB-levyn palat.....	29
Kuva 3.29 – Koe 2 sivusauma-alue kokeen jälkeen	30
Kuva 3.30 – Koe 3 muokattu sivusauma.....	31
Kuva 3.31 – Koe 3 aurinkopaneeliasennus (Orima)	31
Kuva 3.32 – Koe 3 mittauspisteet (ei mittakaavassa)	32
Kuva 3.33 – Kokeen 3 kulku, 10–25 min.....	33
Kuva 3.34 – Kokeen 3 kulku, 30–50 min.....	34
Kuva 3.35 – Kokeen 3 kulku, 55–60 min.....	35
Kuva 3.36 – Koe 3 kokeen jälkeen.....	36
Kuva 3.37 – Koe 3 lämpötilat aurinkopaneelien keskikohdissa kattopinnalla	36
Kuva 3.38 – Koe 3 lämpötilat ontelon puolella	37
Kuva 3.39 – Koe 3 vaurioitunut alue	37
Kuva 3.40 – Koe 3 kermin vaurioiden mittaus.....	38
Kuva 3.41 – Koe 3 vaurioitunut OSB-levy	39
Kuva 3.42 – Koe 3 sivusauma-alue kokeen jälkeen	39
Kuva 3.43 – Koe 3 OSB-levyn sahaukset	40
Kuva 3.44 – Koe 3 sahattu OSB-levyn pala	40
Kuva 3.45 – Koe 4 mittauspisteet (ei mittakaavassa)	41
Kuva 3.46 – Koe 4 koeasetelma	41
Kuva 3.47 – Kokeen 4 kulku, 10–25 min.....	42
Kuva 3.48 – Kokeen 4 kulku, 30–50 min.....	43
Kuva 3.49 – Kokeen 4 kulku, 55–60 min.....	44
Kuva 3.50 – Koe 4 kokeen jälkeen.....	44
Kuva 3.51 – Koe 4 lämpötilat aurinkopaneelien keskikohdissa kattopinnalla	45
Kuva 3.52 – Koe 4 lämpötilat ontelon puolella	45
Kuva 3.53 – Koe 4 kermin vaurioiden mittaus.....	46
Kuva 3.54 – Koe 4 koe-elementin alapuoli kokeen jälkeen	46
Kuva 3.55 – Koe 4 vaurioitunut OSB-levy	47
Kuva 3.56 – Koe 4 OSB-levyn sahaukset	48
Kuva 3.57 – Koe 4 hiiltyminen sytytyslähteen alapuolella	48
Taulukko 4.1 – Kokeiden koontitaulukko.....	52

1. Johdanto

Tämä tutkimusraportti käsittelee Puutuoteteollisuus ry:n Paloturvallinen puurakentaminen-hankkeen yhtä osakokonaisuutta, jossa selvitetään aurinkopaneeliasennusten ja puukattoelementtien yhteistoimintaa palotilanteissa. Hanketta rahoittavat Palosuojelurahasto (PSR) ja Rakennustuotteiden Laatu Säätiö sr. Tutkimus on suoritettu kokeellisena tutkimuksena tavoitteenaan kerätä tietoa Suomessa tavanomaisten puukattoelementtien ja aurinkopaneeliasennusten palojen seurauksista.

Kokeellisessa tutkimuksessa käytetyt tarvikkeet ja tuotteet ovat vastanneet Suomessa käytössä olevia tuotteita, ja tarvittavien materiaalien toimittajat ovat myös antaneet oman panoksensa koejärjestelyn suunnitteluun ja toteutukseen:

- LapWall Oyj (puukattoelementti-koekappaleiden valmistus ja toimitus)
- Orima-Tuote Oy (aurinkopaneelien telineiden toimitus)
- Solnet Green Energy Oy (aurinkopaneelien toimitus).

Kokeellinen tutkimus on tehty kahdessa osassa, ensin esitestinä LapWall Oyj:n Pälkäneen tehdasalueella 11.3.2026, ja sitten varsinaisena testisarjana Pelastusopiston harjoitusalueella 13.–15.4.2026.

2. Tutkimuksen tausta, tutkimuskysymykset ja tutkimuksen toteutus

2.1. Tutkimuksen tausta

Suomen rakentamismääräykset (YmA 848/2017 28 §, [1]) edellyttävät katteelta toiminnallisena vaatimuksena kahta keskeistä eri asiaa:

- + kate ei saa helposti syttyä naapurirakennuksen paloista, ja
- + palo ei saa levitä katteessa tai sen alustassa vaaraa aiheuttavalla tavalla.

Edellisten vaatimusten toteuttaviksi ratkaisuiksi on esitetty riittävän suorituskyvyn omaavaa katemateriaalia ($B_{ROOF}(t_2)$) sekä tarkasteltavan kaltaisen, bitumikermikatteisen rakenteen osalta kattopinnan jakoa 2400 m^2 osiin [1].

Määräykset eivät itsessään tunnista, aurinkopaneeleja tai anna määräyksiä niiden huomioimisesta. YmA 848/2017 perustelumuistio [2] kuitenkin nostaa aiheen esille:

”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.”

Perustelumuistio [2] tunnistaa tarpeen tarkastella laajojen aurinkopaneelikenttien vaikutusta palon leviämisen vaaraan katteessa ja sen alustassa. YmA 848/2017 [1] antamisen jälkeen on suoritettu laajalti tutkimusta aurinkopaneelien vaikutuksesta katolla syttyvien palojen kehitykseen, ja itse paneeleissa käytettyjä materiaaleja keskeisemmäksi tekijäksi on todettu paneelit itsessään. Aurinkopaneelien alle muodostuva ontelomainen tila muuttaa itsessään palodynamiikkaa merkittäväksi, kun avoimessa tilassa ylöspäin purkautuva liekki taittuukin paneelin alla vaakasuuntaan säteilleen voimakkaasti alapuoliselle kattopinnalle (Kuva 2.1).



Kuva 2.1 – Aurinkopaneelin muodostamassa ontelossa sivulle taittuva liekki

Paneelikenttien vuoksi muuttuneen geometrian vaikutus katolla sattuvaan paloon on jo hyvin tunnettu sattuneiden palotapausten johdosta, ja asiasta on myös tehty laajalti tutkimusta. Määräysohjauksen puuttuessa on muodostunut eri sidosryhmien laatimia ohjeita, esim. [3] [4], joissa on annettu erilaisia suosituksia aurinkosähköjärjestelmien toteutukseen, myös paneelikenttien suhteen.

2.2. Tutkimuskysymysten asettelu ja tutkimuksen rajaukset

On keskeistä tunnistaa, että aurinkosähköjärjestelmän aiheuttaman riskin ja sen hyväksyttävyyden arvioiminen vaatii laajan ja monimutkaisen asiakokonaisuuden arvioimista sekä yhteiskunnallista keskustelua. Tehdyn tutkimuksen tavoitteena on tuota tähän keskusteluun lisätietoa erityisesti puukattoelementtien palokäyttäytymisen osalta.

Keskeiset tutkimuskysymykset ovat:

- + Miten puukattoelementeistä rakennetulla katolla oleva aurinkopaneeliasennus vaikuttaa katolla syttyvään tulipaloon?
- + Miten palo leviää aurinkopaneelikentässä?
- + Kuinka laajalle aurinkopaneelikentän ulkopuolelle palo leviää?
- + Leviääkö palo tuulettuvan puukattoelementin ontelotilaan ja kuinka nopeasti?

Tutkimuksessa tarkastellaan tyypillisiä aurinkopaneeliasennuksia tyypillisen suomalaisen puukattoelementti-asennuksen päällä. Tavoitteena on kokeellisesti selvittää, miten aurinkopaneelien asennustapa, kattoelementtien rakenneratkaisut ja elementtien liitokset vaikuttavat palon leviämiseen ja voimakkuuteen. Tavoitteena ei ole toistaa samaa koetta useampaan kertaan, vaan tarkoituksena on saada mahdollisimman laaja kuva erilaisten aurinkopaneeliasennusten ja puukattoelementtien yhteistoiminnasta.

Tutkimus on rajattu seuraavasti:

- + Tutkimus ei arvioi aurinkosähköjärjestelmien aiheuttamaa paloriskiä itsessään, vaan se keskittyy riittävän alkupalon aiheuttaman palon seurauksiin.
- + Kyseessä ei ole syttymiskoe, vaan tarkastelu kohdistuu palon leviämiseen ja sen aiheuttamiin vaurioihin tilanteessa, jossa palo syttyy. Alkupalon riittävyys on varmistettu esitestillä.
- + Käytetyt aurinkopaneeliasennukset käsittävät vain aurinkopaneelit ja niiden telineet (vrt. koko aurinkosähköjärjestelmä).
- + Aurinkopaneelien ja niiden telineiden paloteknisiä ominaisuuksia ei tutkita erillisinä komponentteina.
- + Tutkimuksessa ei tutkita aurinkosähköjärjestelmän eri komponenttien asennuksista johtuvia läpivientejä.
- + Tutkimuksessa ei tutkita palon leviämistä ja sen seurauksia sen leviyttyä onteloon.
- + Kokeet suoritetaan kuormittamattomilla koe-elementeillä, kun tarkastelu kohdistuu palon leviämiseen ja sen aiheuttamiin vaurioihin, ei kattoelementin kantavuuteen.
- + Tutkimus ja siitä saatavat tulokset eivät ole tarkoitettu yksittäisten tuotteiden tai niiden kombinaatioiden hyväksyntään, hylkäykseen tai sertifiointiin.

2.3. Tutkimuksen toteutus

Tutkimus toteutettiin kokeellisena tutkimuksena, joka koostui esitesteistä ja varsinaisista polttokokeista. Esitestien tarkoituksena oli varmistaa sytytysjärjestelyn toimivuus ja toistettavuus sekä saada ennakkotietoa palokäyttäytymisestä ilman aurinkopaneeleja sekä niiden kanssa. Varsinaiset polttokokeet toteutettiin neljänä eri kokeena Kuopiossa Pelastusopiston harjoitusalueen monipalosimulaattorissa. Monipalosimulaattori testaus-hallina mahdollisti kokeiden suorittamisen säältä suojassa ja vähensi ulkoisten tekijöiden, erityisesti tuulen, vaikutusta kokeisiin.

Neljä eri koetta toteutettiin kolmella erilaisella aurinkopaneeliasennuksella: itä-länsi-asennus, etelä-asennus painokivillä ja etelä-asennus bitumikermillä kattopintaan kiinnitetyillä telineillä.

Kahdessa kokeessa asennuksena oli itä-länsi-asennus (koe 1 ja 4) ja kahdessa muussa edellä mainitut etelä-asennusten variaatiot (koe 2 ja 3). Aurinkopaneelit kokeisiin toimitti Solnet Green Energy Oy ja telineet Orima-Tuote Oy. Koejärjestelyt on esitetty tarkemmin luvussa 3.

Koe-elementit kokeisiin toimitti LapWall Oy. Koska tutkimuksen tarkoituksena on tutkia lähinnä palon leviämistä katteen päällä/sen läpi, kokeissa käytettiin vain LapWall:n kokeeseen erikseen valmistamia kattoelementin päällimmäisistä kerroksista koostuneita koekappaleita. Koe-elementteihin sisältyi kattoelementtiasennuksen pääty- ja sivusaumat.

Kokeissa sovellettiin ZAG:n (The Slovenian Building and Civil Engineering Institute) kehittämää testausmenetelmää [5], jossa tarkastellaan katto- ja aurinkopaneeliasennusta kokonaisuutena. Testausmenetelmässä on pyritty luomaan mahdollisimman realistinen tilanne, jossa palo syttyy kattopinnan läheisyydessä aurinkopaneelin alla ja leviää siitä. Testausmenetelmän tavoitteena on arvioida palon leviämistä kattopinnalla ja rakenteissa sekä siinä muodostuvia vaurioita.

Kokeiden suoritusaikataulun ja varattujen resurssien vuoksi ZAG:n ohjetta jouduttiin osittain soveltamaan, mm. suorituspaikasta johtuen ulkoilman lämpötilaa tai ilmavirtauksia ei voitu kontrolloida tarkasti. Yksittäisen kokeen kesto rajattiin 60 minuuttiin, jonka jälkeen koekappale sammutettiin.

Kokeiden aikana havainnoitiin visuaalisesti palon leviämistä paneelientäällä ja palon leviämistä koe-elementin onteloon, sekä kokeen jälkeen rakenneavauksin palon aiheuttamia vaurioita. Lisäksi kokeet kuvattiin sekä video- että lämpökameroilla ja mitattiin lämpötiloja termopareilla.

3. Polttokokeet

3.1. Yleistiedot

Polttokokeet suoritettiin Pelastusopiston harjoitusalueella Kuopiossa 13.–15.4.2026. Polttokokeiden testausympäristönä oli Pelastusopiston monipalosimulaattori, jotta tuulen vaikutus kokeisiin voitiin minimoida. Monipalosimulaattori on Pelastusopiston harjoitusalueella sijaitseva teräskonteista rakennettu harjoitus- ja testaus-halli, jossa pystytään harjoittelemaan ja tekemään polttokokeita säältä suojassa (Kuva 3.1).



Kuva 3.1 – Koekappale monipalosimulaattorissa

Monipalosimulaattori ei kuitenkaan ole eristetty ja lämmitetty sisätila, joten lämpötila tilassa mukailee ulkoilman lämpötilaa.

Sääolosuhteet polttokoepäivinä olivat keväiset. Aamuisin lämpötila oli lähellä 0 °C nousten iltopäiväksi noin 15 °C:een. Sää oli selkeää tai puolipilvistä, poutaista ja tyyntä kaikkina koepäivinä.

Seuraavissa luvuissa on esitetty kunkin polttokokeen koejärjestelyt ja kokeen kulku sekä vauriot kokeen päätyttyä. Pelastusopisto on tehnyt polttokokeista oman raporttinsa [6].

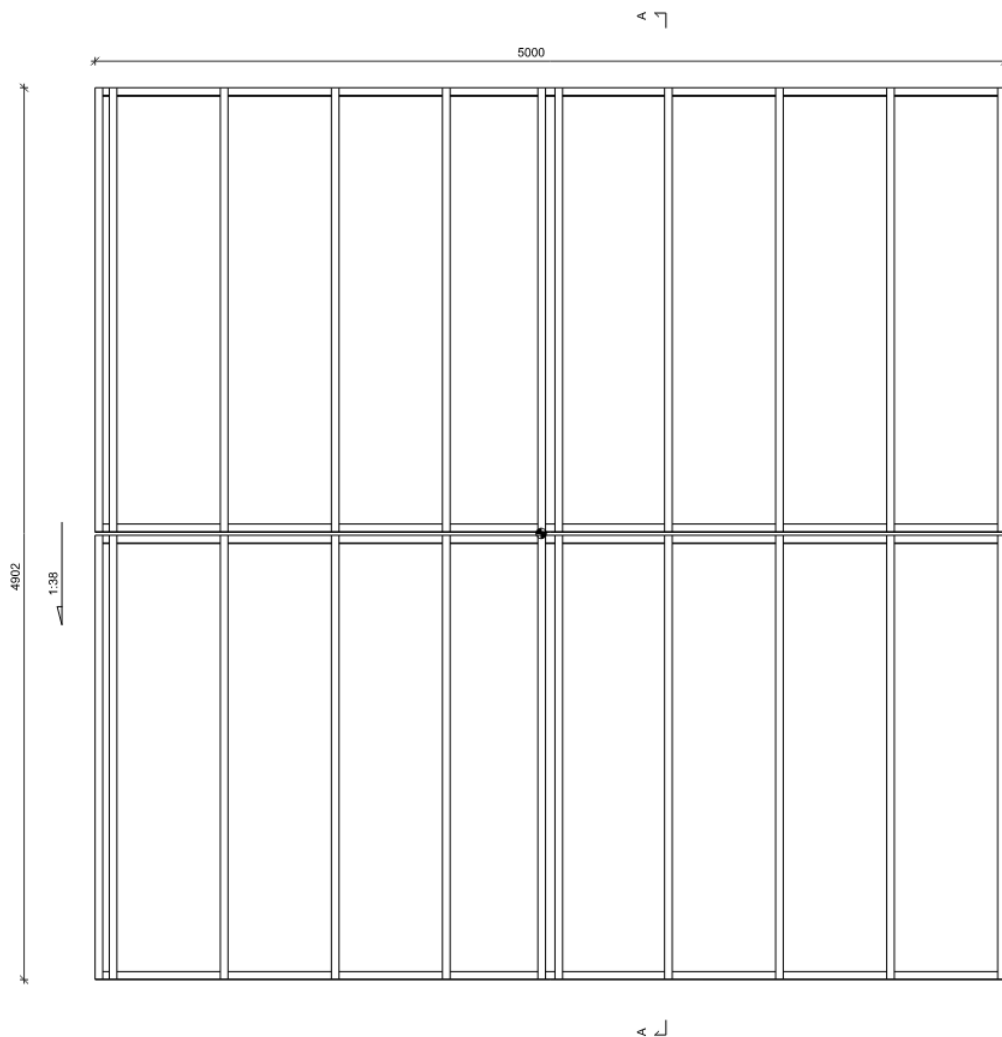
3.2. Koe 1 – Itä-länsi-aurinkopaneeliasennus

Ensimmäisessä kokeessa kattoelementti vastasi liitoksineen tavanomaista ratkaisua ja aurinkopaneeliasennus oli ns. itä-länsi.

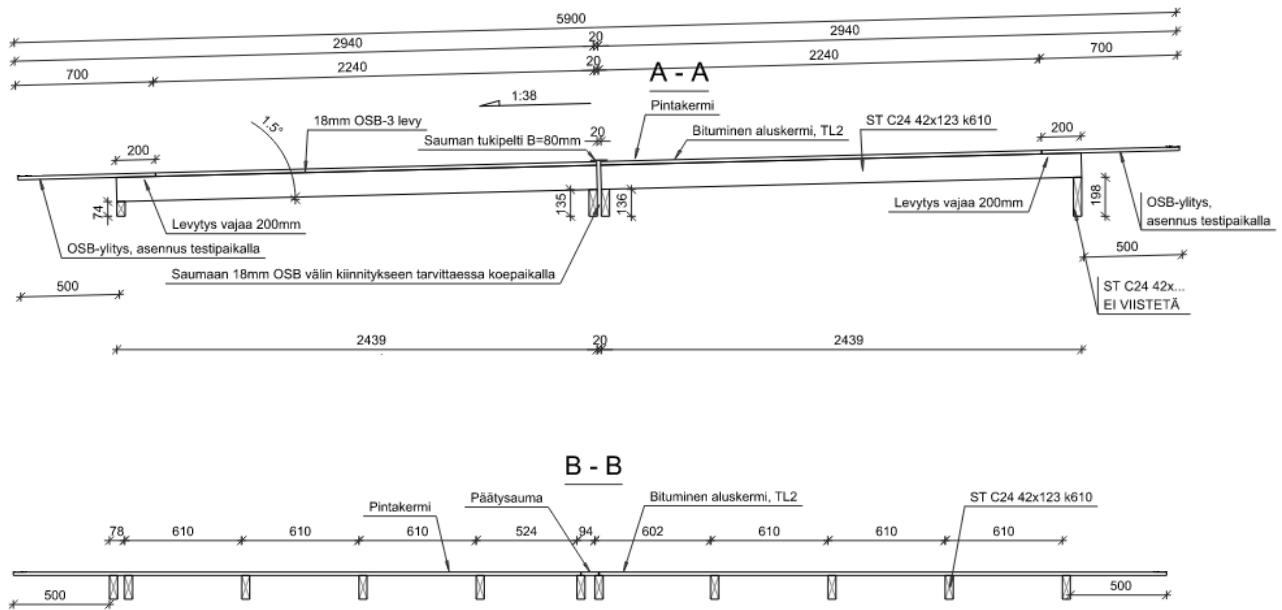
3.2.1. Koe-elementti

Polttokokeita varten LapWall oli esivalmistanut neljä koe-elementtiä, jotka toimitettiin koepaikalle kukin kahdessa osassa. Jokainen koe-elementti kasattiin näistä kahdesta osasta paikan päällä Pelastusopiston harjoitusalueella.

