

Joonas Järvinen

ILMANVAIHDON PALOPELLIN LÄPÄN KEHITYS JA TESTAUS

Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Diplomityö
Marraskuu 2019

TIIVISTELMÄ

Joonas Järvinen: Ilmanvaihdon palopellin läpän kehitys ja testaus
Diplomityö 50 sivua, 1 liitesivua
Tampereen yliopisto
Materiaalitekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma
Marraskuu 2019

Koneellisen ilmanvaihdon myötä palo-osastointi ja kanavakohtaiset paloturvallisuusratkaisut nousevat tärkeään rooliin palojen leviämisen estämiseksi. Yksi jatkuvan kehittämisen kohtia ovat olleet ilmanvaihdollisen palo-osastoinnin kivijalkoina toimivat palopellit. Näiden tehtävänä on sulkea kanava tarpeen tullen ja eristää palava tila muusta rakennuksesta palon leviämisen estämiseksi. Palopellin rakenteesta tekee haasteellisen yhdistelmä korkea lämpötilaa sekä jatkuvaa kanavapainetta, jotka asettavat palopellin sulkuläpän materiaalille vaativat lähtökohdat. Parempien palonkesto ominaisuuksien lisäksi tavoitteena oli näiden avulla mahdollistaa ohuempi läppäratkaisu, jotta painehäviöitä saisi pienennettyä läpän ollessa auki tilassa.

Työ on luonteeltaan käytännönläheinen tutkimustyö, jossa perehdyttiin ensin palopellin palotestaukseen ja vaatimuksiin, jonka jälkeen materiaalivaihtoehtoja kartoitettiin niin monta kuin mahdollista, jotta näitä voitaisiin verrata nykyisen läppämateriaaliin entistä paremman ratkaisun löytämiseksi. Materiaalikartoituksesta suurin osa tapahtui omatoimisesti etsimällä tarkoitukseen sopivia laatuja sekä toimittajia, mutta myös materiaalitoimittajien puolelta ammattitaitoisen konsultaation saaminen onnistui. Lopulta testauskelpoisiksi todettujen materiaalien löydyttyä, tilasimme aihiot FläktGroup Finland Oy:n Akaan tehtaalle, jotka sitten työstettiin testaukseen kooltaan soveltuviksi levyiksi.

Kartoitettujen materiaalien osalta oleellisin koe oli Akaan tehtaalla suoritetun palokokeen, mutta jokaisen vaihtoehdon osalta tärkeää oli myös varmistua riittävästä mekaanisista ominaisuuksista. Tärkeimmät testattavat ominaisuudet palopellin läpän rakenteen ja toimivuuden kannalta olivat jäykkyys eli muotonsa säilyttäminen ja ruuvin kantokyky. Palokoetta varten valettiin maakaasulla toimivan testiuunin kylkeen istutettava betoninen testiseinä kanava-aukoilla, jonka avulla saimme simuloitua äärimmäisiä olosuhteita kanavassa ja testattua vaihtoehtoisia materiaaleja vertailukelpoisilla tuloksilla.

Palokokeet osoittivat useiden potentiaalisten materiaalien löytymisen nykyisen tilalle, jotka oletusarvoisesti mahdollistaisivat läpän osalta jopa entistä pidemmän ajallisen tiiveys ja eristävyys luokituksen. Oletus perustuu palotestin jälkeen käsiteltyjen levyjen tiiveyteen vaikuttavalla koossa pysymiselle sekä palokokeen perusteella nähtävistä paremmista eristyskyvyistä.

Avainsanat: Palopelti, palokoe, ilmanvaihto

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

ABSTRACT

Joonas Järvinen: Material research for air ducts fire damper blade
Master of Science Thesis, 50 pages, 1 Appendix pages
Tampere University
Master's Degree Materials Technology
November 2019

Fire safety solutions for air distribution and dividing spaces into fire departments plays a big part in preventing a fire from spreading in a construction with a forced ventilation. One of the subjects for continuous improvement regarding the function of the fire departments is the fire damper. The purpose of the damper is to shut the air duct in case of need and seal it from the rest of the construction for hindering the fire from spreading. The overall construction and circumstances combined with high temperature and continuous air pressure from the duct set challenging level for the dampers blade material. In addition to improvement in fire resistance properties, the hope was to achieve a thinner blade so that the pressure drops could be minimized.

