

TUTKIMUSHANKE PUURAKENTEISTEN KATTOELEMENTTIEN ONTELOPALOISTA

Timo Jokinen

Suunnittelupäällikkö

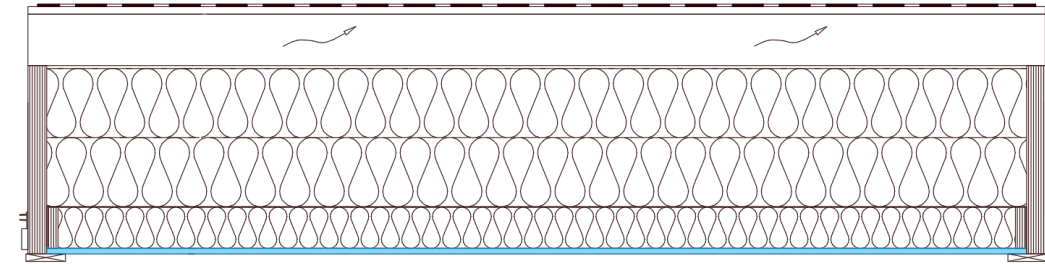
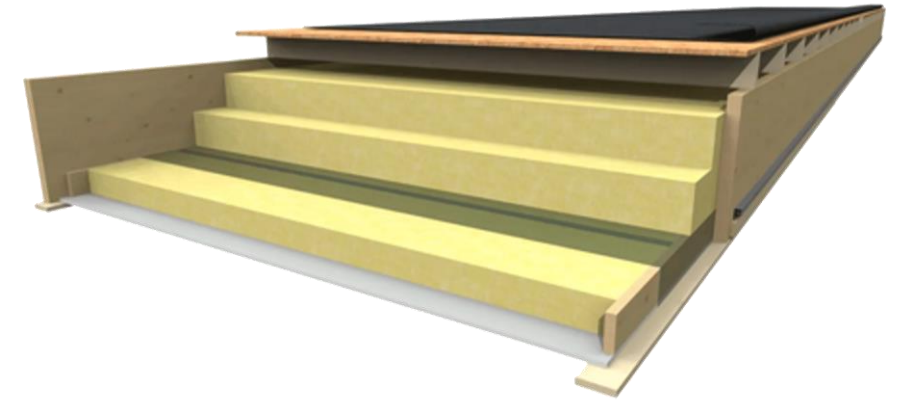
A-Insinöörit, palotekninen yksikkö

timo.jokinen@ains.fi



Hankkeen taustaa: Kattoelementtien paloluokitus

- Puurakenteiset suurkattoelementit ovat nykyään suosittu yläpohjaratkaisu hallimaisissa rakennuksissa (teollisuusrakennukset, liikuntahallit, marketit, yms.)
- Puurakenteisten kattoelementtien palokäyttäytyminen on melko hyvin tunnettua ja paloluokittelu on suhteellisen helposti testattavissa polttokokeilla silloin, kun tulipalo vaikuttaa elementteihin niiden alapuolelta (eli rakennuksen sisäpuolelta).
- Tyypillisesti puurakenteisten kattoelementtien palonkestävyys alapuolista tulipaloa vastaan nojaa vahvasti elementtien alapinnassa oleviin kipsilevytyksiin.



Hankkeen taustaa: Määräysten lisävaatimukset yläpuoleiselle palolle

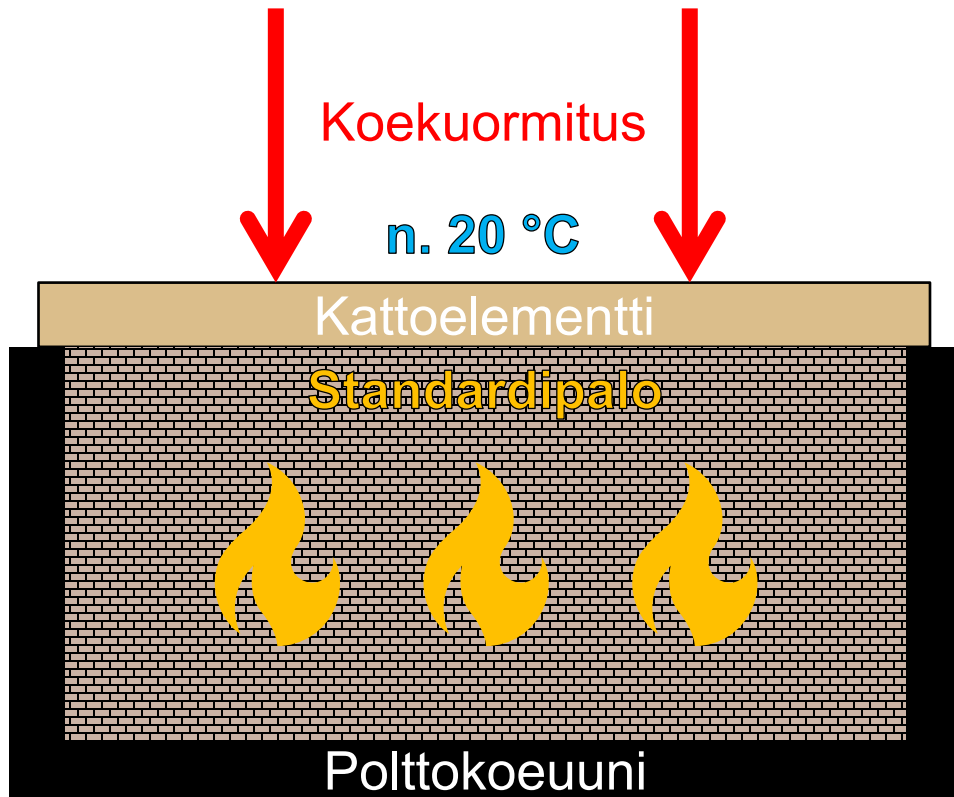
- Suomen palomääräyksissä (paloasetukset YMa 848/2017 & 927/2020) yläpohjarakenteille kuitenkin esitetään lisävaatimuksia myös kattoelementtien yläpuolella tai yläpohjan ontelossa tapahtuvaa standardipaloa vastaan.
- Tällaisille ylhäältä alaspäin vaikuttaville tulipaloille ei kuitenkaan ole olemassa valmiita testistandardeja. Nykyisillä polttokoeuuneilla tähän tarkoitukseen soveltuvan testimenetelmän kehittäminen on myös hyvin hankalaa tai jopa mahdotonta, eteenkin kuormitettuna.