Kaikissa poltoissa koe-elementin rakenne oli alhaalta ylöspäin: koolauskehä, 18 mm OSB-3-levy, aluskermi ja pintakermi (bitumia, B_{ROOF} (t2)). Elementin koolauskehään oli esitestien jälkeen yksinkertaistettu (kts. Liite 1). Elementin koko oli 5000 mm x 4900 mm + OSB-levyn reunaylitykset 500 mm jokaisella sivulla. Elementin kaltevuus oli lähtökohtaisesti 1:38/1,5°, mutta monipalosimulaattorin lattian kaltevuuden vuoksi koe-elementti oli kokeissa lopulta käytännössä vaakatasossa. Koe-elementissä oli sekä pääty- että sivusauma kuvaamassa kattoelementtien todellisissa asennuksissa olevia elementtien välisiä saumoja. Koe-elementti on esitetty alla olevissa kuvissa.



Kuva 3.2 – Koe-elementti yläpuolelta (LapWall)



Kuva 3.3 – Koe-elementin leikkaukset (LapWall)

Elementin sivusaumassa OSB-levyjen sauman päälle asetettiin peltikaista, joka ruuvattiin kiinni OSB-levyyn ja jonka päälle kiinnitettiin hitsaamalla kermit. Sivusauma on esitetty alla olevassa kuvassa.



Kuva 3.4 – Koe-elementin sivusauma

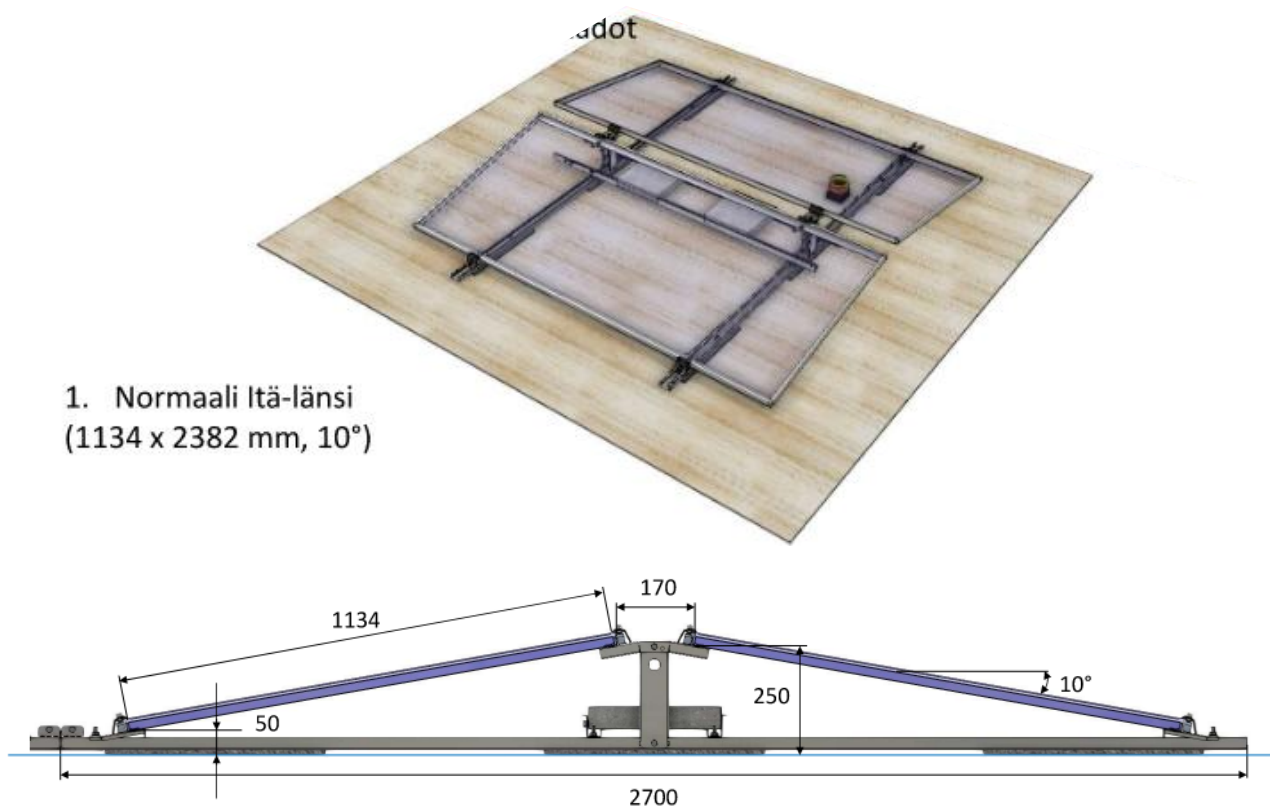
Elementin päätysaumassa oli OSB-levy (samaa levyä kuin muukin OSB rakenteessa) ruuvattuna koolauskehään. Tämä on esitetty alla olevassa kuvassa.



Kuva 3.5 – Koe-elementin päätysauma

3.2.2. Aurinkopaneeliasennus

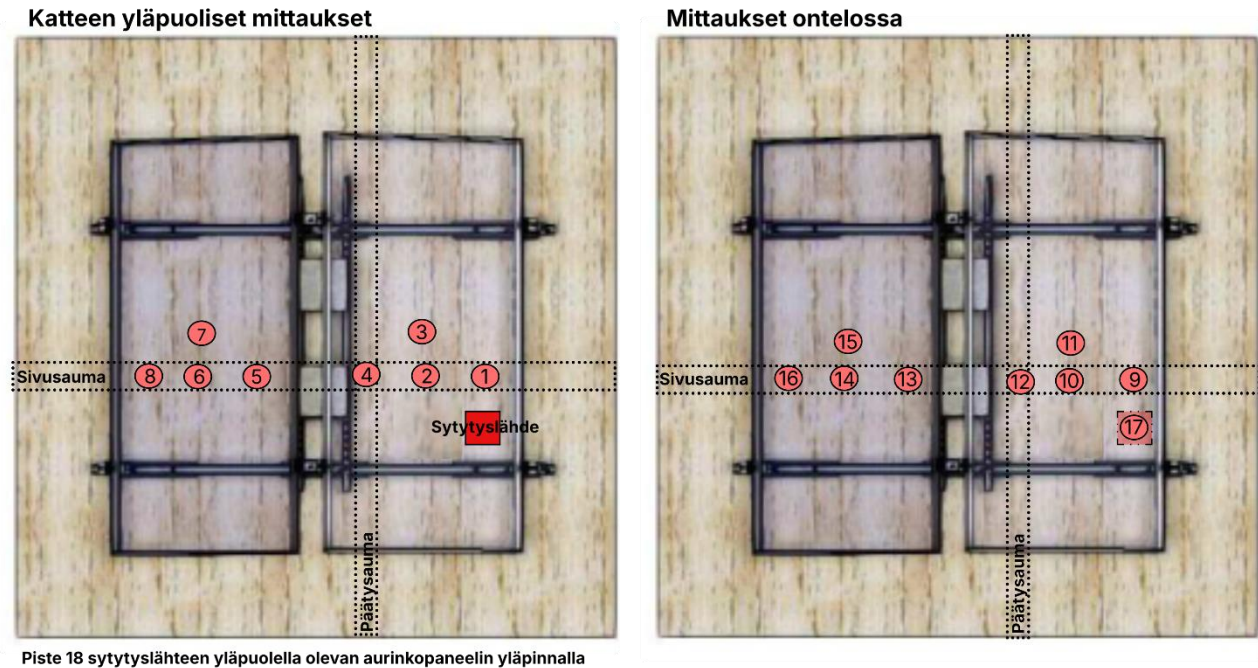
Kokeessa 1 aurinkopaneeliasennuksena oli tyypillinen itä-länsi-asennus, missä aurinkopaneelit (2 kpl, 2 382 mm x 1 134 mm) olivat sekä ylä- että alapinnaltaan lasia. Kokeen 1 aurinkopaneeliasennus on havainnollistettu alla olevassa kuvassa.



Kuva 3.6 – Koe 1 aurinkopaneeliasennus (Orima)

3.2.3. Mittaus ja havainnointi

Kokeissa koekappaleen ja ympäristön lämpötiloja mitattiin termopareilla. Kokeessa 1 koekappaleeseen asennettiin yhteensä 18 mittauspistettä koe-elementin pintakermin päälle, katteen alapintaan elementin ontelon puolelle ja sytytyslähteen yläpuolella olevan aurinkopaneelin yläpinnalle. Kokeen 1 mittauspisteet on esitetty alla olevassa kuvassa.



Kuva 3.7 – Koe 1 mittauspisteet (ei mittakaavassa)

Lämpötilamittausten lisäksi kokeet kuvattiin sekä video- että lämpökameralla. Videokuvaa otettiin erikseen koko koeasetelmasta sekä katteen alapuolelta koe-elementin sivusta. Lämpökameralla kuvattiin koko koeasetelmaa. Kokeen 1 koeasetelma ennen sytytystä on esitetty alla olevassa valokuvassa.



Kuva 3.8 – Koe 1 koeasetelma

3.2.4. Kokeen kulku

Esitestien perusteella polttokokeissa käytettiin sytytyslähteenä kahta 10 cm x 10 cm x 5 cm kokoista puutapulia (sytytyksen määräytymisperuste kts. Liite 1). Sytytyslähteen päälle kaadettiin ensin sytytysneste, jonka

jälkeen se asetettiin toisen itä-länsi-asennuksen aurinkopaneeleista alle, matalampaa reunaa lähelle toista alanurkkaa. Varsinainen sytytys tehtiin kaasupolttimella.

Kokeen 1 kulkua on havainnollistettu alla olevassa kuvassa. Kuvat ovat kuvankaappauksia kokeesta otetulta videolta. Kuvista nähdään, että palossa muodostuva savu häytti näkyvyyttä palon edetessä.

10:00



15:00



25:00



35:00



Kuva 3.9 – Kokeen 1 kulku

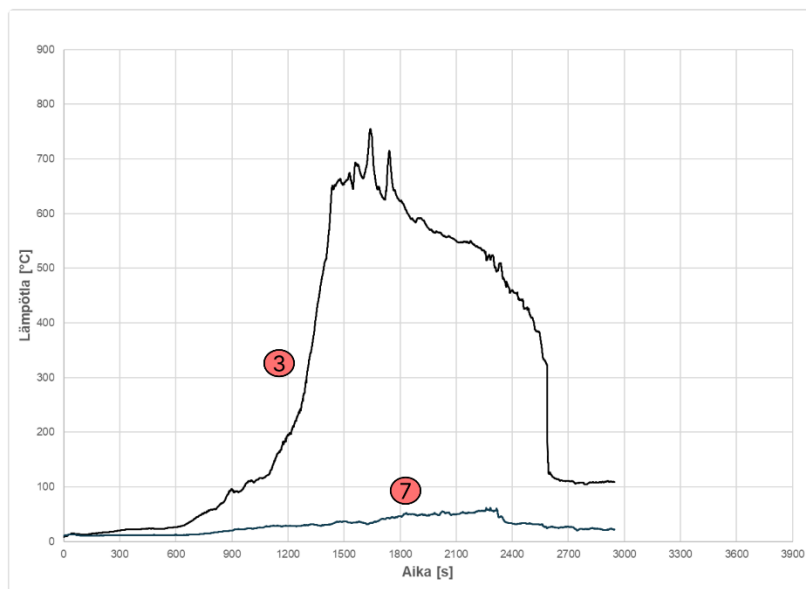
Koe 1 päättyi siihen, kun ajassa noin 35 minuuttia havaittiin liekki elementin ontelon puolella, jonka jälkeen aloitettiin sammutustyö. Paloa yritettiin ensin sammuttaa hiilidioksidisammuttimella, mutta se todettiin pian riittämättömäksi, minkä jälkeen palo sammutettiin lopulta vedellä. Alla olevassa kuvassa on esitetty kokeen 1 koeasetelma kokeen jälkeen.



Kuva 3.10 – Koe 1 kokeen jälkeen (punainen neliö kuvaa sytytyslähteen sijaintia)

3.2.5. Palon leviämisestä tehdyt havainnot

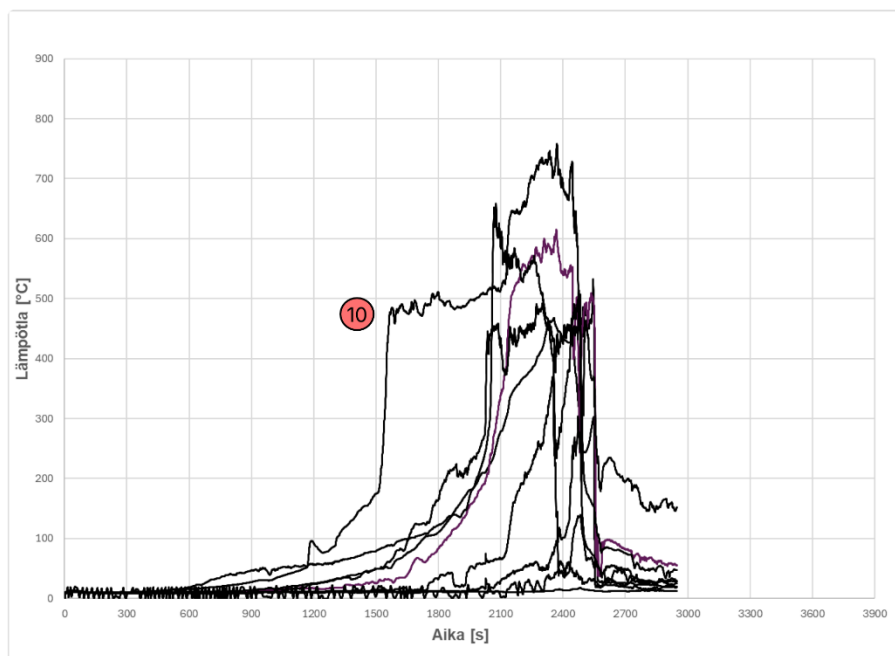
Alla olevassa kuvassa on esitetty kattopinnalla aurinkopaneelien keskikohdissa olleiden mittauspisteiden (mittauspisteet 3 ja 7, kts. Kuva 3.7) lämpötilat.



Kuva 3.11 – Koe 1 lämpötilat aurinkopaneelien keskikohdissa kattopinnalla

Yllä olevista kuvista (kokeen kulku ja keskikohtien lämpötilat) havaitaan, että alkupalon sytyttämisen jälkeen kului noin 10 minuuttia, että palo alkoi kehittymään suureksi aurinkopaneelin alla. Kuvista nähdään myös, että palo ei levinnyt viereisen aurinkopaneelin alle kokeen aikana, lämpötila jäi alhaiseksi.

Kuten edellä todettiin, koe 1 päättyi, kun elementin ontelon puolella havaittiin liekki noin ajassa 35 minuuttia. Alla on esitetty elementin ontelon puolen mittauspisteiden lämpötilat.



Kuva 3.12 – Koe 1 lämpötilat ontelon puolella

Yllä olevasta kuvasta nähdään, että mittauspisteen 10 (sivusauman kohdalla ontelon puolella) lämpötila on alkanut nousta noin 20 minuuttia palon alkamisen jälkeen kohdalla. Voidaan arvioida, että palo on levinnyt ontelon puolelle noin 25 minuutin (1500 s) kohdalla, kun lämpötila on noussut nopeasti, vaikka liekki havaittiin vasta 35 minuutin (2100 s) kohdalla.

Yllä olevassa kuvassa noin ajassa 35 minuuttia nousseet lämpötilat ovat mittauspisteiden 9, 11, 12 ja 17 lämpötiloja. Nämä lämpötilat korreloivat kokeen aikana tehtyyn havaintoon liekistä ontelon puolella noin ajassa 35 minuuttia.

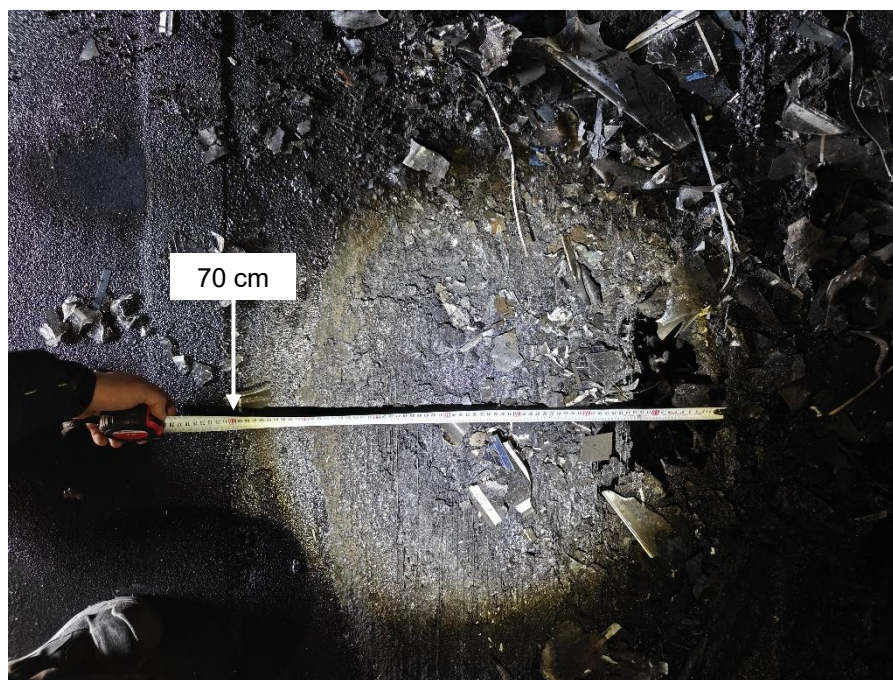
3.2.6. Katteen ja elementin vaurioituminen

Alla olevassa kuvassa on esitetty kokeen 1 aikana vaurioitunut alue, kun aurinkopaneeliasennus on purettu pois kattopinnalta.