The nature of the Thesis was practical research of alternative fireproof solutions in place of the existing material after getting acquainted with the fire dampers and their requirements. Most of the preliminary search was independent search work for finding proper materials for testing and their suppliers, but good consultation was also received from multiple experts from suppliers. Once the proper materials were identified, they were ordered to the FläktGroup factory in Akaa, Finland, where they were cut into workable pieces for the further tests.

The most relevant test for the alternative materials was the fire test performed in the fire laboratory, but also being convinced of the proper mechanical properties of the materials so that they could be deemed suitable for the purpose. The most important properties on behalf of the construction of the blade and the mechanism is the ability to keep its shape under rising heat and resilience of the turning shafts screws in the material. For the actual fire test, a movable concrete wall was made and installed on the open side of the natural gas heated oven. The movable wall had standard duct holes inserted for simulating extreme circumstances in the air duct and thus being comparable results.

The fire tests indicated that several potential materials were tested in place of the current one, that might make possible even longer sealability and insulation properties. Assumption is based on the handling of the materials after the fire test as some of the materials held their shape and relative toughness even after a long time burn and showed better resistance to heat transfer.

Keywords: Fire damper, fire test, ventilation

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on toteutettu tilaajana toimineen FläktGroup Finland Oy:n Toijalan tehtaan palolaboratoriossa. Työni ohjeistajana tilaajan puolelta toimi FläktGroup Finland Oy:n tuotekehitys osaston johtaja Jari Hokkanen sekä Tampereen Teknillisen Yliopiston puolelta ohjaajana ja tarkastajana toimi Tekniikan tohtori Essi Sarlin.

Ilmanvaihdon ja paloturvallisuuden yhdistäminen diplomityön muotoon teki aihepiiristä kiinnostavan kirjoitustyön haasteista huolimatta. Olen kiitollinen Essi Sarlinille joustavuudesta ja ohjeista työni suorittamiseen ja Jari Hokkaselle mahdollisuudesta päästä näkemään ja työskentelemään paloturvallisuustuotteiden parissa, sekä harvinaisessa palolaboratoriossa. Kiitokset haluan lähettää ehdottomasti myös palolaboratoriossa työskentelevälle Antti Kaakiselle, jonka avulla käytännön toteutus testiseinien ja koeolosuhteet järjestettiin.

Erityisesti kiitokset myös avopuolisolleni Anulle, joka jaksoi kannustaa ja olla tukena työni suorittamisen ohessa.

Turussa, 11.11.2019

Joonas Järvinen

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	7
2. LÄMMÖNSIIRTYMISEN TAUSTAT	9
2.1 Termodynamiikan pääsäännöt	9
2.2 Lämmön siirtyminen	10
2.2.1 Johtuminen	10
2.2.2 Konvektio	11
2.2.3 Säteily	12
3. RAKENNUSTEN PALOTURVALLISUUS	13
3.1 Paloluokitukset	13
3.2 Palo-osastot	14
3.3 Rakennusosien paloluokitus	16
3.4 Ilmakanavassa käytettävät materiaalit	17
4. PALOPELLIN TOIMINTA JA RAKENNE	18
5. KAUPALLISTEN PALOLUOKITELTUIJEN MATERIAALIEN VERTAILU	20
5.1 Materiaalikartoitus	20
5.2 Valintaperusteet	20
5.3 Valittujen materiaalien rakenne	22
6. VALITTUIJEN MATERIAALIEN VERTAILU	27
6.1 Palokoe	29
6.2 Taivutuskoe	32
6.3 Kuormitustesti	33
6.4 Kosteudensieto	33
7. TESTITULOKSET	34
7.1 Palokoe	38
7.2 Taivutuskoe	41
7.3 Kuormitustesti	42
7.4 Kosteudensietotesti	43
8. YHTEENVETO	46
LÄHTEET	48
LIITTEET	50