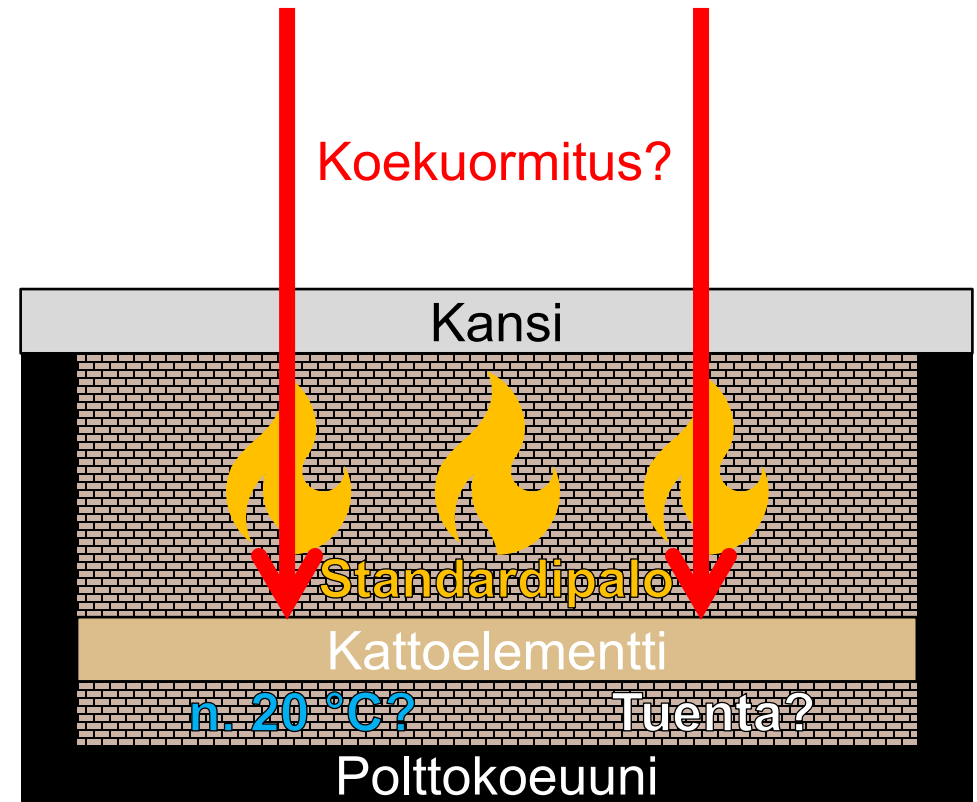
- Paloasetuksen perustelumuition 12 §:
 - ”Katteen alapuolella oleva yläpohjarakenne mitoitetaan myös **yläpuolista paloa vastaan saman luokkavaatimuksen mukaan kuin alapuolista paloa vastaan.**”
 - Em. vaatimus tarkoittaa R-luokkaa.
- Paloasetuksen perustelumuition 20 §:
 - ”Kun yläpohjan ontelo osastoidaan alapuolella olevasta tilasta, koskee alapuolista paloa vastaan alapuolisen tilan osastointivaatimus. **Yläpuolista paloa vastaan osastointivaatimus on alapuolisen tilan vaatimus, kuitenkin jos palon leviäminen räystäältä yläpohjan onteloon on estetty EI 30-rakennusosaa vastaten ja yläpohjan ontelossa syttymisen vaara on tehokkaasti estetty, vaatimus on vähintään EI 30.**”
 - P1 ja P2-paloluokissa yläpohjaontelon osastointia vaaditaan kattoelementeillä aina (ks. paloasetuksen Taulukko 7).