Kuva 3.13 – Koe 1 vaurioitunut alue

Yllä esitetystä kuvasta nähdään, että palon aikana tulleet vauriot rajoittuvat sytytyslähteen yläpuolella olleen aurinkopaneelin alla olleelle alueelle. Alla olevassa kuvassa on esitetty vaurioituneen alueen laajuuden mittausta kattopinnalla.



Kuva 3.14 – Koe 1 kermin vaurioiden mittaus

Yllä esitetystä kuvasta nähdään, että kattopinnan kermin vaurioitunut alue on noin 70 cm aurinkopaneeliasennuksen telineen reunasta. Yllä olevista kuvista nähdään myös, että OSB on läpipalanut kokeen aikana.

Alla olevassa kuvassa on esitetty vauriokohta, kun siitä on purettu kermit pois OSB:n päältä. On huomioitava, että koe-elementti vaurioitui, kun sitä kuljetettiin pois testaushallista.



Kuva 3.15 – Koe 1 vaurioitunut OSB-levy

Alla olevassa kuvassa on esitetty koe-elementin sivusauma-alue elementin alapuolelta kokeen jälkeen.



Kuva 3.16 – Koe 1 sivusauma koe-elementin alapuolelta kokeen jälkeen

Yllä esitetyistä kuvista nähdään, että koe-elementti vaurioitui kokeen 1 aikana merkittävästi. Havaintojen perusteella todennäköisenä leviämisreittinä onteloon arvioitiin olevan koe-elementin sivusauma. Tätä tukee myös elementin ontelon puolen lämpötiladata, kts. Kuva 3.12.

3.3. Koe 2 – etelä-aurinkopaneeliasennus painokivillä

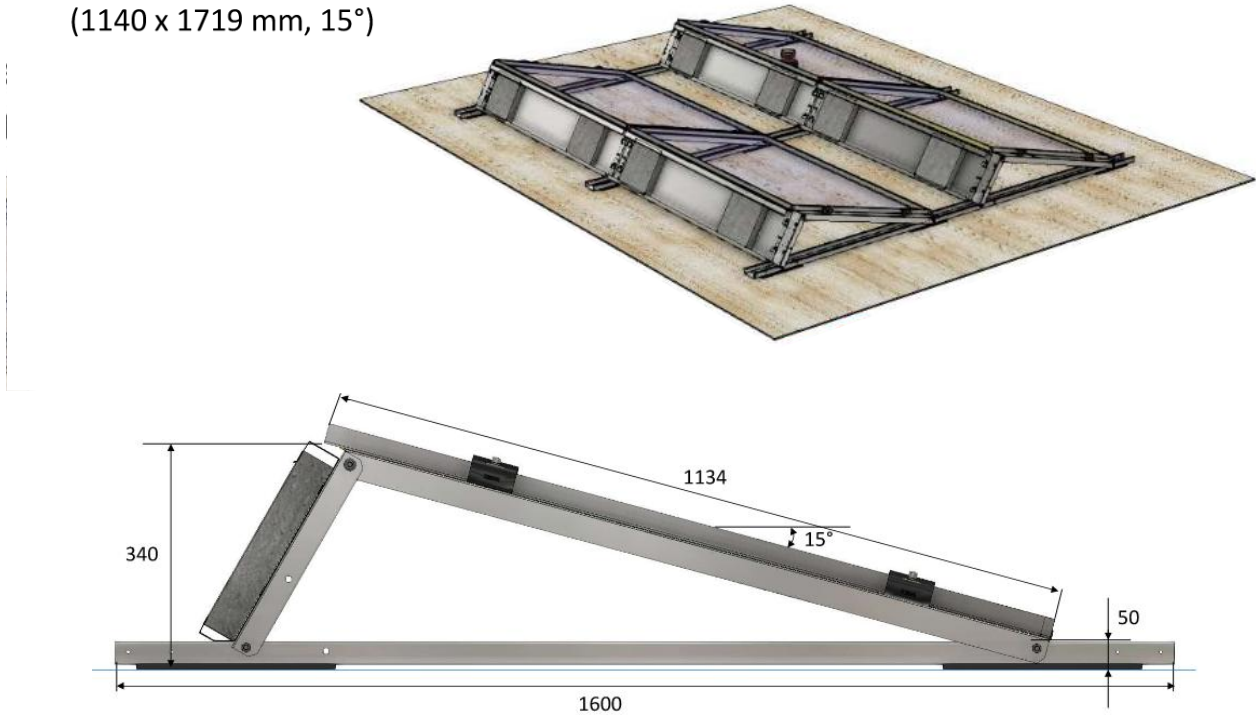
3.3.1. Koe-elementti

Kokeen 2 koe-elementti oli täysin vastaava kuin kappaleessa 3.2.1 on esitetty.

3.3.2. Aurinkopaneeliasennus

Kokeessa 2 aurinkopaneeliasennuksena oli etelä-asennus painokivillä, missä aurinkopaneelien (4 kpl, 1 719 mm x 1 140 mm) yläpinta oli lasia ja alapintana muovikalvo. Kokeen 2 aurinkopaneeliasennus on havainnollistettu alla olevassa kuvassa.

4. Etelä –teline painokivillä (1140 x 1719 mm, 15°)

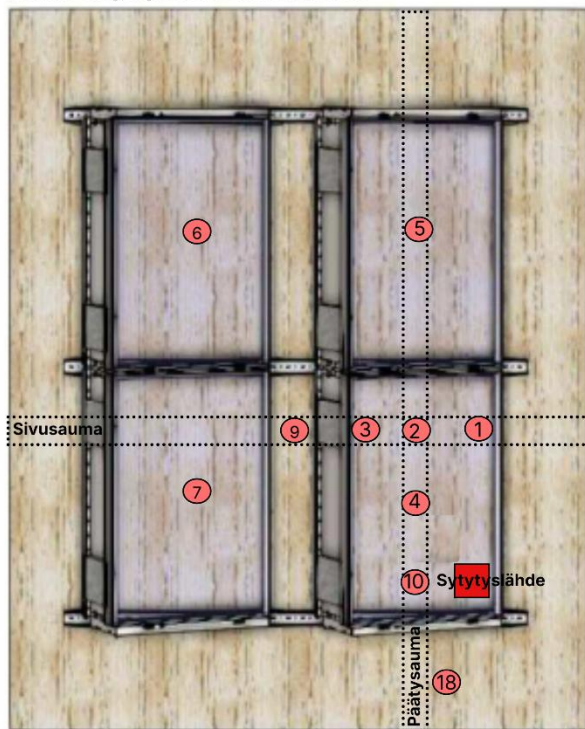


Kuva 3.17 – Koe 2 aurinkopaneeliasennus (Orima)

3.3.3. Mittaus ja havainnointi

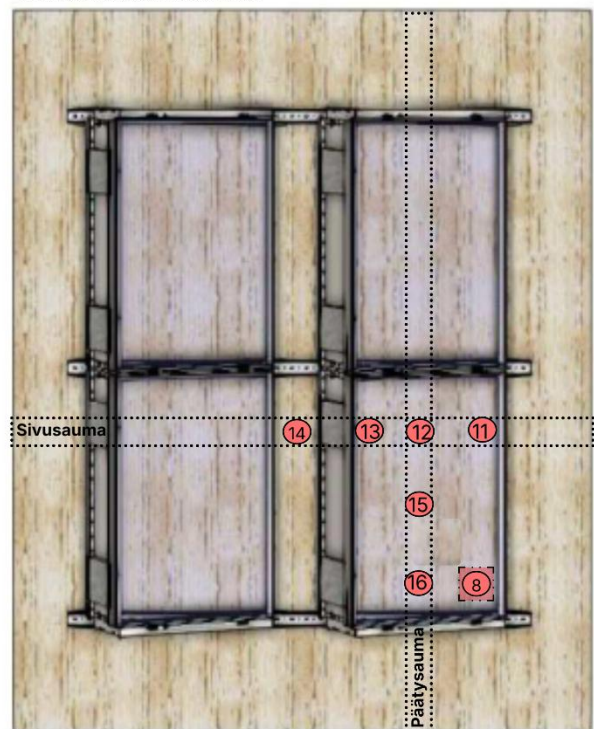
Kokeessa 2 koekappaleeseen asennettiin yhteensä 18 mittauspistettä koe-elementin pintakermin päälle, katteen alapintaan elementin ontelon puolelle ja sytytyslähteen yläpuolella olevan aurinkopaneelin yläpinnalle. Kokeen 2 mittauspisteet on esitetty alla olevassa kuvassa.

Katteen yläpuoliset mittaukset



Piste 17 sytytyslähteen yläpuolella olevan aurinkopaneelin yläpinnalla

Mittaukset ontelossa



Kuva 3.18 – Koe 2 mittauspisteet (ei mittakaavassa)

Kuten kokeessa 1, myös koe 2 kuvattiin sekä video- että lämpökameralla. Kokeen 2 koeasetelma ennen aurinkopaneelien kiinnittämistä ja sytytyslähteen sytytystä on esitetty alla olevassa valokuvassa.

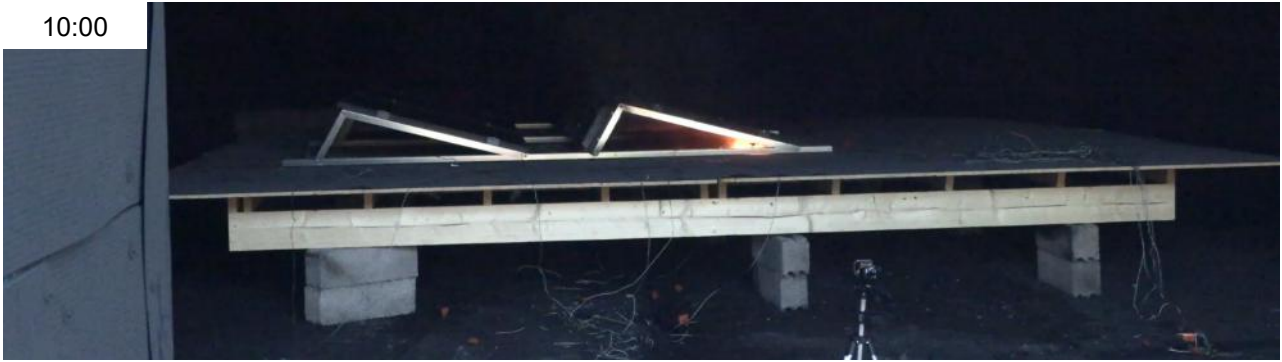


Kuva 3.19 – Koe 2 koeasetelma

3.3.4. Kokeen kulku

Kokeessa 2 sytytyslähde oli vastaava kuin kokeessa 1 ja sytytys tapahtui samalla tavalla kuin kokeessa 1 (kts. kappale 3.2.4). Kokeen 2 kulkua on havainnollistettu alla olevissa kuvissa. Kuvat ovat kuvankaappauksia kokeesta otetulta videolta.

10:00



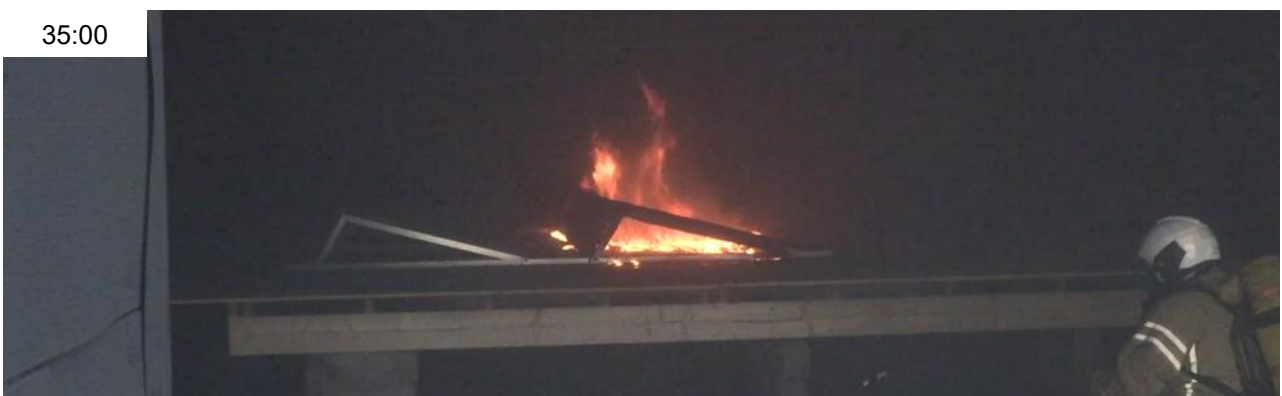
15:00



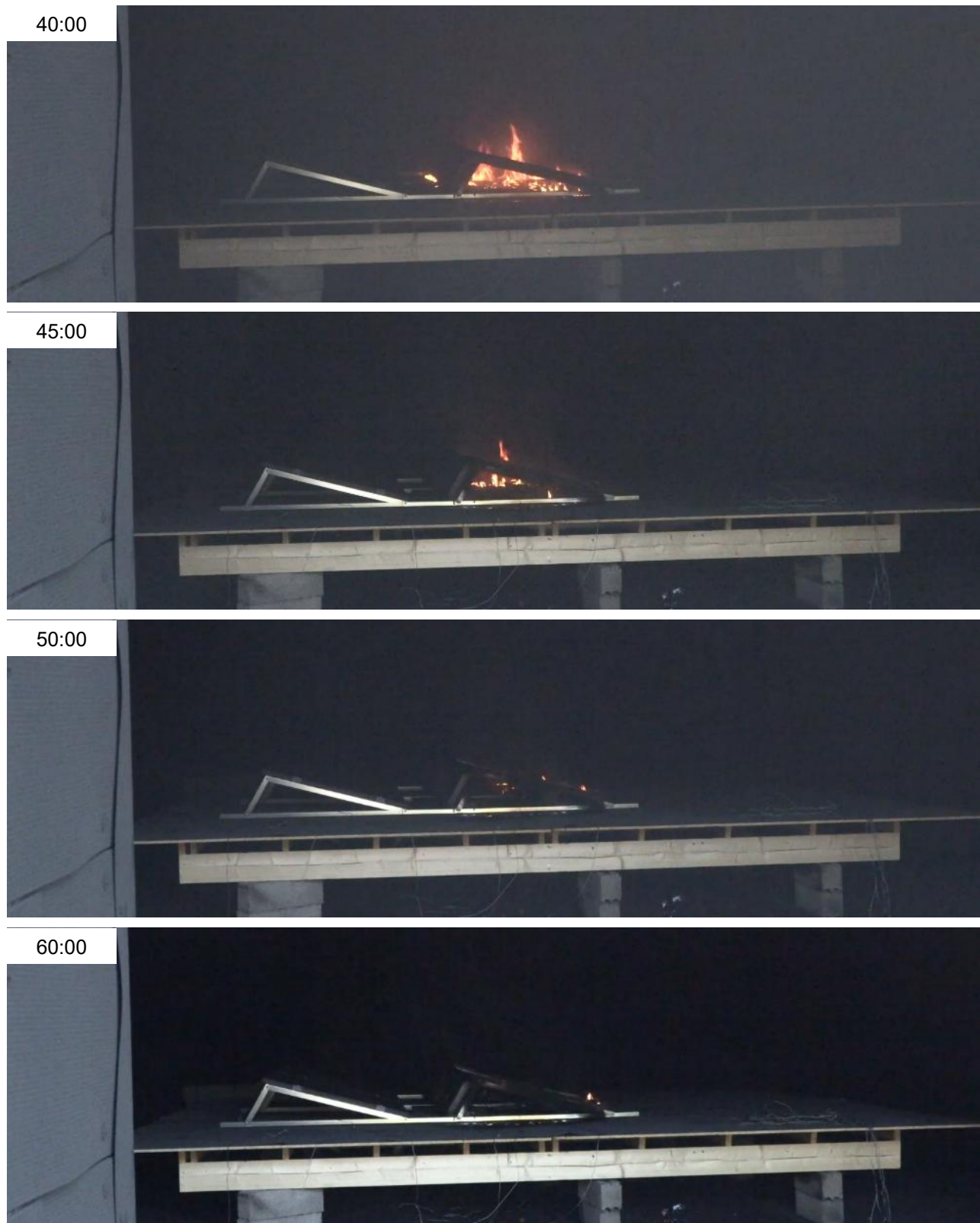
25:00



35:00



Kuva 3.20 – Kokeen 2 kulku, 10–35 min



Kuva 3.21 – Kokeen 2 kulku, 40–60 min

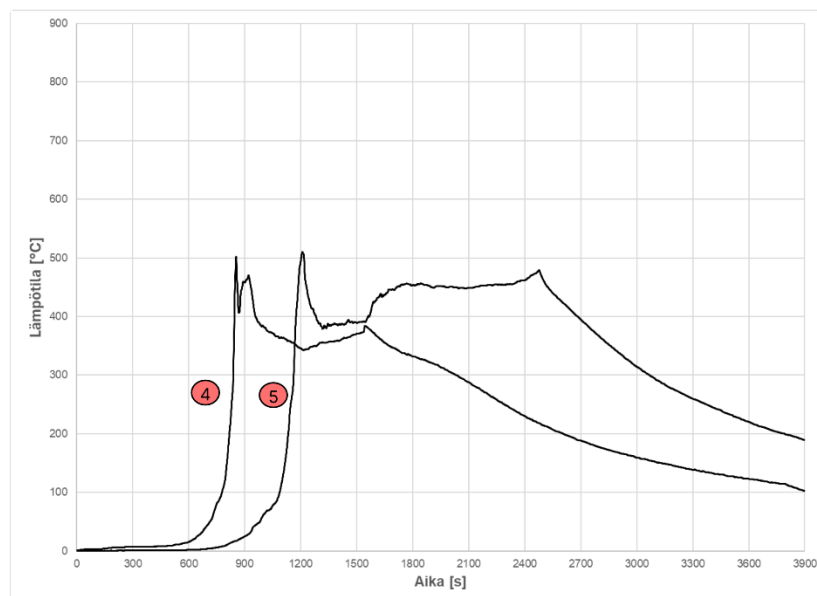
Koe 2 päättyi siihen, kun sytytyksestä oli kulunut 60 minuuttia ja hiipunut palo sammutettiin hiilidioksidisammuttimella. Kokeen aikana ei havaittu liekkiä elementin ontelon puolella. Alla olevassa kuvassa on esitetty kokeen 2 koeasetelma kokeen jälkeen.