KUVALUETTELO

<i>Kuva 1 ETCE mekaaninen- ja moottoritoiminen palopelti [8].....</i>	<i>18</i>
<i>Kuva 2 ETCE mekaaninen palopelti, muokattu lähteestä [8].....</i>	<i>19</i>
<i>Kuva 3 Materiaali A, etupuoli</i>	<i>22</i>
<i>Kuva 4 Materiaali A, taustapuoli.....</i>	<i>23</i>
<i>Kuva 5 Materiaali B.....</i>	<i>23</i>
<i>Kuva 6 Materiaali C</i>	<i>24</i>
<i>Kuva 7 Materiaali D</i>	<i>24</i>
<i>Kuva 8 Materiaali E.....</i>	<i>25</i>
<i>Kuva 9 Materiaali R</i>	<i>25</i>
<i>Kuva 10 Materiaali F.....</i>	<i>26</i>
<i>Kuva 11 Punnitukseen käytetyt vaa'at</i>	<i>29</i>
<i>Kuva 12 Testiseinä valmiina palokokeeseen.....</i>	<i>31</i>
<i>Kuva 13 SFS-EN1363-1 standardin mukainen lämpötila-aika käyrä</i>	<i>32</i>
<i>Kuva 14 Taivutuskokeen havainnollistamiskuva</i>	<i>33</i>
<i>Kuva 15 Ruuvin kantokyvyn testin havainnollistamiskuva</i>	<i>33</i>
<i>Kuva 16 Otos uunin sisäpuolelta testiseinän kiinnityksestä.....</i>	<i>34</i>
<i>Kuva 17 Otos uunin tarkastusaukosta sisälämpötilan ollessa noin 1050°C.....</i>	<i>34</i>
<i>Kuva 18 Palotesti 1, testiseinä valmiina palokokeeseen</i>	<i>35</i>
<i>Kuva 19 Palotesti 1 tilannekuva kahden tunnin kokeen jälkeen</i>	<i>35</i>
<i>Kuva 20 Palotesti 2, testiseinä valmiina palokokeeseen</i>	<i>36</i>
<i>Kuva 21 Palotesti 2 tilannekuva kahden tunnin kokeen jälkeen</i>	<i>36</i>
<i>Kuva 22 Materiaali A Kuva 23 Materiaali B.....</i>	<i>37</i>
<i>Kuva 24 Materiaali C Kuva 25 Materiaali D</i>	<i>38</i>
<i>Kuva 26 Yksittäistestattujen levyaihioiden tulokset</i>	<i>39</i>
<i>Kuva 27 Materiaalin A levynpaksuuden vaikutus tuloksiin.....</i>	<i>39</i>
<i>Kuva 28 Levymateriaalien reagointi lämmönnousuun</i>	<i>40</i>
<i>Kuva 29 Kerrosrakenteiden tulokset</i>	<i>41</i>
<i>Kuva 30 Kaikkien tulosten vertailu</i>	<i>41</i>
<i>Kuva 31 Taivutustestin tulokset</i>	<i>42</i>
<i>Kuva 32 Kuormitustestin tulokset.....</i>	<i>43</i>
<i>Kuva 33 Kosteudensietotestin tulokset</i>	<i>44</i>
<i>Kuva 34 Materiaali A kosteudensietotestin jälkeen</i>	<i>44</i>
<i>Kuva 35 Materiaali E kosteudensietotestin jälkeen</i>	<i>45</i>
<i>Kuva 36 Materiaali R kosteudensietotestin jälkeen</i>	<i>45</i>
<i>Kuva 37 Ensimmäisen palotestin tiivistetyt tulokset</i>	<i>50</i>
<i>Kuva 38 Toisen palotestin tiivistetyt tulokset.....</i>	<i>50</i>