Hankkeen taustaa: Kattoelementtien testaus polttokoeuunilla

Koepolttu alhaalta ylöspäin ✓



Koepolttu ylhäältä alaspäin ?



Hankkeen taustaa: Laskennalliset tarkastelut yläpuoleiselle palolle

- Yläpuoleista tulipaloa olisi mahdollista tutkia (ja on tutkittukin) laskennallisesti. Rakenteen luonteesta johtuen laskelmissa tulee kuitenkin tehdä useita konservatiivisia oletuksia joiden vaikutukset kertautuvat (lasivillan palokäyttäytyminen, kiepahdustuennan toiminta yläpuoleisessa palossa, yms.)
- Puhtaat laskennalliset tarkastelut siis johtavat yläpuolisen palon tapauksessa helposti näennäisesti mataliin palonkestävyyksiin tai hyvin ylimitoitettuihin rakenneratkaisuihin.



Tutkimushanke puurakenteisten kattoelementtien ontelopaloista

- Loppuvuodesta 2024 käynnistettiin tätä ongelmaan käsittelevä tutkimushanke, jossa suoritettiin suuren mittaluokan polttokokeet kattoelementtien ontelopaloista Kuopion Pelastusopistolla.
- Tutkimushankkeen osapuolet:
 - **Puutuoteteollisuus ry:** Hankkeen johtaminen ja organisointi.
 - **Rakennustuotteiden Laatu Säätiö sr:** Hankkeen päärahoittaja.
 - **LapWall Oyj:** Koejärjestelyjen suunnittelu, koekappaleiden toimitus ja koejärjestelyjen rakentaminen.
 - **Pelastusopisto:** Koejärjestelyjen suunnittelu ja polttokokeiden käytännön toteutus.
 - **Tampereen Yliopiston palolaboratorio:** Koejärjestelyjen suunnittelu ja polttokokeiden valvonta.
 - **A-Insinöörien paloyksikkö:** Koejärjestelyjen suunnittelu, polttokokeiden valvonta, analyysit mittaustuloksista ja raportointi.

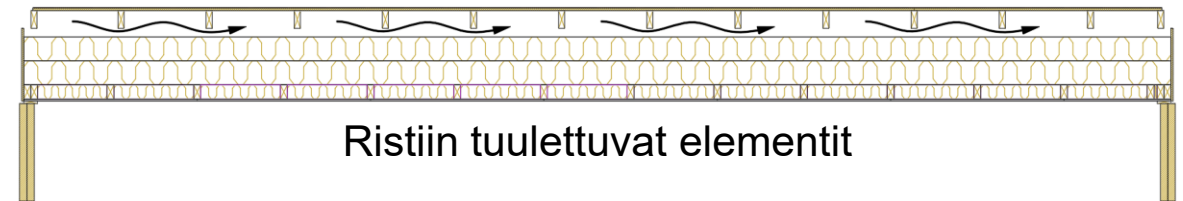
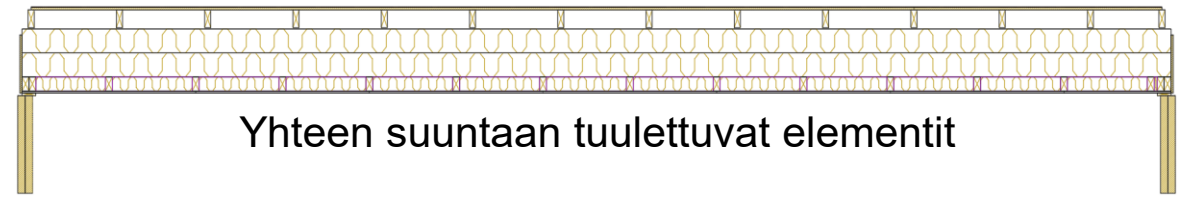


LapWall



Koejärjestelyt

- Hankkeen polttokokeille ei siis ole olemassa standardoituja testimenetelmiä, joten tutkimushankkeessa oli samalla kehitettävä soveltuvat koejärjestelyt.
- Kaksi polttokoetta. Koekappaleet noin 8 m x 8 m (8 metrin jänneväli ja kolme elementtiä rinnan):
 - Testi 1: Yhteen suuntaan tuulettuvat elementit
 - Testi 2: Ristiin tuulettuvat elementit
- Koepoltto kuormitettuna:
 - Kuormituksena betonipainoja ja lankkuja, joilla simuloidaan 3-aukkoisen elementin aukkomomenttia Eurokoodin palotilanteen mukaisella lumikuormalla.
- Lämpötilojen mittaus elementtien onteloista, rakenteen sisältä ja elementtien alapuolelta.
- Tuulisuojaseinämät koekappaleen ympärillä. Tuulettimella pakotettu ilmavirtaus keskionteloon.