Kuva 3.22 – Koe 2 kokeen jälkeen

3.3.5. Palon leviämisestä tehdyt havainnot

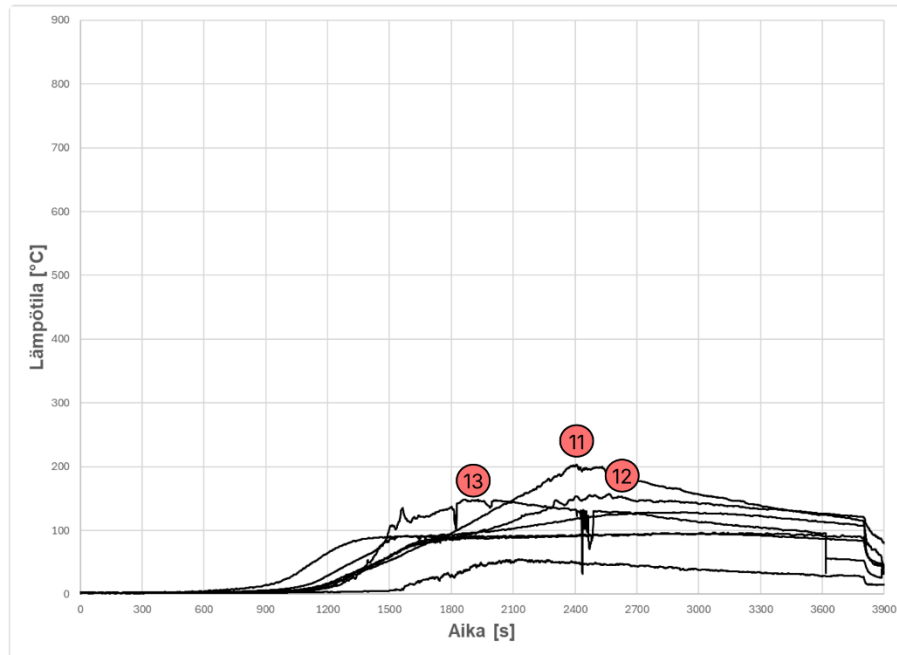
Alla olevassa kuvassa on esitetty kattopinnalla niiden aurinkopaneelien, joiden alle palo levisi, keskikohdissa olleiden mittauspisteiden (mittauspisteet 4 ja 5, kts. Kuva 3.18) lämpötilat.



Kuva 3.23 – Koe 2 lämpötilat aurinkopaneelien keskikohdissa kattopinnalla

Yllä olevista kuvista (kokeen kulku ja keskikohtien lämpötilat) havaitaan, että alkupalon sytyttämisen jälkeen kului noin 10 minuuttia, että palo alkoi leviä ensimmäisen aurinkopaneelin alla ja että se levisi viereisen aurinkopaneelin alle noin 15 minuutin (900 s) kohdalla. Kuvista nähdään myös, että palo ei levinnyt toiseen riviin kokeen aikana.

Alla olevassa kuvassa on esitetty elementin ontelon puolen mittauspisteiden lämpötilat.



Kuva 3.24 – Koe 2 lämpötilat ontelon puolella

Yllä olevasta kuvasta nähdään, että korkeimmat lämpötilat ovat olleet mittauspisteissä 11, 12 ja 13, jotka sijaitsivat sivusauman kohdalla ontelon puolella.

3.3.6. Katteen ja elementin vaurioituminen

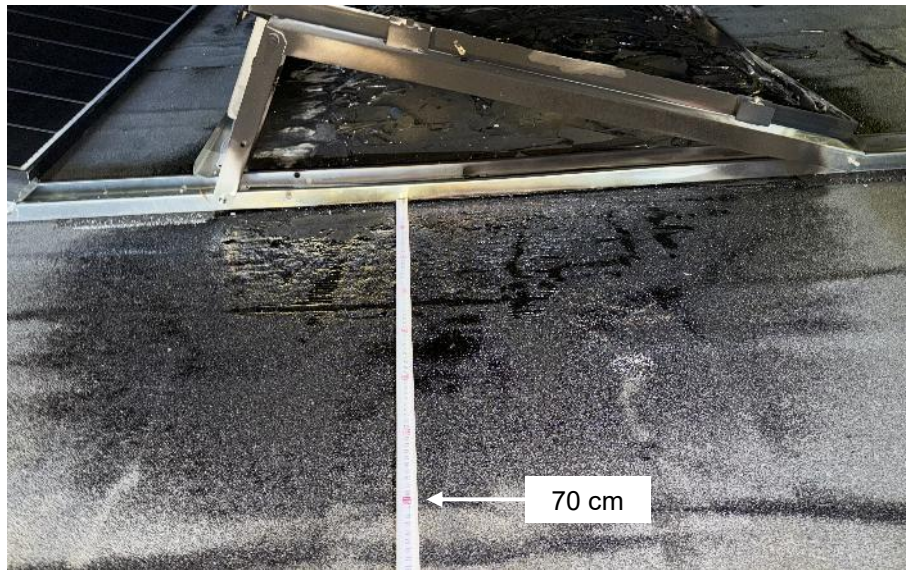
Alla olevassa kuvassa on esitetty kokeen 2 aikana vaurioitunut alue, kun aurinkopaneeliasennus on purettu pois kattopinnalta.



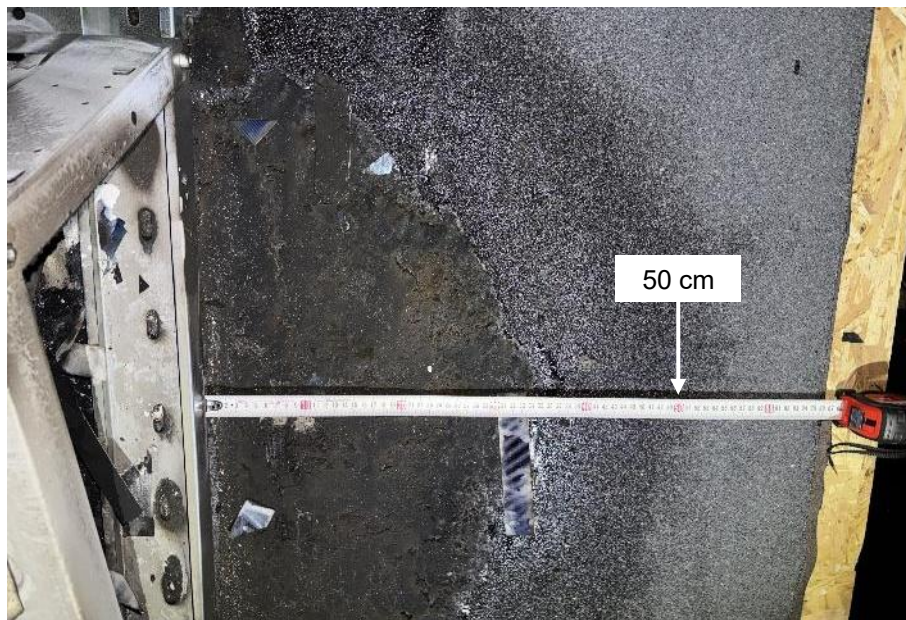
Kuva 3.25 – Koe 2 vaurioitunut alue

Alla olevassa kuvassa on esitetty vaurioituneen alueen laajuuden mittaukset kattopinnalla.

länsi



itä



Kuva 3.26 – Koe 2 kermin vaurioiden mittaus

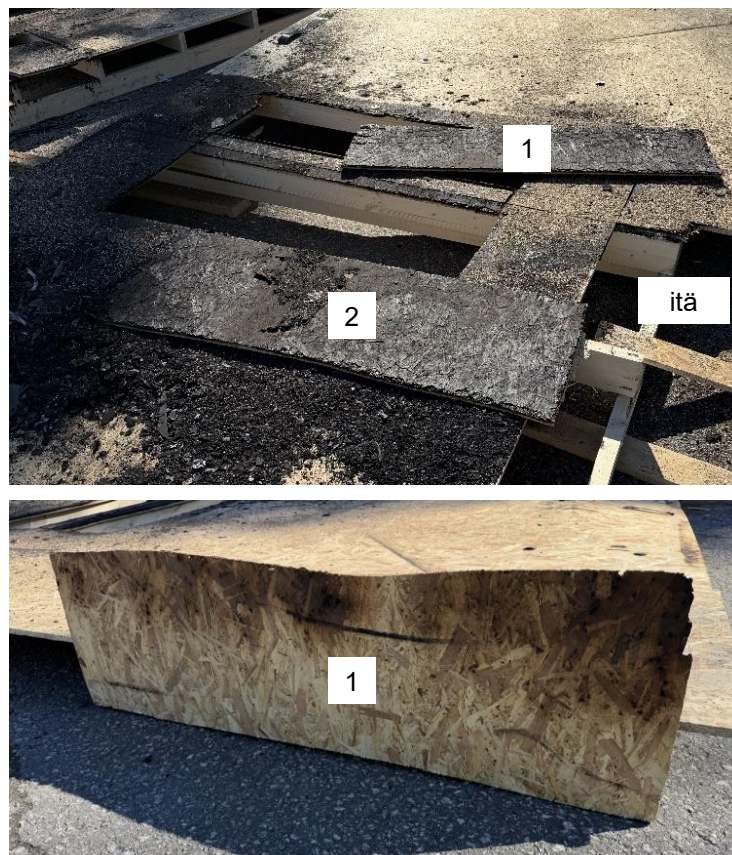
Yllä esitetystä kuvasta nähdään, että kattopinnan kermin vaurioitunut alue on noin 70 cm aurinkopaneeliasennuksen länsipuolella telineen reunasta ja noin 50 cm itäpuolella.

Alla olevassa kuvassa on esitetty vauriokohta, kun siitä on purettu kermi pois OSB:n päältä. On hyvä huomioida, että koko mustunut alue OSB-levyjen pinnalla ei välttämättä ole hiiltynyttä aluetta, sillä myös sulanut bitumi värjäsi OSB-levyjen pintaa.



Kuva 3.27 – Koe 2 vaurioitunut OSB-levy

Vaurioituneelta alueelta sahattiin kappaleita irti hiiltymisen tutkimiseksi. Kokeen 2 koe-elementin itäpuoli oli silmämääräisesti arvioiden pahemmin vaurioitunut. Alla olevassa kuvassa on esitetty elementin itäpuolelta sahatut OSB-levyn palat ja toinen niistä alapuolelta.



Kuva 3.28 – Koe 2 sahatut OSB-levyn palat

Kuten yllä olevasta kuvasta nähdään, kokeessa 2 OSB-levy on hiiltynyt paikoittain läpi, mutta ei ole hajonnut päästäten liekkiä levyn alapuolelle elementin onteloon.

Alla olevassa kuvassa on esitetty koe-elementin sivusauma-alue kokeen jälkeen.



Kuva 3.29 – Koe 2 sivusauma-alue kokeen jälkeen

Yllä olevasta kuvasta voidaan nähdä, että koolauskehä on säilynyt lähes vaurioitumattomana. OSB-levyn alla olleet koolauspuut ovat hieman tummuneet aivan OSB:n ja koolauksen liitospinnalla sauma-alueella. Saumasta on lisäksi valunut pikeä koolauspuiden päälle, kun kermi ovat sulaneet.

3.4. Koe 3 – etelä-aurinkopaneeliasennus hitsatuilla telineillä

3.4.1. Koe-elementti

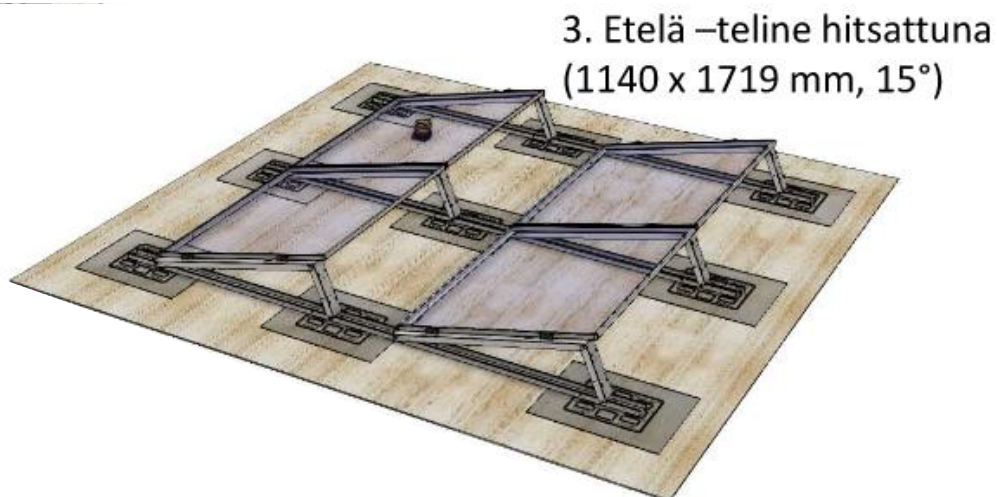
Kokeen 3 koe-elementti oli muuten vastaava kuin kappaleessa 3.2.1 on esitetty, mutta sivusaumaa päätettiin muuttaa kokeeseen 3. Peltikaistan sijasta sivusaumaan asennettiin OSB-levykaista. Tämän vuoksi alkuperäiseen koolauskehään lisättiin levennyspuut, jotka tiivistettiin viereisiin OSB-levyihin Würthin paloakryyllillä ja joihin OSB-kaista ruuvattiin kiinni. Tarkoituksena oli mukailla elementin päätysauman rakennetta. Kyseessä ei ole vakioratkaisu vaan ratkaisu kehitettiin kokeiden aikana, kun kokeesta 1 havaittiin, että palo levisi peltisaumasta onteloon. Muokattu sivusauma on esitetty alla olevassa kuvassa.



Kuva 3.30 – Koe 3 muokattu sivusauma

3.4.2. Aurinkopaneeliasennus

Kokeessa 3 aurinkopaneeliasennuksena oli tyypillinen etelä-asennus, missä aurinkopaneelien telineet hitsattiin bitumikermillä kattopintaan ja missä aurinkopaneelit olivat lasi-muovi-paneeleita (4 kpl, 1 719 mm x 1 140 mm), kuten kokeessa 2. Kokeen 3 aurinkopaneeliasennus on havainnollistettu alla olevassa kuvassa.

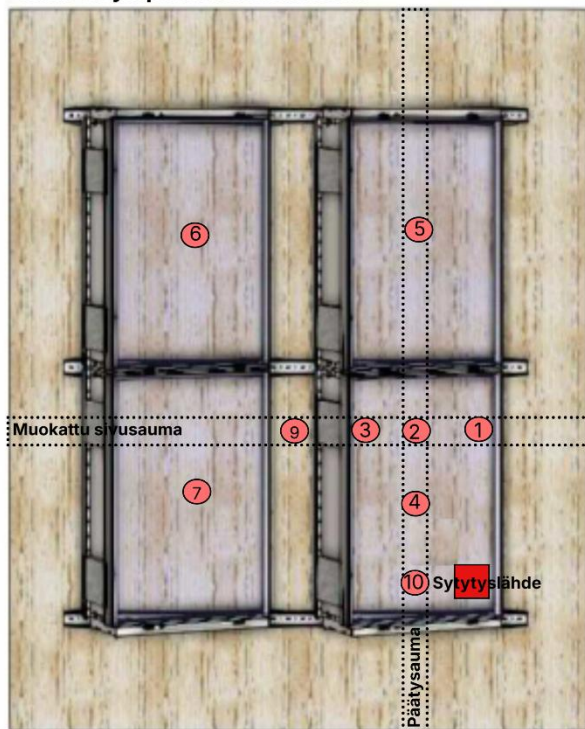


Kuva 3.31 – Koe 3 aurinkopaneeliasennus (Orima)

3.4.3. Mittaus ja havainnointi

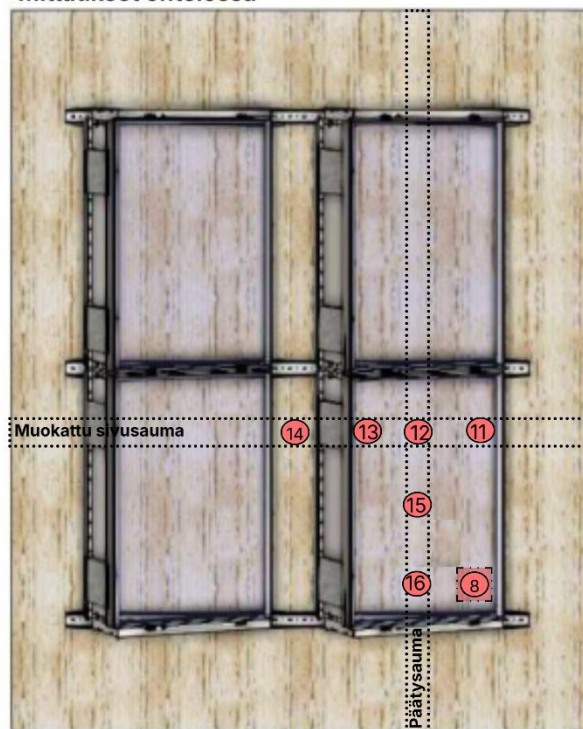
Kokeessa 3 koekappaleeseen asennettiin yhteensä 18 mittauspistettä koe-elementin pintakermin päälle, katteen alapintaan elementin ontelon puolelle ja sytytyslähteen yläpuolella olevan aurinkopaneelin sekä samalla rivillä viereisen aurinkopaneelin yläpinnalle. Kokeen 3 mittauspisteet on esitetty alla olevassa kuvassa.

Katteen yläpuoliset mittaukset



Piste 17 sytytyslähteen yläpuolella olevan aurinkopaneelin yläpinnalla
Piste 18 viereisen aurinkopaneelin yläpinnalla

Mittaukset ontelossa



Kuva 3.32 – Koe 3 mittauspisteet (ei mittakaavassa)

Kuten kokeissa 1 ja 2, myös koe 3 kuvattiin sekä video- että lämpökameralla. Kokeen 3 koeasetelma ennen aurinkopaneelien kiinnittämistä ja sytytyslähteen sytytystä oli vastaava kuin kappaleessa 3.3.3 on esitetty kokeessa 2 (kts. Kuva 3.19).

3.4.4. Kokeen kulku

Kokeessa 3 sytytyslähde oli vastaava kuin kokeissa 1 ja 2 ja sytytys tapahtui samalla tavalla kuin edellä on esitetty (kts. kappale 3.2.4). Kokeen 3 kulkua on havainnollistettu alla olevissa kuvissa. Kuvat ovat kuvankaappauksia kokeesta otetulta videolta.

10:00



15:00



20:00



25:00



Kuva 3.33 – Kokeen 3 kulku, 10–25 min

30:00



40:00



45:00



50:00



Kuva 3.34 – Kokeen 3 kulku, 30–50 min

55:00



60:00



Kuva 3.35 – Kokeen 3 kulku, 55–60 min

Koe 3 päättyi siihen, kun sytytyksestä oli kulunut 60 minuuttia ja hiipunut palo sammutettiin vedellä. Kokeen aikana ei havaittu liekkiä elementin ontelon puolella.

Testaushallin savutuuletuksen aikana koe-elementti syttyi uudestaan, jolloin liekkiä havaittiin myös ontelon puolella. Tämä on huomioitu tulosten käsittelyssä ja arvioinnissa.