1. JOHDANTO

Paloturvallisuuden merkityksen jatkuva korostuminen rakennusteollisuudessa ajaa osaltaan määräysten tiukennuksia yleiselle rakentamiselle ja selvän tarpeen nykyistä parempien materiaalien kehitykselle. Ilmanvaihtojärjestelmien kautta tulipalot ja savu leviävät koneellisen ilmanvaihdon vauhdittamana ilman palo-osastointia nopeasti, joten eri tiloja eristävät ilmanvaihtoputkistojen palopellit ovat tärkeässä roolissa. Nämä sulkeutuvat tulipalon sattuessa ja eristävät täten palavan osaston muusta rakennuksesta hidastaen palon leviämistä ja näin antaen aikaa sammutustyölle ja vahinkojen minimoinnille. Tuli elementtinä on kuitenkin haastavaa eristää ja mitä pidempi ajanjakso tulen leviämistä halutaan estää, sitä jyrkempää materiaalia vaaditaan sen estämiseen. FläktGroup Finland Oy:llä kehitetään jatkuvasti parempia ratkaisuja paloturvallisuuteen ja tästä avautui itselleni mahdollisuus kirjoittaa diplomityöni myös yritykseen.

Diplomityön tavoitteena oli kartoittaa kaupallisia palonkestäviä materiaaleja ja tilata potentiaaliset vaihtoehdot nykyiselle palopellin läpälle. Hankittuja vaihtoehtoja varten tuli rakentaa testiseinä Toijalan palolaboratorioon ja suorittaa tarkemmat kokeet materiaalien konkreettisesta soveltuvuudesta haluttuun käyttökohteeseen ja arvioida niiden suorituskykyä nykyiseen materiaaliin. Tavoite oli löytää siis parhaat vaihtoehdot nykyiselle läppämateriaalille, joissa kuitenkin saatavuus ja hinta säilyvät nykyisenkaltaisina.

Diplomityön laajuus rajattiin itse läppään nykyisenlaisessa rakenteessa, tämän vaihtoehtoisten materiaalien testaukseen, sekä työstön ja kustannusten arviointiin. Työn on tarkoitus toimia pohjana jatkotestejä varten, jotka tulisi suorittaa testiseinän sijaan suoraan palopeltiin asennettuna pyöreänä akselistoon kiinnitettynä läppänä.

Työn aikana ilmeni hyvin selvästi standardien ja määräysten vaikutus uuden materiaalin valintaan ja siksi itse työssä onkin monia viitteitä itse rakennusteollisuutta ja ilmanvaihtoa ohjaaviin määräyksiin. Halutuilla kriteereillä eri materiaalien ja toimittajien etsintä tapahtui ensin internetin välityksellä ja potentiaalisten toimittajien löydyttyä, heitä konsultoimalla ja vertailemalla jopa muutamia vasta markkinoille saapuvia materiaaleja. Haastavaa toimittajien konsultoisesta teki paikoin varautuneisuus tai alltius vastata materiaalien ominaisuuksista ja verrokeista testimateriaaleiksi, koska konkreettista tilauspotentiaalia näille ei kuitenkaan voinut osoittaa suoraan. Onneksi

löytyi kuitenkin myös toimittajia, jotka olivat halukkaita jopa toimittamaan testieriä halutuissa mitoissa pientä korvausta vastaan.

Varsinainen työn suoritus tapahtui tilaamalla testaukseen halutut materiaalit toimittajilta, sekä työstämällä ne halutun kokoisiksi levyiksi. Osa materiaaleista saatiin tilattua toimittajalta valmiiksi leikattuina, mutta suurin osa vietiin kolmannen osapuolen työstettäväksi tai leikattiin itse Akaan tehtaalla. Jokaisen levymateriaalin annettiin kuivua varastossa useamman viikon, jonka jälkeen ne mitattiin ja punnittiin tarkoin, sekä niiden tarvittavat mekaaniset ominaisuudet testattiin. Palokokeita varten valoimme betoniseinän viidellä aukolla, jonka avulla saimme simuloitua materiaalien soveltuvuutta ilmastointikanavan kaltaisissa olosuhteissa.