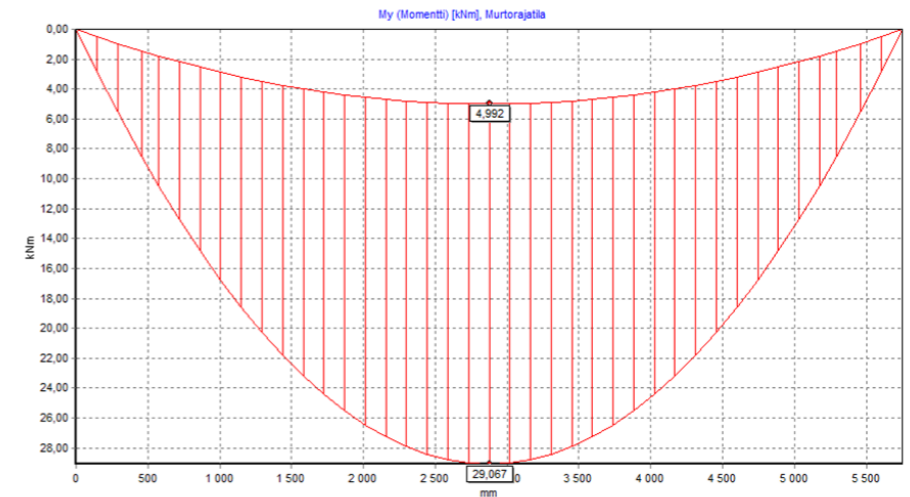
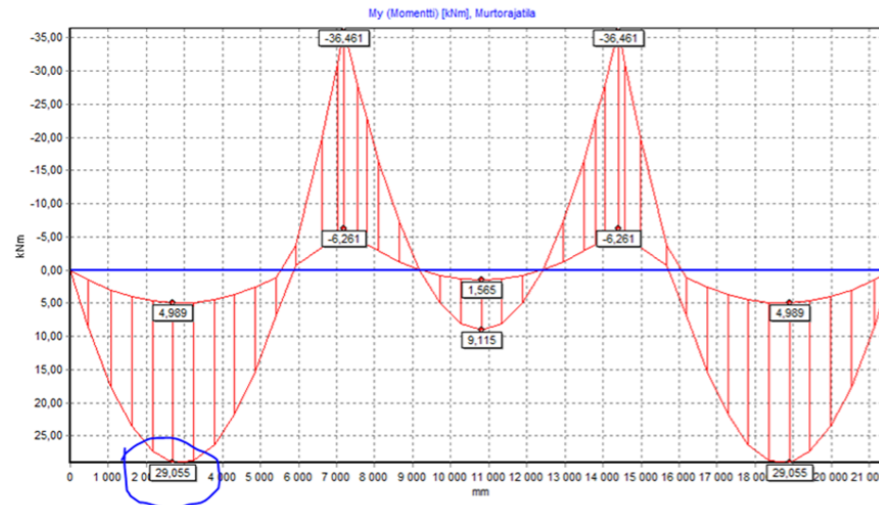


Koejärjestelyt

- Sytytys yläpinnan tuuletilasta koekappaleen keskeltä (suljettava sytytysluukku). Alkupalona sytytyspusseja ja 2 kg kutterilastua.



- 3-aukkoisen kattoelementin muuttaminen kenttämomentin suhteen ekvivalentiksi 1-aukkoiseksi elementiksi momenttikuvaajien perusteella.