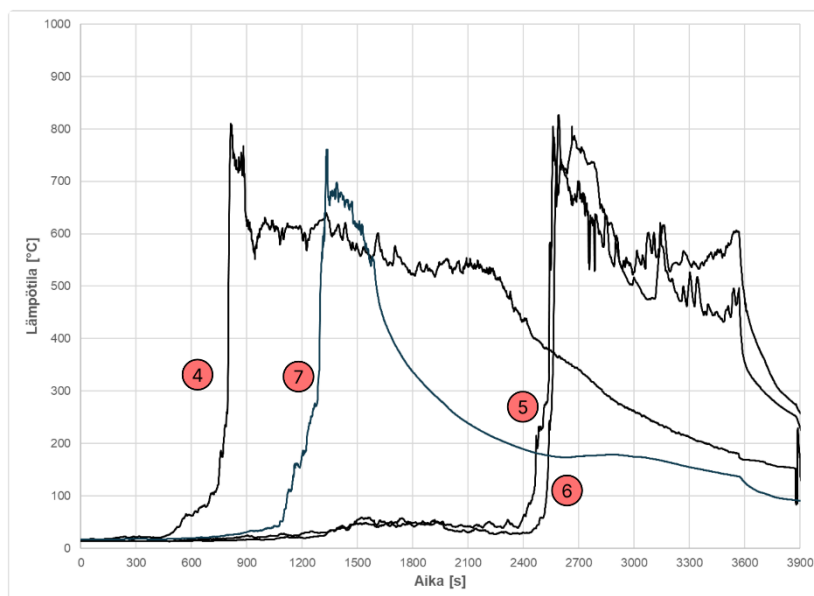
Alla olevassa kuvassa on esitetty kokeen 3 koeasetelma kokeen jälkeen.



Kuva 3.36 – Koe 3 kokeen jälkeen

3.4.5. Palon leviämisestä tehdyt havainnot

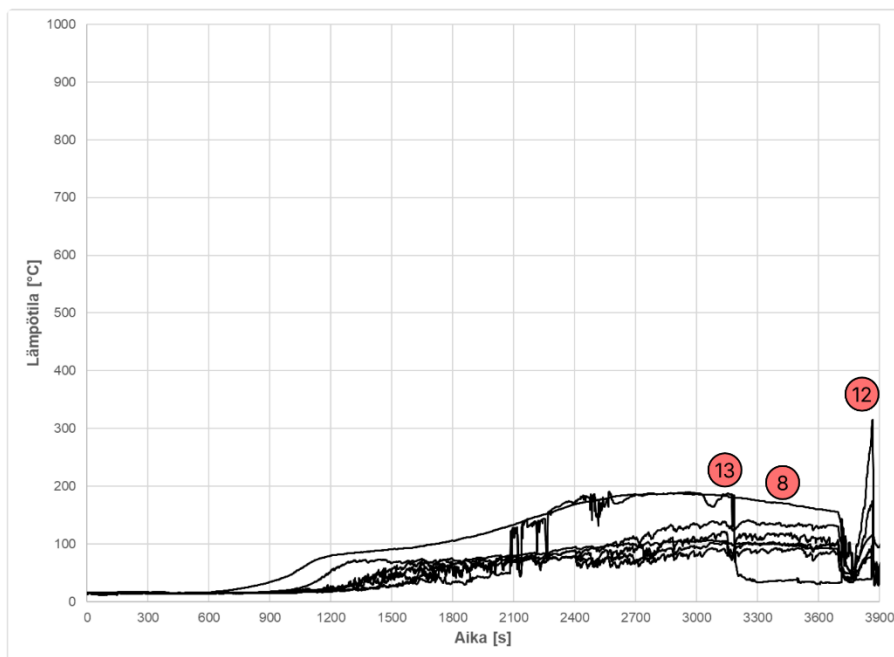
Alla olevassa kuvassa on esitetty kattopinnalla aurinkopaneelien keskikohdissa olleiden mittauspisteiden (mittauspisteet 4, 5, 6 ja 7, kts. Kuva 3.32) lämpötilat.



Kuva 3.37 – Koe 3 lämpötilat aurinkopaneelien keskikohdissa kattopinnalla

Yllä olevista kuvista (kokeen kulku ja keskikohtien lämpötilat) havaitaan, että alkupalon sytyttämisen jälkeen kului noin 10 minuuttia, että palo alkoi leviä ensimmäisen aurinkopaneelin alla ja että se levisi toiseen riviin noin 20 minuutin kohdalla. Kuvista voidaan nähdä myös, että palo hiipui kahden ensimmäisen paneelin alla noin 30 minuutin kohdalla, mutta levisi sitten vielä noin 40 minuutin (2400 s) kohdalla ensin ensimmäisen rivin toisen paneelin (mittauspiste 5) alle ja siitä lopulta myös toisen rivin toisen paneelin (mittauspiste 6) alle.

Alla olevassa kuvassa on esitetty elementin ontelon puolen mittauspisteiden lämpötilat.



Kuva 3.38 – Koe 3 lämpötilat ontelon puolella

Yllä olevasta kuvasta nähdään, että korkeimmat lämpötilat ovat olleet mittauspisteissä 8, 12 ja 13, jotka sijait-sivat sytytyslähteen alapuolella (8) ja muokatun sivusauman kohdalla ontelon puolella (12 ja 13).

Kuten edellä on todettu, koe 3 päättyi siihen, kun sytytyksestä oli kulunut 60 minuuttia (3600 s) ja hiipunut palo sammutettiin vedellä. Kuitenkin testaushallin savutuuletuksen aikana koe-elementti syttyi uudestaan, mikä näkyy lämpötilapiikkeinä yllä olevan kuvaajan lopussa.

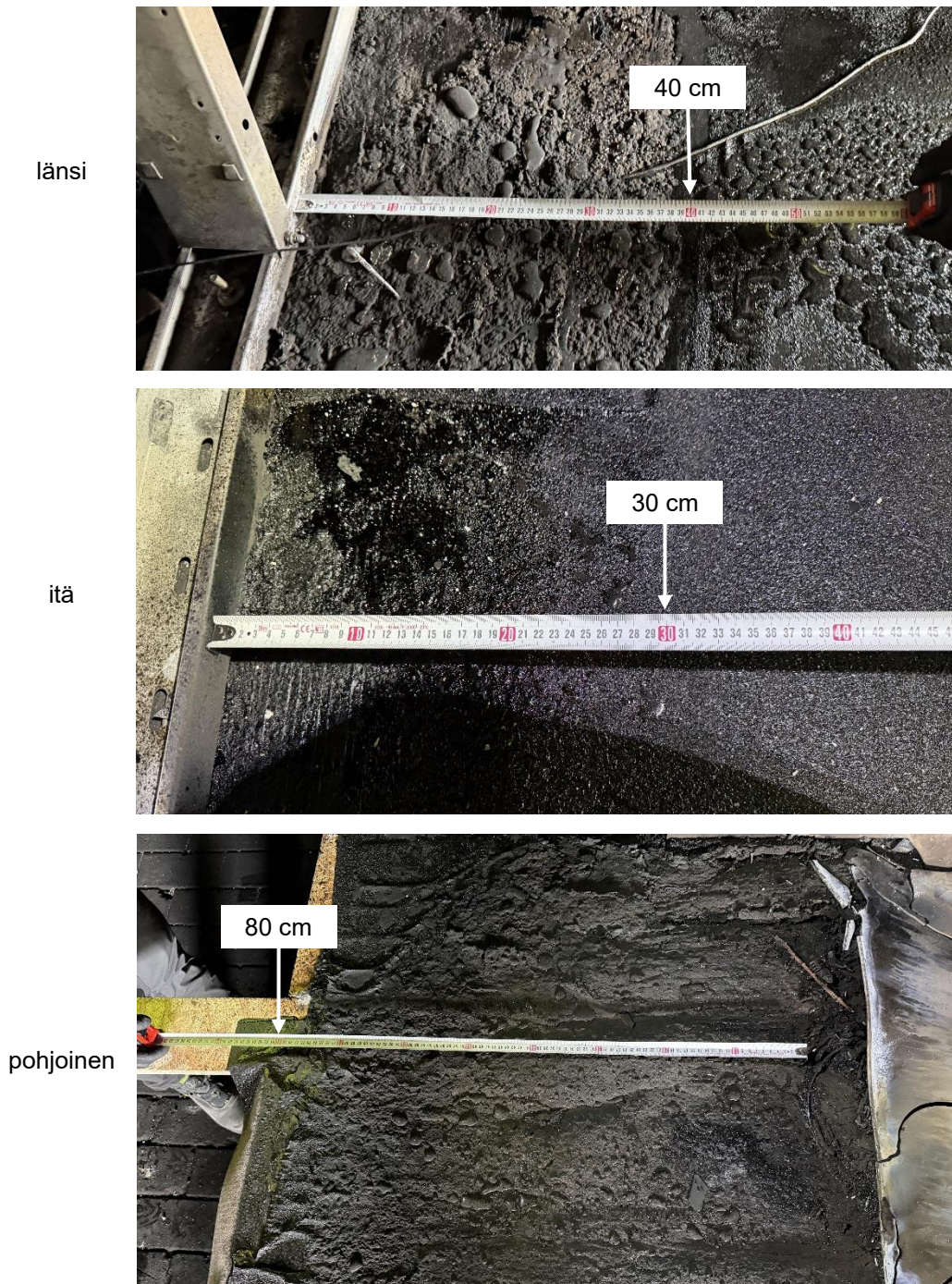
3.4.6. Katteen ja elementin vaurioituminen

Alla olevassa kuvassa on esitetty kokeen 3 aikana vaurioitunut alue, kun aurinkopaneeliasennus on purettu pois kattopinnalta.



Kuva 3.39 – Koe 3 vaurioitunut alue

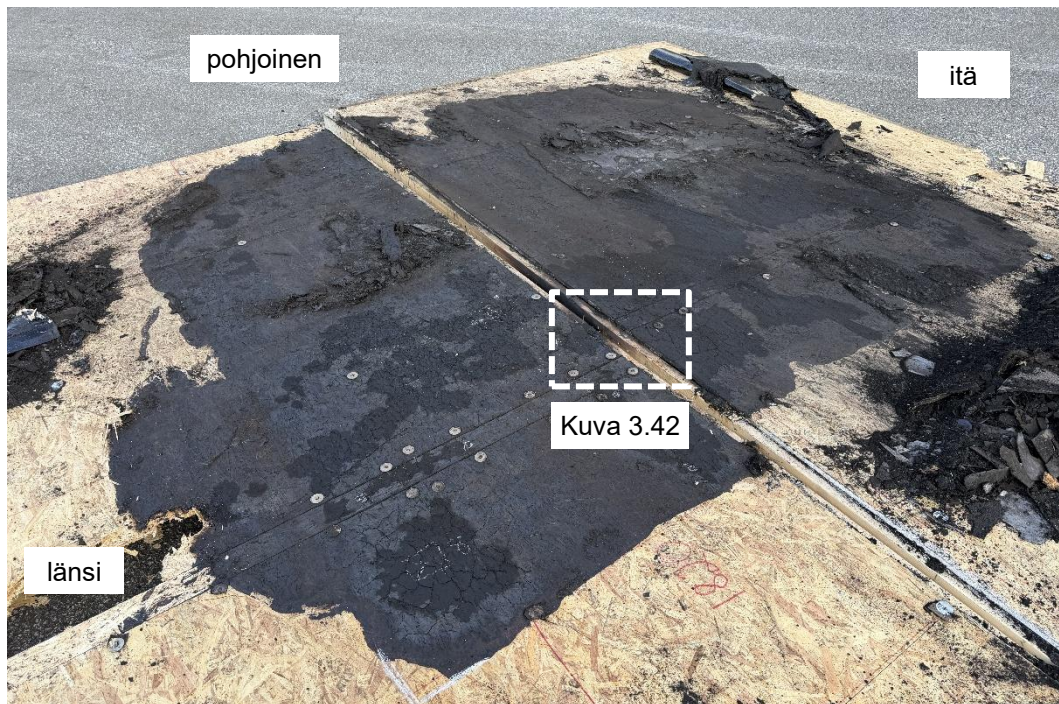
Alla olevassa kuvassa on esitetty vaurioituneen alueen laajuuden mittaukset kattopinnalla.



Kuva 3.40 – Koe 3 kermin vaurioiden mittaus

Yllä esitetystä kuvasta nähdään, että kattopinnan kermi on vaurioitunut laajimmalle, noin 80 cm, koe-elementin pohjoispuolella.

Alla olevassa kuvassa on esitetty vauriokohta, kun siitä on purettu kermi pois OSB:n päältä.



Kuva 3.41 – Koe 3 vaurioitunut OSB-levy

Alla olevassa kuvassa on esitetty koe-elementin sivusauma-alue (alkuperäisestä peltisaumasta muokattu) kokeen jälkeen.



Kuva 3.42 – Koe 3 sivusauma-alue kokeen jälkeen

Koepaikalla tehtyjen havaintojen perusteella arvioitiin, että testaushallin savutuuletuksen aikana tapahtunut uudelleensyttyminen ja siinä yhteydessä havaittu liekki elementin ontelon puolella johtuivat siitä, että koe-elementtiin muokatun sivusauman palonkesto petti.

Vaurioituneelta alueelta sahattiin kappaleita irti hiiltymisen tutkimiseksi. Sahaukset on esitetty alla olevassa kuvassa.



Kuva 3.43 – Koe 3 OSB-levyn sahaus

Yllä olevassa kuvassa esitetyistä OSB-levystä sahattuista paloista voitiin todeta, että kun sauma-alue jätetään pois tarkasteluista uudelleensyttymisen vuoksi, jatkuva OSB-levy ei hiiltynyt kokeessa 3 läpi asti. Alla olevassa kuvassa on esitetty yksi sahattuista OSB-levyn paloista.



Kuva 3.44 – Koe 3 sahattu OSB-levyn pala

3.5. Koe 4 – itä-länsi-aurinkopaneeliasennus ilman sivusaumaa

3.5.1. Koe-elementti

Kokeen 4 koe-elementti oli vastaava kuin kappaleessa 3.4.1 on esitetty, muokatulla sivusaumalla. Sivusauma rajattiin kuitenkin pois aurinkopaneeliasennuksen alta, koska kokeessa haluttiin minimoida aiemmin havaitun sauma-alueen uudelleensyttymisen riski.

3.5.2. Aurinkopaneeliasennus

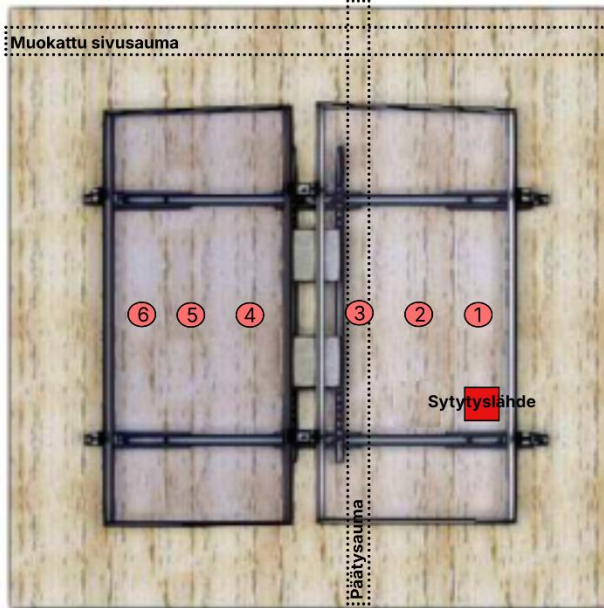
Kokeessa 4 aurinkopaneeliasennuksena oli sama itä-länsi-asennus kuin kokeessa 1, missä aurinkopaneelit (2 kpl, 2 382 mm x 1 134 mm) olivat sekä ylä- että alapinnaltaan lasia, kts. kappale 3.2.2 ja Kuva 3.6.

Kokeessa 4 aurinkopaneeliasennus asetoitiin koe-elementille siten, että muokattu sivusauma jäi asennuksen ulkopuolelle. Tarkoituksena oli siis toistaa koe 1 ilman sivusaumaa aurinkopaneeliasennuksen alla ja siten tutkia elementin päätysauman ja yhtenäisen OSB-levyn palonkestävyyttä.

3.5.3. Mittaus ja havainnointi

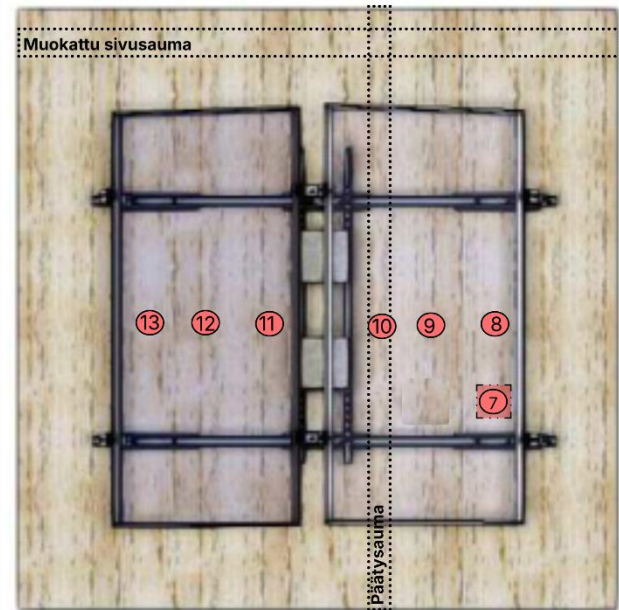
Kokeessa 4 koekappaleeseen asennettiin yhteensä 15 mittauspistettä koe-elementin pintakermin päälle, katteen alapintaan elementin ontelon puolelle ja aurinkopaneelien yläpinnalle. Kokeen 4 mittauspisteet on esitetty alla olevassa kuvassa.

Katteen yläpuoliset mittaukset



Piste 14 sytytyslähteen yläpuolella olevan aurinkopaneelin yläpinnalla
Piste 15 viereisen aurinkopaneelin yläpinnalla

Mittaukset ontelossa



Kuva 3.45 – Koe 4 mittauspisteet (ei mittakaavassa)

Kuten aiemmissakin kokeissa, myös koe 4 kuvattiin sekä video- että lämpökameralla. Kokeen 4 koeasetelma on esitetty alla olevassa valokuvassa.

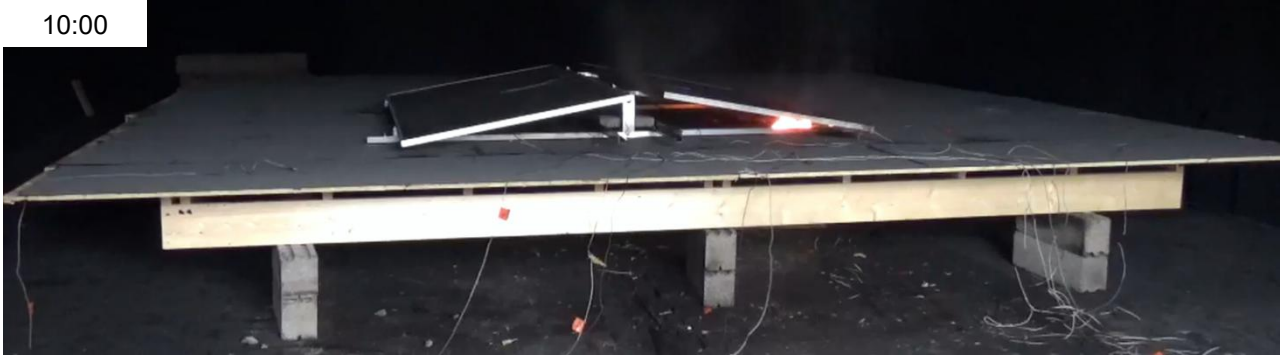


Kuva 3.46 – Koe 4 koeasetelma

3.5.4. Kokeen kulku

Kokeessa 4 sytytyslähde oli vastaava kuin edellisissä kokeissa ja sytytys tapahtui samalla tavalla kuin edellä on esitetty (kts. kappale 3.2.4). Kokeen 4 kulkua on havainnollistettu alla olevissa kuvissa. Kuvat ovat kuvankaappauksia kokeesta otetulta videolta.