2. LÄMMÖNSIIRTYMISEN TAUSTAT

Tulipalojen estotapoja tarkastellessa on tärkeää tietää termodynamiikan perusteet sekä lämmönsiirron teoriaa ja palon leviämistapoja. Keskeisintä eristeistä puhuttaessa on ymmärtää lämpötilan siirtymisen muodot termodynamiikan perusteista. Työlle tärkeä ominaisuus tutkittaville materiaaleille on tietysti lämmönjohtavuus palopellistä puhuttaessa, mutta todellisuudessa palo leviää kolmen eri mekanismin yhteisvaikutuksen tuloksena.

2.1 Termodynamiikan pääsäännöt

Termodynamiikka käsittelee makroskooppisten systeemien lämpötilakäyttäytymistä. Systeemillä kuvataan tutkittavaa kokonaisuutta suuremmissa ympäristöissä. Systemi voi olla avoin, jolloin energian kulkua systeemin ja ympäristön välillä ei rajoita mikään, suljettu, jolloin systemi ei vaihda energiaa ympäristön kanssa tai eristetty, jossa systemi ei ole vuorovaikutuksessa ympäristön kanssa.

Energian ja lämmön käyttäytymistä voidaan tulkita termodynamiikan neljän pääsäännön kautta. Nollannen pääsäännön mukaisesti, jokainen eristetty systemi pyrkii saavuttamaan tasapainotilan, josta se ei ilman ulkoista häiriötä tule muuttumaan. Näin samassa lämpötilassa olevat kappaleet ovat termisessä tasapainossa tai pyrkivät asettumaan samaan lämpötilaan eristetyissä systeemissä. Voidaan siis todeta, että pääsääntö määrittelee lämpötilan ja antaa pohjan lämpötilan mittaamiselle [1].

Ensimmäisen pääsäännön mukaisesti energiaa ei voida luoda tai hävittää, vaan ainoastaan vaikuttaa sen muotoon. Ensimmäistä pääsääntöä kutsutaan myös energian säilymlauseeksi, joka olettaa systeemille sisäenergian, jonka suuruus joko kasvaa lämpöenergiaa tuodessa systeemiin tai vähenee systeemin tekemän työn myötä.

Sisäenergian muutos esitetään seuraavalla kaavalla (1) [1]:

$$\Delta U = Q + W, \text{ jossa} \tag{1}$$

ΔU sisäenergian muutos systeemissä [J]

Q systeemiin siirretyn lämpöenergian määrä [J]

W systeemin tekemä työ [J]

Toinen pääsääntö kuvaa ensimmäisen pääsäännön energian säilymisen taustalla vallitsevaa systeemin epäjärjestyksen määrää, eli entropian määrää. Voidaan todeta, että entropia voi siirtyä systeemiin tai siitä pois, mutta entropiaa itsessään ei voi hävittää. Toinen pääsääntö pyrkii myös selittämään termodynamiikan prosessien avulla energiankulun suunnat, jotta ymmärretään esimerkiksi, miksi lämpö siirtyy vain kuumasta kylmään ilman työtä. on, että entropia kasvaa pääsääntöisesti, kunnes systeemi saavuttaa suurimman mahdollisen entropiatason, eli tasapainotilan. Entropian määrä lasketaan termodynamiikassa seuraavalla kaavalla (2) [1][2].

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}, \text{ jossa} \quad [J/K] \quad (2)$$

ΔQ systeemiin tuotua kokonaislämpömäärää [J]

T absoluuttista lämpötilaa [K]

Kolmas pääsääntö antaa nollakohdan toisessa pääsäännössä määritetylle entropialle. Säännön mukaan nolla Kelviniä toimii teoreettisena arvona lämpötilalle, jolloin kaikki termodynamiikan prosessit lakkaavat toimimasta. Tällöin myös jokaisen tasapainossa olevan systeemin entropian määrä on nolla.