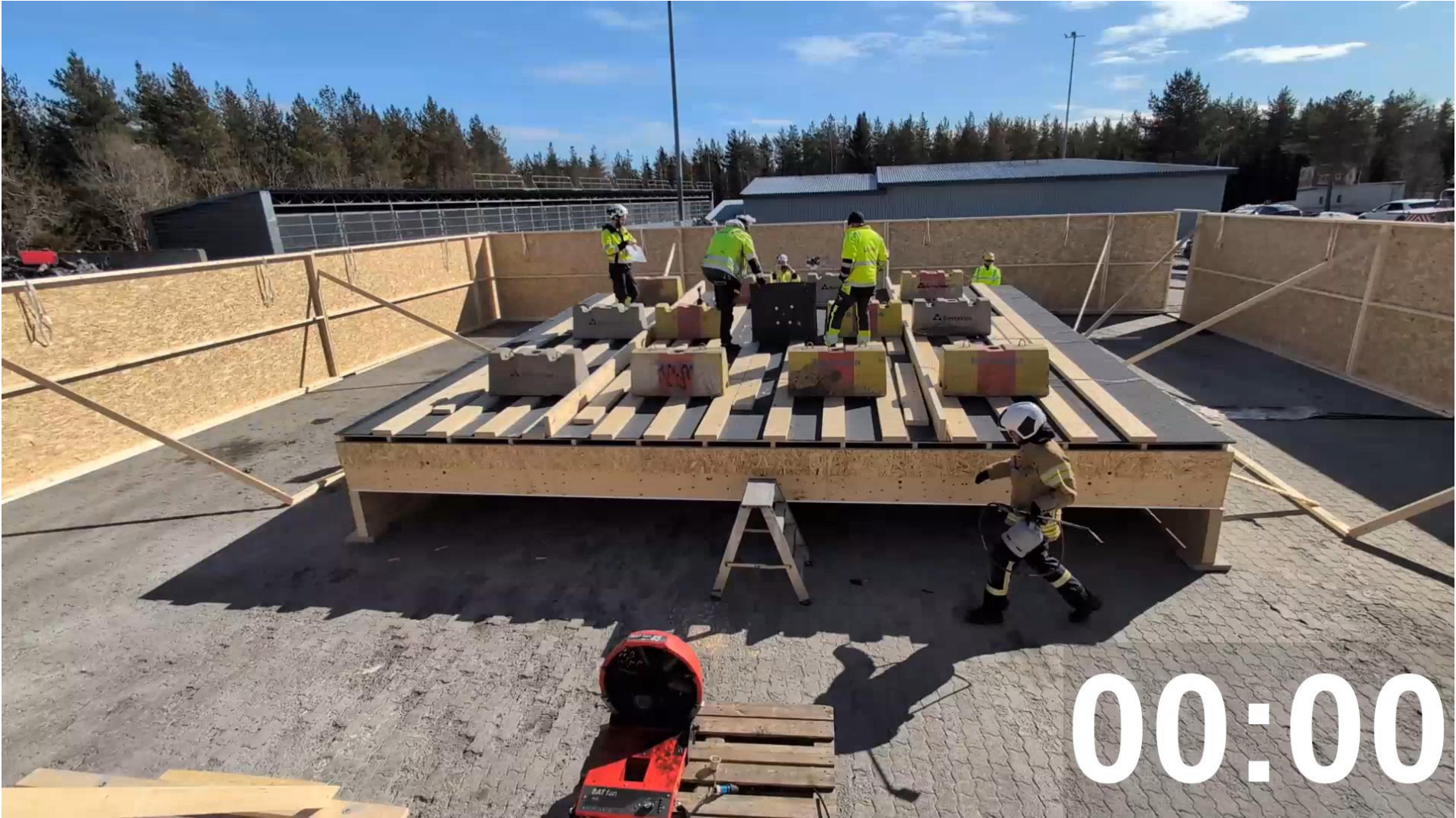


Polttokokeiden kulku

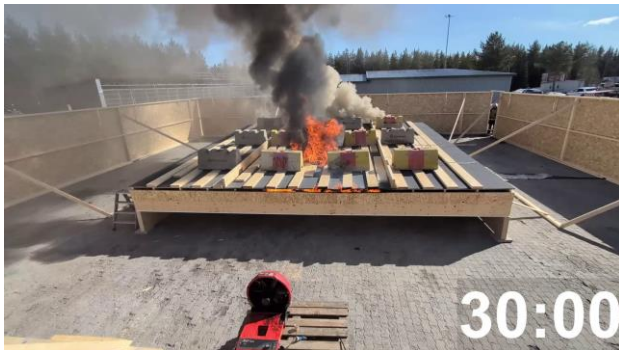
- Polttokokeet Kuopion Pelastusopiston harjoitusalueella 8 – 9.4.2025.
- Sääolosuhteet testien aikana olivat suhteellisen hyvät:
 - Lämpötila 3 – 5 °C
 - Puolipilvinen ja poutainen sää
 - Ensimmäisenä päivänä tyyntä, toisena päivänä puuskittaista tuulta