10:00



15:00



20:00



25:00



Kuva 3.47 – Kokeen 4 kulku, 10–25 min

30:00



40:00



45:00



50:00



Kuva 3.48 – Kokeen 4 kulku, 30–50 min

55:00



60:00



Kuva 3.49 – Kokeen 4 kulku, 55–60 min

Koe 4 päättyi siihen, kun sytytyksestä oli kulunut 60 minuuttia ja palo sammutettiin vedellä. Kokeen aikana ei havaittu liekkiä elementin ontelon puolella.

Testaushallin savutuuletuksen aikana koe-elementti syttyi uudestaan, kuten kokeessa 3, mikä aiheutti sen, että liekkiä havaittiin myös ontelon puolella. Tämä on huomioitu tulosten käsittelyssä ja arvioinnissa.

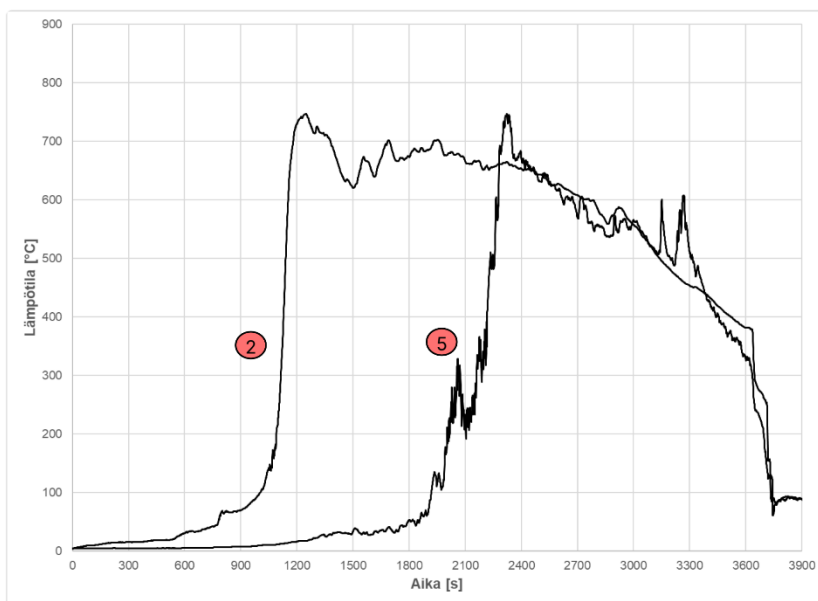
Alla olevassa kuvassa on esitetty kokeen 4 koeasetelma kokeen jälkeen.



Kuva 3.50 – Koe 4 kokeen jälkeen

3.5.5. Palon leviämisestä tehdyt havainnot

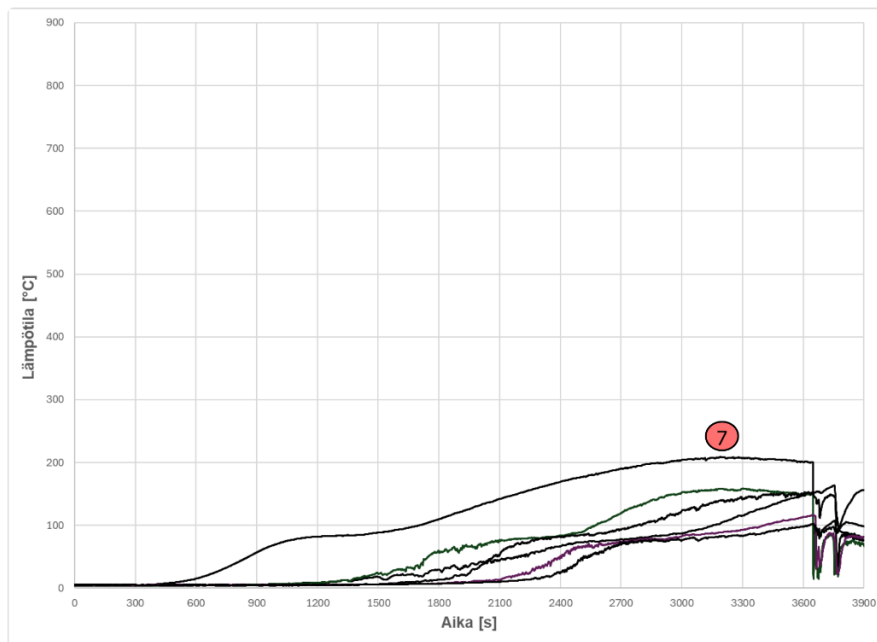
Alla olevassa kuvassa on esitetty kattopinnalla aurinkopaneelien keskikohdissa olleiden mittauspisteiden (mittauspisteet 2 ja 5 kts. Kuva 3.45) lämpötilat.



Kuva 3.51 – Koe 4 lämpötilat aurinkopaneelien keskikohdissa kattopinnalla

Yllä olevista kuvista (kokeen kulku ja keskikohtien lämpötilat) havaitaan, että alkupalon sytyttämisen jälkeen kului noin 10 minuuttia, että palo alkoi levitä ensimmäisen aurinkopaneelin alla ja että se levisi viereisen aurinkopaneelin alle noin 30 minuutin (1800 s) kohdalla.

Alla olevassa kuvassa on esitetty elementin ontelon mittauspisteiden lämpötilat.

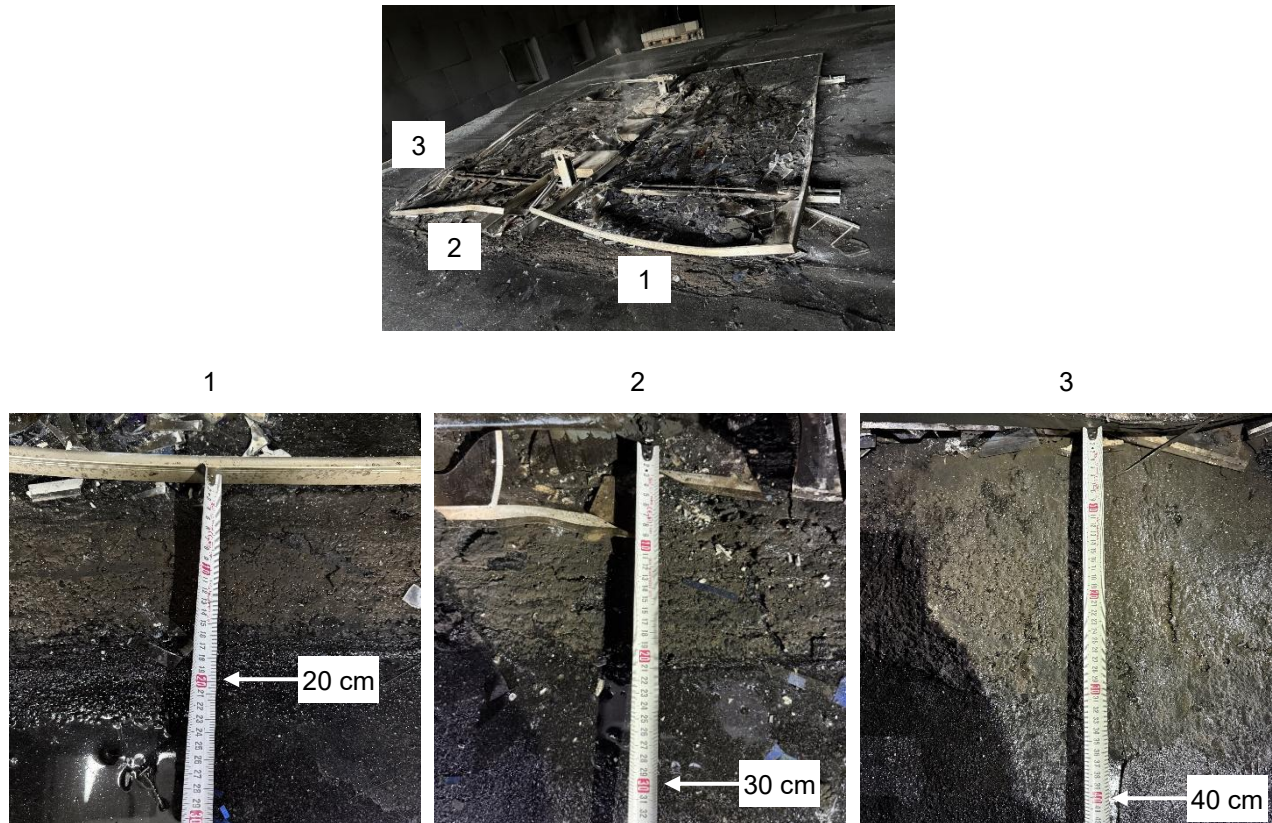


Kuva 3.52 – Koe 4 lämpötilat ontelon puolella

Yllä olevasta kuvasta nähdään, että korkein lämpötila on ollut mittauspisteessä 7, joka sijaitsi sytytyslähteen alapuolella.

3.5.6. Katteen ja elementin vaurioituminen

Alla olevassa kuvassa on esitetty kokeessa 4 vaurioituneen alueen laajuuden mittaukset kattopinnalla.



Kuva 3.53 – Koe 4 kermin vaurioiden mittaus

Yllä esitetystä kuvasta nähdään, että kattopinnan kermi on vaurioitunut laajimmillaan noin 40 cm aurinkopaneelin reunasta mitattuna. Leviäminen sivusuunnassa, kohdissa 1 ja 2, on samaa suuruusluokkaa kuin kokeessa 1 (kts. Kuva 3.14).

Alla olevassa kuvassa on esitetty koe-elementin alapuoli sytytyslähteen alapuolelta koe-elementin sammuttamisen jälkeen.



Kuva 3.54 – Koe 4 koe-elementin alapuoli kokeen jälkeen

Yllä olevasta kuvasta havaitaan, että OSB-levy on paikoin tummunut voimakkaasti ontelon puolella. Koepaikalla tehtyjen havaintojen perusteella arvioitiin, että testaushallin savutuuletuksen aikana tapahtunut uudelleensyttyminen ja siinä yhteydessä havaittu liekki elementin ontelon puolella johtuivat siitä, että hiiltymisen oli edennyt päätysaumassa syvemmälle, eikä sammutusvesi pystynyt kokonaan lopettamaan kytevää paloa sauman alueella. Päätysauma näkyy yllä olevan kuvan vasemmassa reunassa. Toinen yllä olevassa kuvassa näkyvä tummunut alue on sytytyslähteen alapuolelta.

Alla olevassa kuvassa on esitetty vauriokohta, kun siitä on purettu kermit pois OSB:n päältä. On huomioitava, että hiiltyneet OSB-levyt rikkoutuivat, kun koe-elementti kuljetettiin pois testaushallista ja kun siitä poistettiin kermit.



Kuva 3.55 – Koe 4 vaurioitunut OSB-levy

OSB-levyn laajasta vaurioitumisesta kuljetettaessa ja purettaessa voidaan arvioida, että levyt olivat hiiltyneet paikoittain niin syväälle, että ne eivät enää kestäneet mekaanista rasitusta. Vaurioituneelta alueelta sahattiin kuitenkin kappaleita irti hiiltymisen tutkimiseksi. Sahaukset on esitetty alla olevassa kuvassa.



Kuva 3.56 – Koe 4 OSB-levyn sahaukset

Alla olevassa kuvassa on esitetty sahattu OSB-levyn pala sytytyslähteen alapuolelta sekä koolauskehän hiiltynyt osa samasta kohtaa. Päätysauma-alueen tarkempi tarkastelu on jätetty pois uudelleensytytymisen seurauksena tapahtuneen laajan vaurioitumisen vuoksi.



Kuva 3.57 – Koe 4 hiiltymisen sytytyslähteen alapuolella

Kokeen aikana ja jälkeen tehtyjen havaintojen sekä yllä olevien kuvien perustella sytytyslähteen alapuolinen OSB-levy oli ehjä kokeen jälkeen, mutta se oli hiiltynyt läpi asti ja myös koolauskehä oli alkanut hiiltä sytytyslähteen alapuolella. Toisen aurinkopaneelin alapuolella olleet OSB-levyn palat eivät olleet hiiltäneet läpi.

4. Polttokokeiden tulosten yhteenveto ja arviointi

4.1. Palon leviäminen paneelikentässä

Edellä luvussa 3 on esitelty tehdyt polttokokeet ja niistä saadut tulokset. Edellä esitetyn perusteella kaikissa kokeissa aika sytytyslähteen sytyttämisestä siihen, että palo alkoi levitä ensimmäisen aurinkopaneelin alla, kului noin 10 minuuttia. Voidaankin todeta, että sytytys (sytytyslähde ja sytytystapa) oli hyvin toistettavissa joka kokeessa ja että eri kokeiden alkupalot vastasivat toisiaan. Katteen pinnalta eri kokeissa mitattujen lämpötilojen perusteella voidaan todeta, että tarpeeksi suurella alkupalolla palo kehittyi voimakkaaksi ensimmäisen paneelin alla noin 15–20 minuutissa.

Kokeissa 1 ja 4 testattavana aurinkopaneeliasennuksena oli tyypillinen itä-länsi-asennus kahdella aurinkopaneelilla. Kokeessa 1 palo ei ehtinyt levitä toisen aurinkopaneelin alle ennen kuin liekki havaittiin koe-elementin ontelon puolella ja koe lopetettiin. Kokeessa 4 taas palo levisi toisen aurinkopaneelin alle noin 30 minuuttia sytytyksen jälkeen, mutta ei siitä enää merkittävästi etäämmälle kokeen aikana.

Kokeissa 2 ja 3 testattavana aurinkopaneeliasennuksena oli tyypillinen neljän aurinkopaneelin etelä-asennus, joista toisessa oli painokivet ja toisessa katteen pintaan hitsatut telineet. Kokeessa 2, jossa oli painokivet, palo levisi vain yhdellä rivillä. Leviäminen molempien samassa rivissä olleiden aurinkopaneelien alle tapahtui noin 15 minuutissa. Palo ei kuitenkaan levinnyt toiseen riviin lainkaan ennen kuin se alkoi hiipua itsestään. Tämän arvioitiin johtuvan siitä, että painokiviä varten asennettavat taustapellit telineen korkeammassa päässä sulkevat yhden aurinkopaneelirivistön alle jäävän tilan eikä palo tällöin pääse purkautumaan paneelien alta vapaasti seuraavalle riville.

Kokeessa 3, jossa ei ollut painokiviä vaan hitsaamalla kiinnitetyt telineet, palo levisi kaikkien neljän aurinkopaneelin alle. Palo levisi ensimmäisenä seuraavalla rivillä olleen paneelin alle ja vasta sitten sivusuunnassa ensimmäisen rivin toisen paneelin alle ja lopulta myös toisen rivin toisen paneelin alle. Palo levisi viimeisenkin aurinkopaneelin alle noin 40 minuutissa. Vaikka palo levisi kaikkien aurinkopaneelien alle, se hiipui ensin kahden ensimmäisenä palaneen paneelin alla ennen kuin levisi kahteen viimeiseen ja hiipui sitten myös näiden alla kokeen loppuvaiheessa. Palon laajempi leviäminen kokeeseen 2 verrattuna arvioidaan johtuvan siitä, että kokeessa 3 ei ollut taustapeltejä painokiviä varten, jolloin palo pääsi purkautumaan vapaammin aurinkopaneelien alta.

Tulosten perusteella voidaan arvioida, että etelä-asennus katteen pintaan hitsatuilla telineillä on palon leviämisen kannalta epäsuotuisin aurinkopaneeliasennus. Kokeessa 3, missä aurinkopaneeliasennus oli tällainen, palo hiipui kokeen loppua kohden, mutta voidaan arvioida, että suuremmalla aurinkopaneelikentällä palo todennäköisesti jatkaisi leviämistä aina seuraavien paneelien alle, vaikka edellisten alla palo jo hiipuisi.

4.2. Palon leviäminen onteloon

Yhtenä polttokokeiden päätutkimusaiheena oli tutkia, eteneekö syttynyt palo kattoelementin onteloon eli meneekö se läpi kattoelementin katteesta tai sen epäjatkuvuuskohdista kokeiden tavoitteellisen keston (60 minuuttia) aikana. Tämän toteaminen kokeiden aikana perustui paikalla olleiden havainnointiin koetilanteessa.

Edellä luvussa 3 esitettyjen tulosten perusteella pallo levisi koe-elementin ontelon puolelle kokeen aikana vain kokeessa 1. Kokeesta 1 tehtyjen havaintojen ja mittausten perusteella todennäköiseksi leviämisreitiksi voidaan arvioida koe-elementin sivusauma. Jo ennen kokeita tutkimusryhmässä arvioitiin, että kyseinen

sivusauma peltikaistalla, voisi tulla olemaan elementin heikoin kohta. Kokeen 1 jälkeen tehtyjen arvioiden pohjalta sivusauma päätettiin muuttaa toiseen etelä-asennuksella tehtävään kokeeseen (koe 3, kts. luku 3.4.1) kuin myös viimeiseen itä-länsi-asennuksella tehtävään kokeeseen (koe 4), mutta tässä sivusauma rajattiin pois aurinkopaneeliasennuksen alta.

Vaikka kokeessa 2 oli identtinen koe-elementti (sis. sivusauma peltikaistalla) kokeen 1 kanssa, kokeessa 2 palo ei levinnyt koe-elementin ontelon puolelle. Kokeessa 2 aurinkopaneeliasennus oli etelä-asennus painokivien kanssa, missä taustapelti sulki aurinkopaneelirivistöt omiksi onteloiksi. Kokeessa 2 kattopinnalla (aurinkopaneelien keskellä) esiintyneet lämpötilat olivat matalampia kuin kokeessa 1 (myös matalampia kuin kokeissa 3 ja 4), mikä on voinut vaikuttaa siihen, että palo ei levinnyt onteloon.

Kokeissa 3 ja 4 ei havaittu palon leviämistä koe-elementin ontelon puolelle (ts. liekkiä ontelon puolella) kokeiden aikana, mutta testaushallin savutuuletuksen aikana tapahtuneissa uudelleensyttymisissä liekki havaittiin ontelon puolella molempien kokeiden jälkeen. Molemmissa tapauksissa arvioitiin jo koepaikalla, että liekki olisi päässyt ontelon puolelle koe-elementin saumakohdista. Voidaankin arvioida, että liekin havaitseminen ontelon puolella vasta kokeen jälkeen johtui siitä, että kriittiset kohdat, kuten em. saumat, kyseisten kokeiden elementeissä olivat vaurioituneet kokeen aikana siten, että elementteihin sammutuksen jälkeen mahdollisesti jäänyt kyteminen ja savutuuletuksessa tilaan puhallettu lisäilma saivat elementit syttymään uudestaan ja kriittiset kohdat vuotamaan.