2.2 Lämmön siirtyminen

Energia siirtyy termodynamiikassa joko työnä tai energiana, joista jälkimmäinen on työn aiheelle olennaisin. Lämpöä siirtyy makroskooppisesta systeemistä toiseen aina, kun systeemien välillä on ero lämpötiloissa. Tämä kahden erilämpöisen systeemin lämpötilojen tasoittuminen selittyy termodynamiikan toisen pääsäännön teorialla.

Lämmön siirtyminen tapahtuu kolmen eri mekanismin, johtumisen, konvektion sekä säteilyn kautta.

2.2.1 Johtuminen

Johtuminen mekanismina on lämmön siirtymistä joko itse kappaleen sisällä tai kahden kiinni toisessaan olevan kappaleen välillä. Johtuminen tapahtuu myös termodynamiikan toisen pääsäännös mukaisesti aina kuumasta kylmään. Käytännössä johtuminen voidaan kokea esimerkiksi asetettaessa lusikka kuumaan kahvikupilliseen, jolloin kädenlämpöinen lusikka lämpiää nopeasti myös kädessä pidettävästä päästä.

Lämmön siirron määrää johtumalla esimerkiksi sauvassa voidaan laskea selvittämällä lämpövirran määrä H siirtyneen lämmön dQ ja siirron ajan dt osamääränä.

Yksityiskohtaisempiin tekijöihin jaettuna lämpövirta voidaan laskea koko ja materiaali huomioiden seuraavalla lausekkeella (3) [2][3]:

$$H = kA \frac{dT}{L}, \text{ jossa} \quad [W] \quad (3)$$

k on tutkittavan sauvan materiaalin lämmönjohtavuus $[W/m * K]$

A tutkittavan sauvan pinta-ala $[m^2]$

dT lämpötilaero sauvan kylmän ja kuumen pään välillä $[K]$

L sauvan pituus $[m]$

Tämä lauseke perustuu oletukseen, että esimerkkinä olevassa sauvassa lämpötila leviää lineaarisesti.

2.2.2 Konvektio

Konvektio mekanismina perustuu fluidien, eli nesteiden tai kaasujen, virtauksessa kulkevan lämmön siirtymiseen. Arkielämän tunnetuimpia konvektoreita ovat kodin eri lämmityslaitteet, kuten lämpöpatterit. Mikäli fluideja kierrätetään tarkoituksenmukaisesti puhaltimella tai pumpulla, sitä kutsutaan pakotetuksi konvektioksi. Luonnossa yleisin ilmenevä konvektion muoto on vapaa konvektio, jonka aiheuttaa lämpötilaerojen vuoksi syntyvät tiheyserot. Käytännössä tunnetuimpia vapaan konvektion ilmiöitä on lämpimän ilman nouseminen ylöspäin. Lämpövirran tiheyden q'' määrä konvektiomekanismin tuottamana voidaan laskea seuraavalla kaavalla (4) [2][3]:

$$q'' = h(\Delta T), \text{ jossa} \quad [W/m^2] \quad (4)$$

h lämmönsiirtokerroin konvektiossa kyseiselle fluidille $[W/m^2 * K]$

ΔT pinnan ja fluidin välinen lämpötilaero $[K]$

Paloturvallisuuden parissa, sekä erityisesti palopeltien rakenteessa pyritään estämään konvektion vaikutusta kuumen ilman leviämistä sulkemalla ilman kulku mahdollisimman hyvin kanavistoissa.

2.2.3 Säteily

Lämmönsiirtyminen tapahtuu valon nopeudella sähkömagneettisten aaltojen kuljettamana ilman väliaineita. Jokainen ihminen ja elävä olento välittää säteilylämpöä ympäristöönsä suurimmaksi osaksi infrapuna-aaltojen kuljettamana. Lämpösäteilyyn ja sen aallonpituuksien visuaalisuuteen perustuu myös nykyisten lämpökameroiden tekniikka, joka mittaa lämpösäteiden intensiteettiä ja määrää. Lämpövirran määrä säteilyn toimesta voidaan laskea kaavalla (5)[2][3]:

$$H = Ae\sigma T^4, \text{ jossa} \quad [W] \quad (5)$$

A on pinta-ala [m^2]

e materiaalin pinnan emissiviteetti

σ Stefan-Boltzmannin vakio [$W/m^2 * K^4$]

T absoluuttinen lämpötila [K]

Säteilylämpö on yksi olennaisimpia tulipalon leviämisen mekanismeja.