Polttokokeiden kulku – Testi 1



Polttokokeiden kulku – Testi 1



**Sortuma ajanhetkellä
41:30**

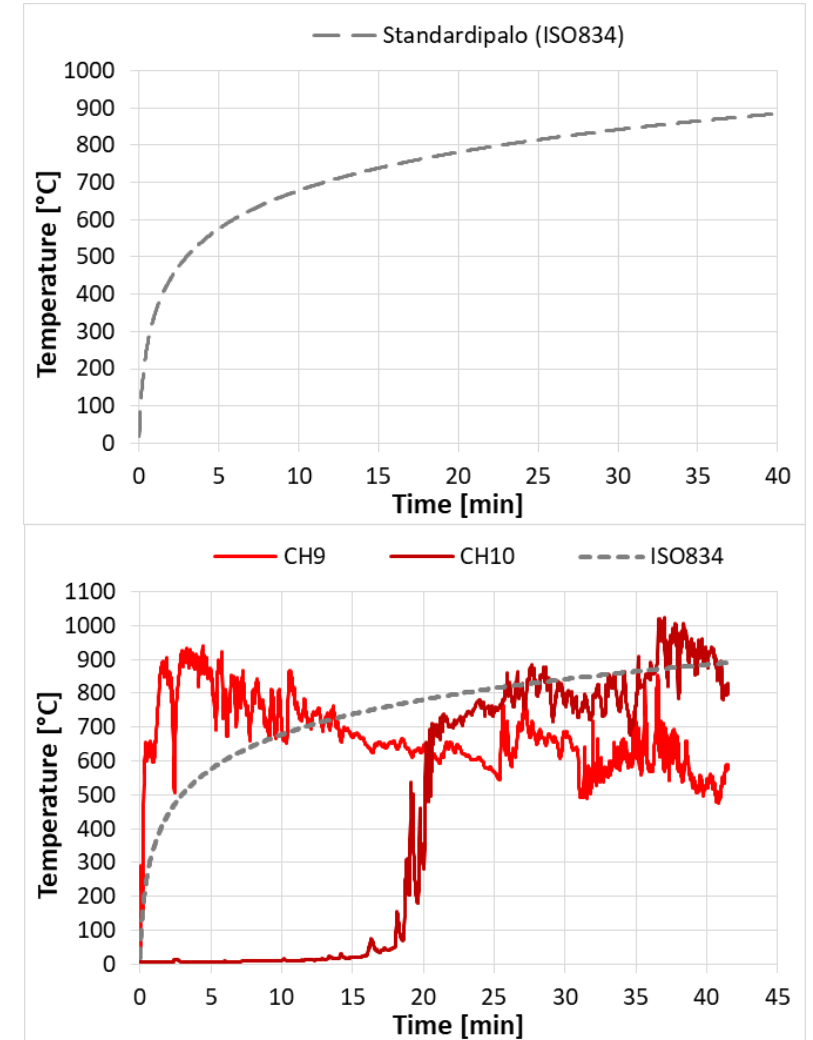
Polttokokeiden kulku – Testi 2



**Sortuma ajanhetkellä
44:31**

Polttokoetulosten analysointi: Kantavuus

- Rakenteiden sortumat polttokokeissa:
 - Testi 1: **41,5 min**
 - Testi 2: **44,5 min**
- Palomääräyksissä esitetyt minuutit (esim. REI30, R60, EI90) tarkoittavat aina palonkestävyyttä standardipalon (ISO834) mukaisessa lämpötila-altistuksessa. Todellinen, luonnollinen tulipalo eroaa aina tästä teoreettisesta käyrästä.
- Näin ollen luonnollisessa tulipalossa mitatut palonkestävyyden minuutit eivät ole suoraan vertailukelpoisia luokkavaatimusten minuutteihin, eikä sortuma-ajanhetkien perusteella voida siis vetää suoraa johtopäätöstä esim. kantavuusluokkien R30 tai jopa R40 täyttymisestä.



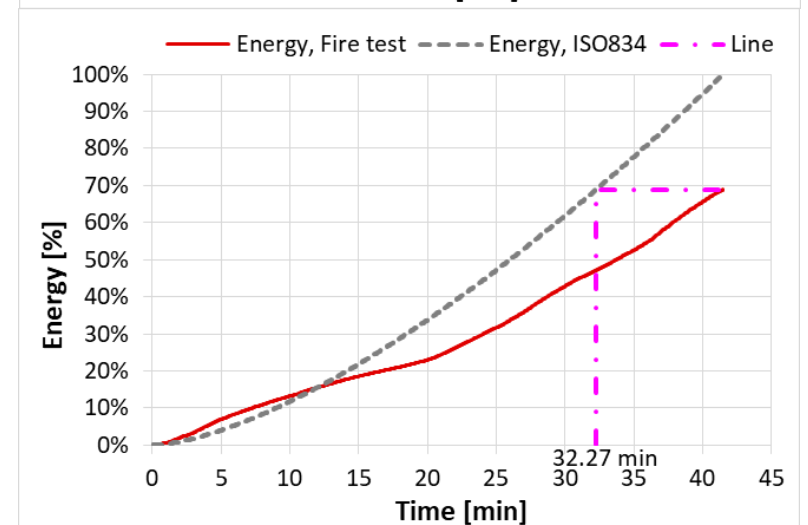
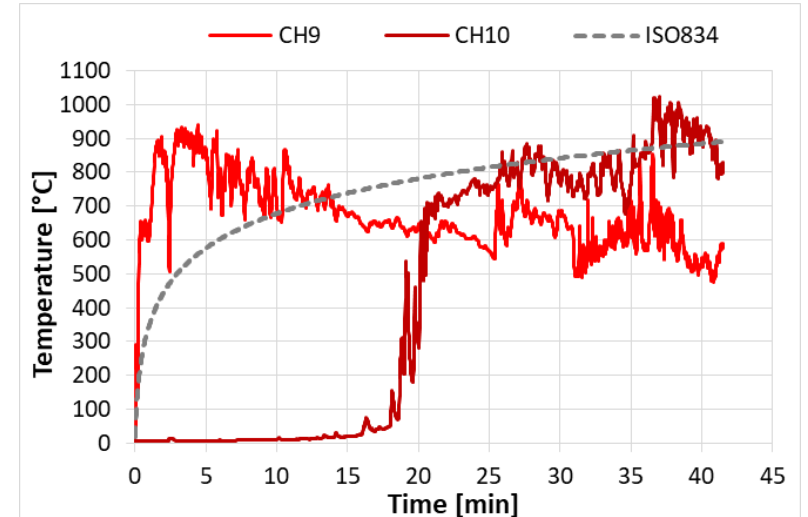
Polttokoetulosten analysointi: Ekvivalentti standardipalo