Kokeiden 3 ja 4 jälkeen tapahtuneiden uudelleensyttymisten perusteella voidaan todeta, että puukattoelementistä rakennetun katon ja aurinkopaneelikentän palossa sammuttamisen jälkeinen raivaus ja jälkivartiointi on tehtävä huolella. Tulosten perusteella voidaan todeta myös, että kattoelementtiasennusten epäjatkuvuuskohdista tulisi tutkia vielä lisää.

4.3. Vaurioituminen palon aikana

4.3.1. Katteen yläpuoli

Katteen yläpuolisten vaurioiden avulla voidaan tutkia palon leviämislaajuutta aurinkopaneelikentän ulkopuolella. Leviämislaajuuden mittausten perusteella voidaan arvioida sekä katteen käyttäytymistä (miten se levittää paloa) että riittävää turvaetäisyyttä aurinkopaneelikenttien välillä.

Kokeissa 1 ja 4, joissa aurinkopaneeliasennuksena oli itä-länsi-asennus, katteen bitumikermi vaurioitui aurinkopaneelikentän ulkopuolelle laajimmillaan noin 70 cm etäisyydelle. Kokeessa 2, jossa aurinkopaneeliasennuksena oli etelä-asennus painokivillä, vaurio oli yhtä laaja. Näissä kokeissa vauriot olivat laajimmillaan aurinkopaneelien lyhyemmällä sivuilla eli pitkittäin.

Kokeessa 3, jossa aurinkopaneeliasennuksena oli etelä-asennus katteen pintaan hitsatuilla telineillä, katteen bitumikermi vaurioitui aurinkopaneelikentän ulkopuolelle laajimmillaan noin 80 cm etäisyydelle. Kokeessa 3 laajin vaurio oli aurinkopaneelikentän pohjoispuolella eli poikittain aurinkopaneelisiin nähden.

Edellä esitettyjen tulosten perusteella voidaan arvioida, että aurinkopaneeliasennus bitumikermikatteen (B_{ROOF} (t2)) päällä voimistaa paloa siten, että se leviää ja vaurioittaa bitumikermiä laajemmalla alueella kuin katteiden luokitusstandardi [7] sallisi (Test 2-testimenetelmässä sallittu vaurioitumisetäisyys tuulen vaikutus huomioiden: keskimäärin 55 cm ja korkeintaan 80 cm). Kokeissa pyrittiin minimoimaan tuulen vaikutus koetuksiin, kun taas Test 2-testimenetelmässä, jota Suomessa käytetään, tuuli on mukana menetelmässä. Jos

siis tuuli olisi päässyt vaikuttamaan koetilanteessa, leviämislajuuudet olisivat voineet olla suurempia. Tuulen vaikutus katteen vaurioitumiseen havaittiin Liitteessä 1 esitetyissä esitesteissä, missä bitumikermi vaurioitui 1,2 metrin etäisyydelle aurinkopaneeliasennuksen reunasta, kun tuuli pääsi vaikuttamaan paloon vapaasti.

Pelastuslaitosten kumppanuusverkoston valmistelemissa ja julkaisemassa Aurinkosähköjärjestelmien paloturvallisuus-ohjeessa [3] aurinkopaneelientien (suositeltava enimmäiskoko katolla 20 m x 20 m) väliin suositellaan jätettäväksi vähintään 2 metrin levyinen käytävä. Edellä esitettyjen katteen vaurioitumisen tulosten perusteella 2 m olisi riittävä etäisyys rajoittamaan palon leviämistä erotettujen aurinkopaneelientien välillä.

4.3.2. Katteen alapuoli

Toinen tarkasteltava palon aiheuttamien vaurioiden osa-alue on vauriot katteen alapuolella, mikä liittyy erityisesti palon leviämiseen elementin onteloon. Kuten edellä on todettu, kokeissa 3 ja 4 tapahtui uudelleensyttyminen testaushallin savutuuletuksen aikana aiheuttaen lisävaurioita koe-elementteihin, mikä on huomioitava kokeiden tuloksia käsiteltäessä.

Kokeessa 1 palo levisi koe-elementin ontelon puolelle, todennäköisesti elementin sivusauman kautta, huomattavasti ennen kokeen tavoiteltua kestoa (60 minuuttia). Kokeen 1 koe-elementti vaurioitui palon leviämisessä pahoin (kts. luku 3.2.6) eikä siitä sen vuoksi voida tehdä yleistäviä johtopäätöksiä. Palon leviäminen elementin onteloon peltikaistaisen sivusauman kautta kuitenkin vahvasti tutkimusryhmän ennakoarvion siitä, että kyseinen kohta olisi todennäköisesti heikoin.

Kokeissa 2, 3 ja 4 palo ei levinnyt koe-elementin ontelon puolelle kokeiden aikana (60 minuuttia). Kokeessa 2 bitumikermien alla ollut OSB-levy oli kuitenkin paikoin hiiltynyt läpi asti. Läpihiiltymisen tapahtui aurinkopaneelirivin toisen aurinkopaneelin alla eli sytytyslähteen yläpuolisesta paneelistä viereisen paneelin alla. Tähän viittaavat myös kattopinnalla aurinkopaneelien keskikohdissa olleiden mittauspisteiden (kts. luku 3.3.5 ja Kuva 3.23) lämpötilat, joista voidaan havaita, että kyseisen paneelin alla lämpötila oli pitempään korkeammalla. Kokeessa 2 ontelon puolen mittauspisteitä oli vain koe-elementin saumojen kohdilla ja sytytyslähteen alapuolella, joten lämpötiladataa ei ole läpihiiltyneen kohdan alapuolelta.

Kokeen 3 jälkeen koe-elementissä ei havaittu läpihiiltymistä, kun kokeen jälkeen tapahtunut uudelleensyttymisen ja siitä johtuneet lisävauriot jätetään huomioimatta. Myös koe-elementin alapuolen mittauspisteiden lämpötiladata (kts. Kuva 3.38) tukee tätä havaintoa, kun hiiltymisrajana pidetään 300 °C ja lämpötilat pysyivät alle 200 °C. Uudelleensyttymisestä ja sen yhteydessä havaitusta likeistä elementin ontelon puolella voidaan kuitenkin päätellä, että koe-elementti oli vaurioitunut kokeen aikana siten, että uudelleensyttymisessä elementin kriittisten kohtien palonkestävyys petti.

Kokeessa 4, kuten myös kokeessa 2, OSB-levy hiilti paikoin läpi asti, vaikka palo ei levinnyt elementin ontelon puolelle kokeen aikana. Kun tulosten käsittelystä jätetään uudelleensyttymisen aiheuttamat vauriot pois, läpihiiltymisen tapahtui sytytyslähteen alapuolella. Sytytyslähteen alapuolella OSB-levy oli hiiltynyt läpi asti siten, että myös sen alla ollut koolauspuu oli alkanut hiiltä. Vaikka yleisenä hiiltymisrajana pidetään 300 °C, kokeen 4 ontelon puolen mittauspisteiden lämpötiladatasta (kts. Kuva 3.52) nähdään, että sytytyslähteen alapuolella lämpötila on ollut kokeen aikana vain hieman yli 200 °C ja silti OSB-levy hiilti läpi asti. On huomioitava, että kokeessa mittauspisteiden sijoittamiseen liittyy aina epätarkkuutta ja voikin olla, että mittauspiste ei ole osunut aivan kuumimpaan kohtaan sytytyslähteen alapuolella.

Kokeen 4 jälkeen tapahtuneesta uudelleensyttymisestä ja sen yhteydessä havaitusta likeistä elementin ontelon puolella voidaan päätellä, että koe-elementti oli vaurioitunut kokeen aikana siten, että uudelleensyttymisessä elementin kriittisten kohtien palonkestävyys petti. Kokeen 4 koe-elementti myös vaurioitui kuljetettaessa ja purettaessa enemmän kuin kokeiden 2 ja 3 elementin, mistä voidaan arvioida, että jatkuvakin OSB-levy oli hiiltynyt paikoittain niin syväälle, että se ei enää kestänyt mekaanista rasitusta.

Kokeiden aikana tapahtuneesta koe-elementtien vaurioitumisesta elementin ontelon puolella voidaan todeta, että palo ei levinnyt elementin ontelon puolelle jatkuvan 18 mm OSB-levyn läpi 60 minuutin palossa, vaikka paikoin tapahtui läpihiiltymistä. Näin ollen 18 mm OSB-levy olisi riittävän paksu itsessään pienentämään riskiä palon leviämisestä onteloon sen läpi. Epävarmuus palon leviämisessä elementin ontelon puolella linkittyy erityisesti kattoelementtien epäjatkuvuuskohtiin ja kuten edellä on jo todettu, niitä tulisi tutkia vielä lisää.

4.4. Koontitaulukko kokeista ja niiden tuloksista

Alla on esitetty koontitaulukko kokeiden koejärjestelyistä sekä keskeisistä tuloksista.

Taulukko 4.1 – Kokeiden koontitaulukko

Koe	Aurinkopaneeliasennus	Aurinkopaneelityyppi	Sivusaumadetalji	Leviäminen paneeliken- tässä	Vaurioitumislajaus, max	Leviäminen onteloon kokeen aikana	Jälkisyttyminen
Koe 1	Itä-länsi 2 paneelia	Lasi-lasi 2 382 mm x 1 134 mm	Sivusauma peltikaistalla	Vain 1. paneelin alla	n. 70 cm	Kyllä	Ei
Koe 2	Etelä paino- kivillä 4 paneelia	Lasi-muovi 1 719 mm x 1 140 mm	Sivusauma peltikaistalla	Samassa rivissä olevien paneelien alle	n. 70 cm	Ei	Ei
Koe 3	Etelä hitsatuilla telineillä 4 paneelia	Lasi-muovi 1 719 mm x 1 140 mm	Muokattu sivusauma OSB-levyllä	Kaikkien paneelien alle	n. 80 cm	Ei	Kyllä
Koe 4	Itä-länsi 2 paneelia	Lasi-lasi 2 382 mm x 1 134 mm	Muokattu sivusauma OSB-levyllä, paneelien ulkopuolella	Molempien paneelien alle	n. 70 cm	Ei	Kyllä

5. Yhteenveto ja johtopäätökset keskeisistä havainnoista

5.1. Tutkimuskysymykset ja tutkimuksen rajaukset

Aiemmin tunnistettiin joukko tutkimuskysymyksiä:

- + Miten puukattoelementeistä rakennetulla katolla oleva aurinkopaneeliasennus vaikuttaa katolla syttyvään tulipaloon?
- + Miten palo leviää aurinkopaneelikentässä?
- + Kuinka laajalle aurinkopaneelikentän ulkopuolelle palo leviää?
- + Leviääkö palo tuulettuvan puukattoelementin ontelotilaan ja kuinka nopeasti?

Tutkimus oli rajattu seuraavasti:

- + Tutkimus ei arvioinut aurinkosähköjärjestelmien aiheuttamaa paloriskiä itsessään, vaan kokeet keskittyivät riittävän alkupalon aiheuttaman palon seurauksiin.
- + Kyseessä ei ollut syttymiskoe, vaan tarkastelu kohdistui palon leviämiseen ja sen aiheuttamiin vaurioihin tilanteessa, jossa palo syttyy. Alkupalon riittävyys varmistettiin esitestillä.
- + Käytetyt aurinkopaneeliasennukset käsittivät vain aurinkopaneelit ja niiden telineet (vrt. koko aurinkosähköjärjestelmä).
- + Aurinkopaneelien ja niiden telineiden paloteknisiä ominaisuuksia ei tutkittu erillisinä komponentteina.
- + Tutkimuksessa ei tutkittu aurinkosähköjärjestelmän eri komponenttien asennuksista johtuvia läpivientejä.
- + Tutkimuksessa ei tutkittu palon leviämistä ja sen seurauksia sen leviittyä onteloon.
- + Kokeet suoritettiin kuormittamattomilla koe-elementeillä, kun tarkastelu kohdistui palon leviämiseen ja sen aiheuttamiin vaurioihin, ei kattoelementin kantavuuteen.
- + Tutkimus ja siitä saatavat tulokset eivät ole tarkoitettu yksittäisten tuotteiden tai niiden kombinaatioiden hyväksyntään, hylkäykseen tai sertifiointiin.

Seuraavissa kappaleissa käsitellään tutkimuskysymyksiä kokeista tehtyjen havaintojen jälkeen.

5.2. Palon kehittyminen syttyneen aurinkopaneelin alapuolella

Koehavaintojen perusteella voidaan todeta, että aurinkopaneelikentän alla alkava palo voi kehittyä merkittävästi avoimella kattopinnalla olevaa suuremmaksi alkupalon ollessa riittävän suuri. Kokeissa ei arvioitu tarkemmin syttymisskenaarioita tai niiden todennäköisyyksiä. Kokeen suorittamisen kannalta alkupalo valittiin riittävän suureksi, jotta varmistettiin palon kehittymisen alkaminen. Alkupalo oli vastaavan kaltainen kuin B_{ROOF} (t2) -katteiden testauksessa käytetty puutapuli [8], mutta selvästi isompi.

Esitestien ja varsinaisten kokeiden aikana havaittiin toistuvasti sama kaava: bitumikermi alkoi osallistua paloon merkittävästi noin 10 minuuttia alkupanoksen sytyttämisestä, ja palo kehittyi tämän jälkeen noin 5–10 minuutissa kattamaan koko syttyneen paneelin alapuolisen alueen. Avoimella katolla esitesteissä tutkittu alkupalo sammui itsestään.

Palon kehittyminen ensimmäisen paneelin alapuolella tapahtui likimain yhtä nopeasti kaikissa tutkituissa tapauksissa, joten paneelin takapinnan muovin merkitys voidaan arvioida ensimmäisen paneelin alapuolella rajalliseksi.

5.3. Palon leviäminen aurinkopaneelikentän alapuolella

Koehavaintojen perusteella palon laajennuttua kattamaan koko syttyneen paneelin eteni se seuraavan paneelin alle noin 5–10 minuutissa etelä-asennuksissa ja noin 15–20 minuutissa itä-länsi-asennuksissa. Kokeissa havaittiin, että painokivillä toteutetun etelä-asennuksen takaosan pelti esti palon leviämisen tehokkaasti riviltä toiselle koko kokeen ajan.

Kokeiden perusteella ei voida arvioida paneelien takapinnan muovikerroksen vaikutusta palon leviämisnopeuteen paneelien välillä, kun muovipinnoite oli vain etelä-asennuksissa. Kokeissa tehtyjen havaintojen perusteella muovin pisarointi mahdollisesti nopeutti palon leviämistä etelä-asennuksissa paneelien välillä.

5.4. Palon leviäminen aurinkopaneelikentän ulkopuolelle

Tehtyjen havaintojen perusteella katteen ja sen alustan vauriot rajoittuivat alle metrin etäisyydelle paneelikentän reunasta. Esitestissä havaittiin tuulen alapuolella noin 1,2 metrin vaurioitunut alue. Havainto on linjassa aiemman tutkimuksen kanssa, jossa palon aiheuttamien vaurioiden on todettu rajoittuvan n. 1–1,5 metrin etäisyydelle paneelikentän reunasta. Nykyisin Suomessa tyypillisesti sovellettava ohjeistus paneelikenttien välisestä kahden metrin etäisyydestä [3] on kokeiden perusteella riittävä.

5.5. Palon leviäminen onteloon 60 minuutin kokeen aikana

Kokeissa 2–4 ei havaittu 60 minuutin koeaikana paloa ontelossa. 18 mm OSB-katerakenne ja vastaavalla OSB-levyllä toteutettu päätysaumarakenne pystyi kokeessa estämään palon leviämisen onteloon.

Kokeessa 1 peltisaumarakenne petti noin 25 minuuttia palon alkamisesta aiheuttaen palon leviämisen onteloon ja kokeen keskeytymisen.

5.6. Vauriot ja jälkisyttyminen tuuletuksen aikana

Testaushallin tuuletuksen yhteydessä havaittiin palon syttyminen ontelossa. Kokeiden perusteella ei voida todeta, olisiko palo uudelleensyttynyt havaitulla tavalla ilman voimakasta jälkituuletusta. Havainto korostaa tarvetta paneelikentän ja sen alapuolisen kattorakenteen raivaukselle palon jälkeen kytemien sammuttamiseksi.

Kokeen jälkeen havaittiin vaurioita erityisesti sauma-alueiden raoissa, ja kokeessa 4 rajoittuneita tummuneita alueita ontelon puolella kansilevyssä sekä paikallisia hiiltymiä myös ontelon puolella. 60 minuutin koeajan voidaan tulosten perusteella arvioida olleen lähellä kriittistä ontelon syttymisen suhteen. Voimakkaan jälkituuletuksen aikana syttyneet kytevät alueet vaikeuttavat kokeen aikana syntyneiden vaurioiden tarkkaa arviointia.

5.7. Tunnistetut jatkotutkimustarpeet

Tehtyjen johtopäätösten myötä tunnistettiin myös joukko uusia yksityiskohtaisempia kysymyksiä palon kehittymisen arvioinnista.

5.7.1. Puukattoelementtien sauma- ja liitosdetaljiikka

Tulosten perusteella erityisesti sauma-alueet ovat kriittisiä palon rajaamisessa pois puukaton ontelosta. Kokeissa tehtyjen havaintojen perusteella pellillä toteutettava sivusauma on herkkä vaurioitumaan. Liitosdetaljiikan osalta on suositeltavaa kehittää saumoja suuntaan, joka minimoisi palon leviämisriskin.

5.7.2. Paneelikentän geometrian muutosten arviointi

Tulosten perusteella tutkitut paneeliasennukset voivat johtaa voimakkaisiin ja leviäviin paloihin kattopinnoilla, kun alkupalo on riittävän suuri. Jatkotutkimuksessa olisi suositeltavaa arvioida aurinkopaneeliasennuksen geometrian vaikutusta palonkehitykseen. Esimerkkeinä mahdollisista palon seurauksia vähentävistä muutoksista on aiemmassa tutkimuksessa todettu paneelien nosto ylemmäksi kattopinnasta ja paneelikentän sisäinen osiin jako umpinaisin peltirakentein.