Materiaalikartoituksen lähtökohtana on siksi eristävän materiaalin lämmönjohtavuus ja täten sen kyky vastustaa lämmön siirtymistä eristeen läpi.

3. RAKENNUSTEN PALOTURVALLISUUS

Rakennusten paloturvallisuudesta on säädetty määräykset ja ohjeet Suomen ympäristöministeriön toimesta. Lyhyesti kuvattuna nämä vaatimukset asettavat tarkat rajat rakenteiden palonkestolle, palon ja savun leviämiselle sekä henkilöiden rakennuksesta poistumiselle tarkoitetuille reiteille. Maankäyttö- ja rakennuslaissa (132/1999, MRL) on määritetty yleiset vaatimukset ja edellytykset rakentamiselle, jotka ovat tarkennettuina koottu Suomen rakentamismääräyskokoelmaan. Työlle olennaiset paloturvallisuusmääräykset ilmanvaihtojärjestelmille annetaan rakentamismääräyskokoelman alaisessa ympäristöministeriön asetuksessa 848/2017, jota sovelletaan uudis- ja korjausrakentamiseen [4][5].

Asuin- ja toimilarakentamisessa rakennukset jaetaan nykymääräysten mukaan eri palo-osastoihin, jotka ovat turvallisuussyistä eristettävissä toisistaan palon leviämisen estämiseksi. Jotta voidaan ymmärtää miksi palopellin vaatimukset ovat tietynlaiset, pitää käydä ensin läpi rakennusten paloturvallisuusmääräykset, jotka asettavat selkeät rajat niin palopellin ominaisuuksille, kuin työssä tutkittavalle läpän materiaalillekin.

3.1 Paloluokitukset

Rakennuksen suunnittelussa lähtökohtana on sen ensisijainen käyttötarkoitus. Tämän avulla pystytään määrittelemään tiloihin kohdistuva palokuorma ja suunnittelemaan kantavat rakenteet ja palo-osastoinnin sen mukaisesti. Paloluokkia on yhteensä neljä, joista kolmea käytetään (P1, P2 ja P3), kun rakennus on asetuksen 848/2017 ohjenuoran mukaisesti suunniteltu. Neljättä luokitusta P0 käytetään silloin, kun rakennus on suunniteltu joko suurimmaksi osaksi tai kokonaan oletettuun palonkehitykseen perustuvaa tapaa. Tällöin on aina määritettävä palokuorma tapauskohtaisesti laskelmien pohjalta [5].

Yleisin asuinrakennusten paloluokitus on P1, jolloin rakennuksen kantavien rakenteiden oletetaan pääsääntöisesti kestävän palossa sortumatta. P1-luokitellun rakennuksen palokuormaryhmä on määritettävä käyttötarkoituksen mukaisesti, mutta erikseen rakennuksen kokoa tai henkilömäärää ei ole rakennuksessa rajoitettu. Paloluokitukset P2 ja P3-luokitelluilla rakennuksilla henkilöitä koskeva paloturvallisuus sekä riittävien pelastus- ja sammutustöiden mahdollistaminen saavutetaan määrittelemällä asetuksen mukaisesti oikeanlainen suhde rakennuksen koon, käyttötarkoituksen ja sallitun henkilömäärän välillä. P2-paloluokitellulle rakennukselle

vaatimukset kantaville rakenteille voivat olla P1-luokkaa matalammat, jos riittävää paloturvallisuustasoa pystytään parantamaan tiettytyyppisillä pintamateriaaleilla tai laitteilla. Kantaville rakenteille ei aseteta erityisiä vaatimuksia paloluokituksessa P3 ja nämä ovatkin useimmiten enintään kaksikerroksisia pientaloja [5][6].