- Mikä tahansa lämpötiläkäyrä voidaan kuitenkin muuttaa ekvivalentiksi standardipaloaltistukseksi vertailemalla integraaleja nettolämpövoista:

$$E = \sum_{k=1}^n \int_0^{t_{fire}} \dot{h}_{net,fire,k} dt = \sum_{k=1}^n \int_0^{t_{ISO}} \dot{h}_{net,ISO} dt$$

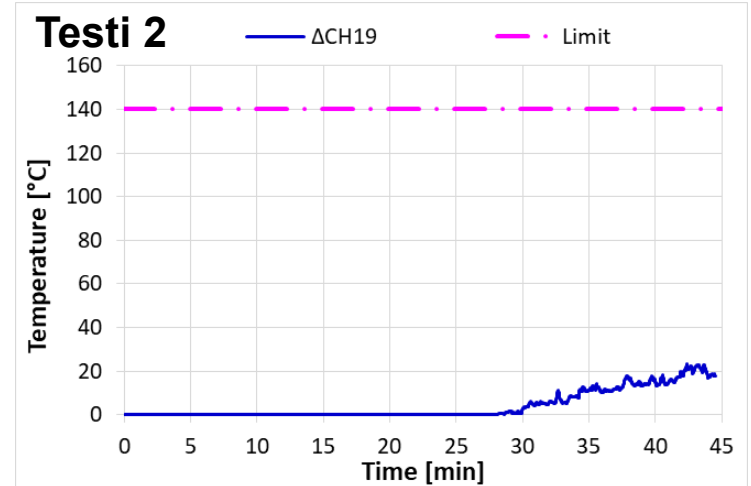
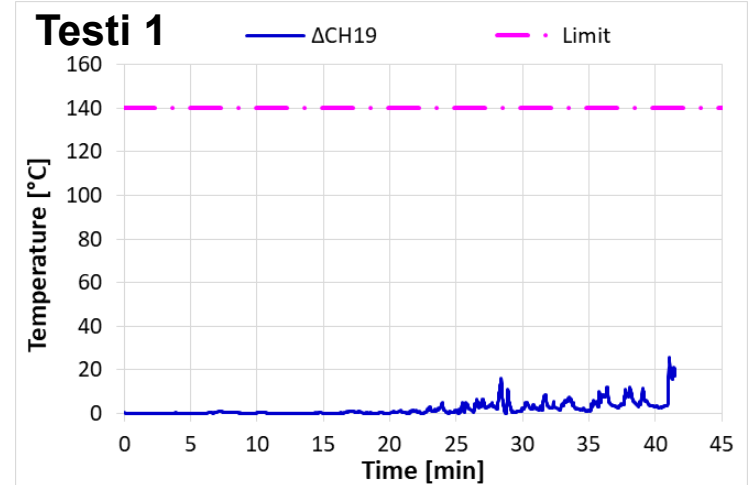
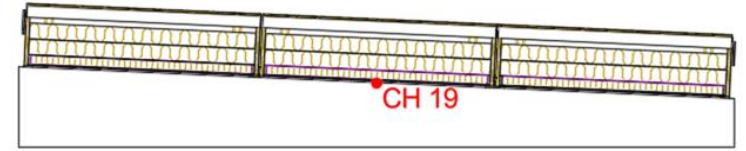
$$\dot{h}_{net} = \dot{h}_{net,c} + \dot{h}_{net,r} = \alpha_c(\theta_g - \theta_m) + \varepsilon_m \varepsilon_f \sigma [(\theta_r + 273^\circ\text{C})^4 - (\theta_m + 273^\circ\text{C})^4]$$

- Laskelmat tehdään hyödyntämällä sortamakohtaa lähimpänä olleiden lämpötila-antureiden mittaustuloksia.
- Ekvivalentin standardipaloaltistuksen menetelmä ei ole hirveän tarkka, mutta sillä saadaan hyvä arvio tulosten suuruusluokasta.
- Lopputuloksena saadut ekvivalentit standardipaloaltistukset:
 - Testi 1: **32,3 min**
 - Testi 2: **31,4 min**



Polttokoetulosten analysointi: Osastoivuus

- Eo. laskelmilla saatiin arvio ekvivalentista standardipalosta ja rakenteen R-luokasta. Osastoivuuden täytyminen tulee kuitenkin varmistaa vielä erikseen.
- Eristävyysvaatimuksen (I-kriteeri) täyttymistä voidaan arvioida vertailemalla elementtien alapinnasta mitattuja lämpötiloja polttokoestandardeissa sallittuihin raja-arvoihin:
 - Kummassakin testissä jäätii hyvin kauas sallitusta 140 °C lämpötilannousun raja-arvosta → I-kriteeri siis täyttyy.
- Tiiviysvaatimuksen (E-kriteeri) täyttymistä voidaan arvioida visuaalisesti rakenteen alapuolelta kuvattujen videoiden perusteella:
 - Kummassakaan testissä ei havaittu minkäänlaista liekehdintää elementtien alapuolella ennen romahdusta → myös E-kriteeri täyttyy.
- Kattoelementtien ontelopalossa rakenteen kantavuuden säilyminen on tulosten perusteella siis selvästi määräävämpi kuin osastoivuuden kriteerit.