Raportin laatijat

Jensen Hughes

Aleksanterinkatu 32

33100 Tampere

Y-tunnus 1794277-4

www.jensenhughes.com/europe



Elina Rastas

Paloturvallisuusasiantuntija (FISE T), DI

elina.rastas@jensenhughes.com

Aleksi Ojala

Paloturvallisuusasiantuntija (FISE PV), DI

Service Line Leader Mass Timber (Europe)

aleksi.ojala@jensenhughes.com

Lähdeluettelo

- [1] Ympäristöministeriö, "Ympäristöministerion asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017," 2017.
- [2] J. Jantunen, "Muistio, Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta," Ympäristöministeriö, 2017.
- [3] Pelastuslaitosten kumppanuusverkosto, Turvallisuuspalvelualue, "Aurinkosähköjärjestelmien paloturvallisuus-ohje," Pelastuslaitosten kumppanuusverkosto, Helsinki, 2024.
- [4] Slovenian National Building and Civil Engineering Institute (ZAG), "Fire Safety Guideline for Building Applied Photovoltaic Systems on Flat Roofs," ZAG, Ljubljana, 2024.
- [5] Slovenian National Building and Civil Engineering Institute (ZAG), "Fire test method for flat roofs with photovoltaic (PV) modules," ZAG, Ljubljana, 2025.
- [6] P. Toivanen ja K. Kiviranta, "Polttokokeet puukattoelementeille, joissa on aurinkosähkömoduulit, Diaarinumero 2026-40," Pelastusopisto, Kuopio, 2026.
- [7] CEN, "SFS-EN 13501-5:2016 Rakennustuotteiden ja rakennusosien paloluokitus. Osa 5: Ulkoiselle palolle altistettujen kattojen koetuloksiin perustuva luokitus," Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, Helsinki, 2016.
- [8] CEN/TC 127, "CEN/TS 1187:2012 Test methods for external fire exposure to roofs," Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, Helsinki, 2012.

Liite 1: Esitestit

Tässä liitteessä on raportoitu puukattoelementtien ja aurinkopaneelien yhteistoimintaan palotilanteessa liittyvän tutkimushankkeen esitestit.

1.1. Yleistä

Esitestit suoritettiin ennen varsinaisia polttokokeita 11.3.2026 LapWallin Pälkäneen tehtaalla.

Esitestien tarkoituksen oli:

- + varmistaa sytytysjärjestelyn (sytytyslähde ja sytytys) toimivuus ja toistettavuus.
- + saada ennakkotietoa sytytetyn palon etenemisestä ilman aurinkopaneeliasennusta (ns. vapaa palo) sekä sen kanssa.
- + todeta testattavan elementin ja sen yksityiskohtien toteutuksen (mm. reuna-alueet) tarkoituksenmukaisuus sekä mahdolliset muutostarpeet ennen varsinaisia polttokokeita.

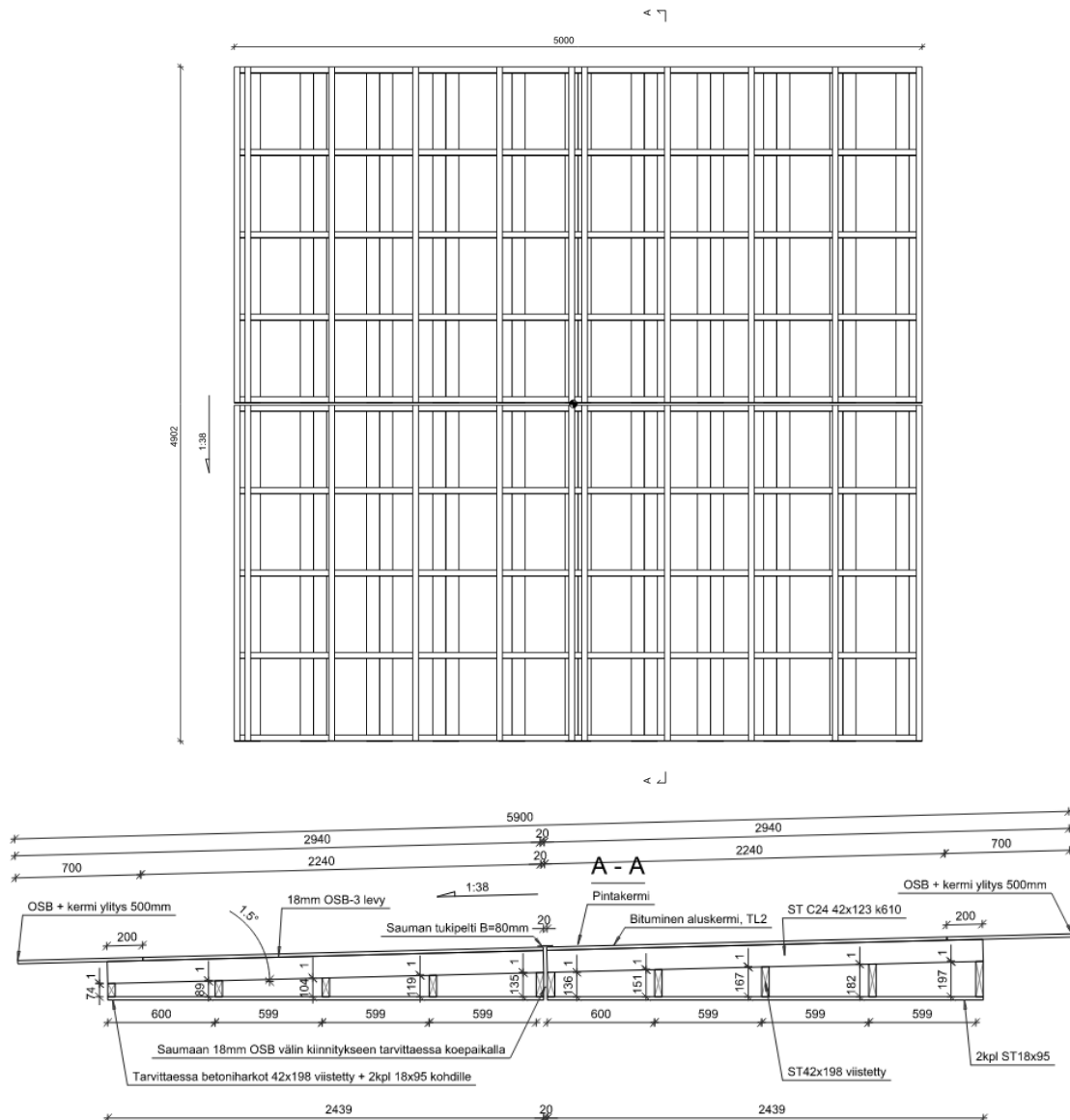
Esitesteihin osallistuivat seuraavat tutkimushankkeessa mukana olevat osapuolet: LapWall Oyj, Solnet Green Energy Oy, Orima-Tuote Oy, Pelastusopisto ja Jensen Hughes.

1.2. Testiolosuhteet

Esitestit toteutettiin LapWallin Pälkäneen tehtaan pihalla. Esitestien aikaan keskiviikkona 11.3.2026 lämpötila oli +3 °C. Ajoittain esiintyi heikkoa tai puuskittaista tuulta. Sää oli pääosin puolipilvinen, mutta muuttui päivän loppua kohden pilviseksi.

1.3. Testiasetelmat ja testien kulku

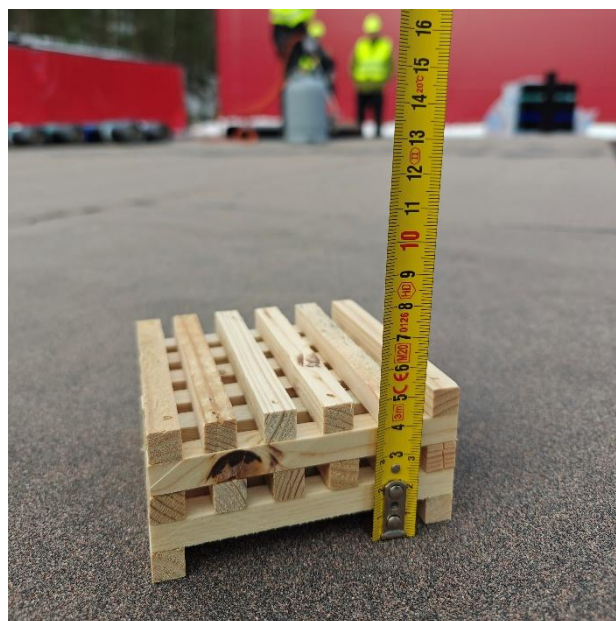
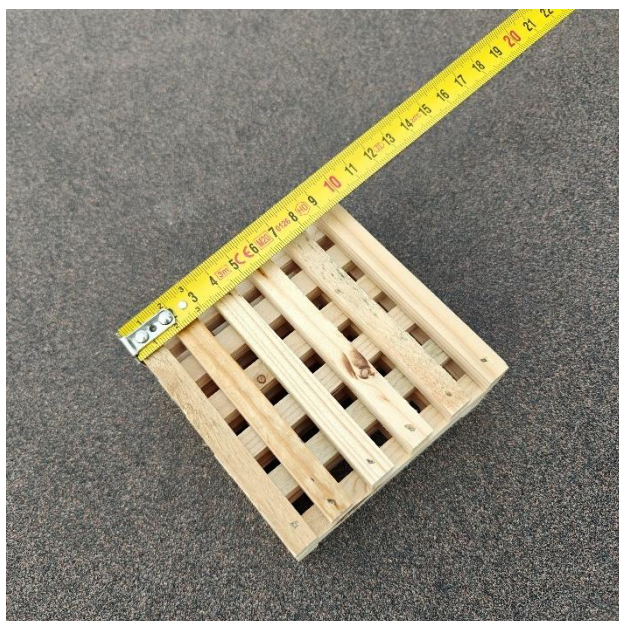
Esitestejä varten LapWall oli esivalmistanut kaksi identtistä koe-elementtiä. Esitestissä elementtien rakenne oli alhaalta ylöspäin: koolauskehä (LapWallin vakiokoolaus), 18 mm OSB-3-levy, aluskermi ja pintakermi (bitumia). Elementtien koko oli 5000 mm x 4900 mm + OSB-levyn reunaylitykset 500 mm jokaisella sivulla. Elementtien kaltevuus oli 1:38/1,5° ja niihin sisältyi sekä pääty- että sivusauma. Elementti on esitetty ylhäältä päin ja sivuleikkauksena alla olevassa kuvassa.



Kuva 1 – Koe-elementti esitesteissä (LapWall)

Esitesteissä käytettäväksi aurinkopaneeliksi oli valittu aurinkopaneeli (1 719 mm x 1 140 mm), jonka yläpinnassa oli lasia ja alapinnassa oli muovikalvo, vrt. paneeli, jonka molemmat pinnat ovat lasia. Paneelin telineeksi oli valittu Oriman valmistama tyypillinen tasakaton telineratkaisu.

Esitestissä sytytyslähteenä käytettiin sovellettavan testausmenetelmän [5] mukaista sytytyslähdettä, joka koostuu 10 cm x 1 cm x 1 cm kokoisista puusoiroista naulattuna yhteen 10 cm x 10 cm x 5 cm kokoiseksi tapuliksi. Kuva esitesteissä käytetystä puutapulista on esitetty alla.

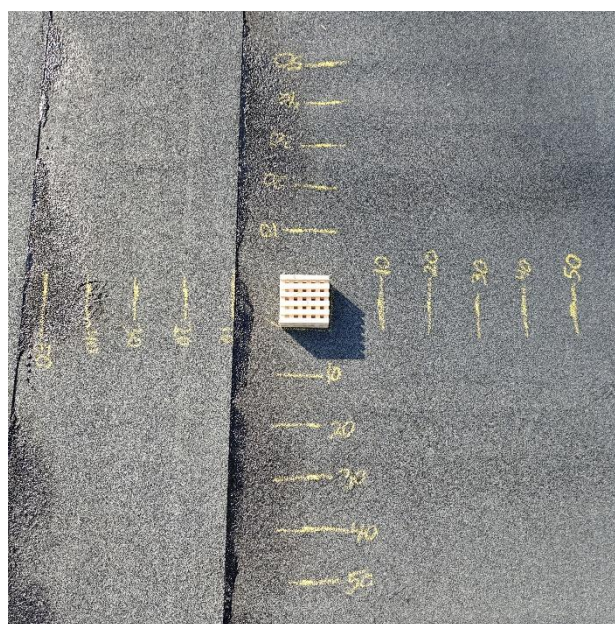


Kuva 2 – Esitesteissä käytetty sytytyslähde

Esitesteissä ei mitattu lämpötiloja mistään testiasetelmasta, vaan paikalla olijat havainnoivat esitestejä ja lisäksi LapWall videokuvasi ne. Videokuvaa otettiin erikseen koko koe-elementistä ja katteen alapuolelta elementin sivusta.

1.3.1. Yhden tapulin vapaa palo

Yhtenä esitestauksen tavoitteista oli saada ennakkotietoa sytytetyn palon etenemisestä kattopinnalla ilman aurinkopaneeliasennusta. Tämän vuoksi ensimmäinen esitesti suoritettiin elementin vapaalla kattopinnalla asettamalla sytytyslähde pintakermin päälle. Sytytyslähteen ympärille tehtiin merkkiviivat 10–50 cm säteelle sytytyslähteen reunasta (10 cm välein) palon leviämissäteen havainnoimiseksi. Vapaan palon testiasetus on esitetty alla olevassa kuvassa.



Kuva 3 – Vapaan palon testiasetus

Sytytyslähde sytytettiin sovellettavan testausmenetelmän ohjeiden mukaisesti [5] kaatamalla puutapulin (ks. Kuva 2) päälle sytytysnestettä ja sytyttämällä se kaasupolttimella.

Vapaa palo paloi pintakermin päällä, kunnes se hiipui ja lopulta sammui itsestään noin 10 minuuttia sytytyksen jälkeen. Alla olevassa kuvassa on esitetty, kuinka laajalle vapaa palo levisi sytytyslähteen reunasta.



Kuva 4 – Vapaan palon leviämisalue

Yllä olevasta kuvasta nähdään, että vapaa palo levisi pintakermin päällä suurimmillaan noin 10 cm päähän sytytyslähteen reunasta. Epäsymmetrisyys paloalueessa johtuu siitä, että testi tehtiin ulkona, missä tuuli pääsi vapaasti vaikuttamaan liekkiin painaen sitä tiettyyn suuntaan katetta vasten.

1.3.2. Esitestit yhdellä paneelilla

Yhtenä esitestauksen tavoitteista oli saada ennakkotietoa sytytetyn palon etenemisestä kattopinnalla myös aurinkopaneelin kanssa. Esitesteissä käytössä oli yksi aurinkopaneeli tasakaton tyypillisellä telineratkaisulla. Alla olevassa kuvassa on esitetty tämä asennus.



Kuva 5 – Esitestien aurinkopaneeliasennus

Sytytyslähde (1 puutapuli) asetettiin sovellettavan testimenetelmän mukaisesti [5] aurinkopaneelin alle, lähelle toista alanurkkaa. Sytytys tehtiin vastaavasti kuin edellä esitettiin vapaan palon testissä.

Yksi puutapuli paloi pintakermin päällä/aurinkopaneelin alla, kunnes se hiipui ja lopulta sammui itsestään. Testin aikana havaittiin, että aurinkopaneelin alapinnan muovikalvo osallistui paloon ja aiheutti palavaa pisarointia, mutta sen vaikutus paloon jäi pieneksi. Alla olevassa kuvassa on esitetty, kuinka laajalle palo levisi sytytyslähteen reunasta aurinkopaneelin alla.



Kuva 6 – Palon leviämialue aurinkopaneelin alla yhdellä puutapulilla

Yllä olevasta kuvasta nähdään, että palo levisi pintakermin päällä suurimmillaan noin 10 cm päähän sytytyslähteen reunasta. Vaikutus oli siis samaa suuruusluokkaa kuin vapaassa palossa. Voitiin todeta, että yhdellä puutapulilla sytytetty palo ei aiheuttanut poikkeavaa palonkehitystä paneelin alla.

Koska sovellettavassa testimenetelmässä [5] koekappale on tarkoitus saada syttymään kunnolla ja palo leviämään kattopinnalla, toinen testi aurinkopaneelin kanssa päätettiin tehdä kaksinkertaisella sytytyslähteellä eli kahdella puutapulilla. Samalla päätettiin testata myös vapaata paloa kaksinkertaisella sytytyslähteellä. Tämä testiasetus on esitetty alla olevassa kuvassa juuri kun sytytyslähteet oli sytytetty. Sytytys tehtiin vastaavasti kuin edellä on esitetty. Aurinkopaneeliasennuksena käytettiin samaa paneelia ja telineitä kuin yllä esitettyssä yhden puutapulien paneelitestissä.



Kuva 7 – Testiasetus kaksinkertaisella sytytyslähteellä

Testitilanteessa päätettiin, että sytytetyn palon annetaan palaa niin kauan, kunnes se hiipuu. Aurinkopaneelin alla kaksinkertaisella sytytyslähteellä sytytetty palo oli voimakkaimmillaan noin 15 minuuttia sytytyksestä. Sen jälkeen palo alkoi hiipua, kunnes noin 30 minuuttia sytyttämisen jälkeen palo oli jo lähes kokonaan hiipunut. Palo jäi kuitenkin palamaan kapealle kaistalle aurinkopaneelin lähimpänä kattopintaa olevan reunan alle. Palo sammui lopulta, kun aurinkopaneeli rikkoutui ja sen jäljellä olevat osat putosivat palon päälle. Palo kesti kaikinensa noin 55 minuuttia. Alla olevassa kuvassa on esitetty testiasetus kaksinkertaisella sytytyslähteellä sytytetyn palon jälkeen.



Kuva 8 – Testiasetus kaksinkertaisella sytytyslähteellä palon jälkeen

Palon leviämisalue paneeliasennuksen reunasta kattopinnalla mitattiin palon jälkeen ja se oli noin 1,2 m. Kuten vapaassa palossa, myös paneeliasennuksen kanssa tehdystä testistä nähdään, että tuuli on vaikuttanut palon leviämissuuntaan. Kahden puutapulien vapaan palon leviämisestä ei lopulta saatu tietoa, sillä paneeliasennuksen alla sytytetty palo levisi sen päälle. Palo ei kuitenkaan levinnyt tässäkään testiasetelmassa katteesta läpi.

Testin jälkeen todettiin, että paneeliasennus ei ollut ollut kuin toisen elementtisauman päällä, jolloin oletettavasti heikomman peltilevyllä tuetun sauman käyttäytymisestä ei saatu tietoa.

Palon sammumisen ja jälkivartioinnin jälkeen rikkoutunut paneeli ja sen telineet siivottiin ja paneeliasennuksen alta katteesta (kermit ja OSB) sahattiin pala irti. Sahatusta palasta mitattiin OSB:n hiiltymäksi noin 1 cm.

1.4. Esitestien yhteenveto

Esitestit ja niistä saadut huomiot voidaan tiivistää alla oleviin kohtiin:

- + Esitesteissä todettiin, että sytytysjärjestely on toimiva ja se on toistettavissa.
- + Yksittäinen puutapuli sytytyslähde ei aiheuttanut poikkeavaa palonkehitystä paneeliasennuksen alla.
- + Esitesteissä havaittiin merkittävä palon kehityksen voimistuminen, kun alkupalo oli riittävän iso (kaksinkertainen sytytyslähde) ja sen päällä oli paneeliasennus.
- + Palo ei levinnyt minkään esitestin missään vaiheessa katteesta läpi ontelon puolelle.
- + Esitesteihin valmistetut koe-elementit olivat tarkoituksenmukaisia.
- + Varsinaisiin polttokokeisiin koe-elementtejä tullaan vielä yksinkertaistamaan (lähinnä koolauskehän rakenne).