Johtopäätökset

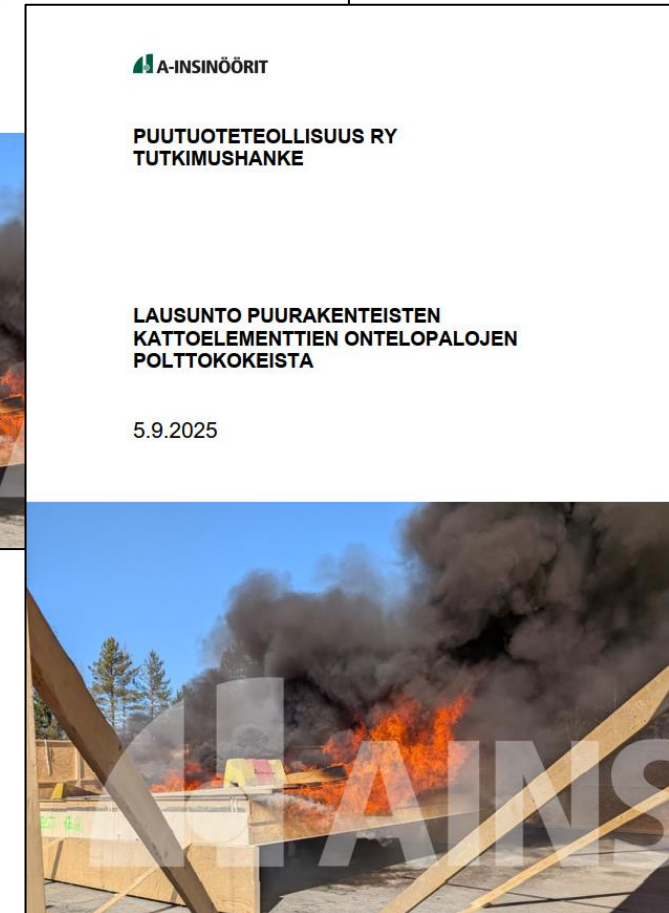
- Tutkimushankkeessa suoritettujen polttokokeiden ja niiden mittaustuloksista tehtyjen jatkoanalyysien perusteella **tutkitut puurakenteiset kattoelementit täyttävät REI30* luokan vaatimukset yläpohjan ontelossa tai vesikatteen yläpuolella syttyvää tulipaloa vastaan** (ontelopalo on kattoelementin yläpuolella syttyvää tulipaloa selvästi pahempi tilanne, joten tehdyt testit kattavat kummatkin tapaukset).

REI30*

- * Suoritetut polttokokeet eivät olleet standardoituja, joten näitä johtopäätöksiä täytyy pitää jossain määrin vain indikaatiivisina. Mutta koska standardoituja menetelmiä ei kuitenkaan ole olemassa, edustavat tehdyt testit kutakuinkin parasta mitä kokeellisella tutkimuksella on mahdollista tällä hetkellä saavuttaa.

Johtopäätökset

- Jotta tehdyt johtopäätökset eivät koskisi ainoastaan koekappaleiden kanssa identtisiä kattoelementtejä luotiin tutkimushankkeessa myös sovellusohjeita sille, millä reunaehdoilla kattoelementtejä voidaan suunnitella, jotta hankkeen johtopäätökset olisivat rakenteelle edelleen voimassa:
 - Reunaehdoja on esitetty mm. alapinnan levykerroksille, rakenteen kuormituksille, LVL-pääkannattajien dimensioille, koolausten dimensioille ja jaolle, eristemateriaalille, yläpinnan levytykselle, katteelle, tuuletusvälin korkeudelle, kattoelementtien yläpuoleiselle palokuormalle (esim. aurinkopaneelit), sekä räystäään tuuletusvälin korkeudelle.
 - Nämä reunaehdot ovat luottavissa hankkeen loppuraportista ja siitä tehdystä lyhennetystä lausunnosta.
- Hanke osittain jatkuu vuonna 2026 uusilla polttokokeilla.



Lisätietoa

Polttokokeiden analyysiraportti ja niistä tehty lausunto ladattavissa täältä:

<https://puutuoteteollisuus.fi/ajankohtaista/tiedotteet/puukattoelementtien-palonkeston-osoitettiin-ylittavan-rei30-vaatimuksen-kattavassa-palokokeessa>



KIITOS!

Timo Jokinen

Suunnittelupäällikkö

A-Insinöörit, palotekninen yksikkö

timo.jokinen@ains.fi