Palokuormien ryhmitys P1-paloluokalle on seuraavanlainen [5]:

$> 1200 \text{ MJ/m}^2$

Mm. Varastot, jotka ovat erillisiä palo-osastoja

$600 - 1200 \text{ MJ/m}^2$

Mm. Kokoontumis- ja liiketilat, kirjastot, näyttelyhallit, enintään 50 neliömetrin varastot sekä palo-osastokooltaan yli 300 neliömetrin myymälät.

$< 600 \text{ MJ/m}^2$

Mm. Asunnot ja hoitolaitokset, työpaikkatilat, teatterit, kirkot, sekä pienikokoiset kokoontumis- ja liiketilat.

3.2 Palo-osastot

Palon syttyminen ja potentiaalisen tulen leviämisen estäminen on rakennusta suunniteltaessa ratkottava. Rakennukset osastoidaan, jotta mahdolliset savun- tai tulen leviäminen onnistuttaisiin rajoittamaan helpommin sekä henkilövahinkojen välttämiseksi, että omaisuusvahinkojen vähentämiseksi. Palo-osastoitavien tilojen käyttötapa sekä rakennuksen paloluokka määrittävät lopulta osastojen enimmäispinta-alan, mutta näitä voidaan laajentaa esimerkiksi automaattisella sammutus- tai hälytysjärjestelmällä. Palo-osastoinnin voi siis jakaa monella eri tavalla, kuten kerros-, pinta-ala- tai käyttötarkoituserustein [6].

Palo-osastojen enimmäisalut, sekä jaettujen osien enimmäispinta-alat määritellään alla olevan taulukon (Taulukko 1) mukaisella tavalla [5].

Taulukko 1 Rakennusten paloluokat ja osastojen pinta-alarajoitukset, muokkaamaton lähteestä [5]

Käyttötarkoitus	Rakennuksen paloluokka ja kerroslukumäärä			
	P1	P2 yli 2 krs. ¹⁾	P21–2 krs.	P3
KERROKSET				
Asuinrakennukset	huoneistoittain	huoneistoittain	huoneistoittain	huoneistoittain
Majoitustilat ja hoitolaitokset				
– yöpymistilat	800 ² (1 200 * ²)	800 ²	800 ² (1 200 ² *)	400 ² (600 ² *)
– muut tilat	1 600 (3 200 *)	1 200	1 600 (2 400 *)	400 (1 200 *)
Kokoontumis- ja liiketilat sekä työpaikatilat				
– 1-kerroksinen	2 400 (24 000 *)	ei mahd.	2 400 (9 600 *)	400 (1 200 *)
– 2-kerroksinen	2 400 (12 000 *)	ei mahd.	2 400 (4 800 *)	400 (600 *)
– yli 2-kerroksinen, työpaikatilat	2 400 (9 600 *)	2 400	ei mahd.	ei mahd.
– yli 2-kerroksinen, myymälätilat	2 400 (4 800 *)	300	ei mahd.	ei mahd.
– yli 2-kerroksinen, muut tilat	2 400 (4 800 *)	1 200	ei mahd.	ei mahd.
Tuotanto- ja varastotilat, palovaarallisuusluokka 1				
– 1-kerroksinen, yleensä	6 000 ⁵⁾ (60 000 *)	ei mahd.	4 000 ⁵⁾ (36 000 *)	2 000 (12 000 *)
lämmöneristämätön rakennus	12 000 (60 000 *)	ei mahd.	12 000 (36 000 *)	12 000
kasvihuone	24 000 ⁵⁾	ei mahd.	24 000 ⁵⁾	24 000 ⁵⁾
– 2-kerroksinen	4 000 ⁵⁾ (24 000 *)	ei mahd.	2 000 ⁵⁾ (12 000 *)	ei sallittu
– yli 2-kerroksinen	3 000 (9 000 *)	ei sallittu	ei mahd.	ei mahd.
Tuotanto- ja varastotilat, palovaarallisuusluokka 2				
– 1-kerroksinen	2 000 ⁵⁾ (12 000 *)	ei mahd.	1 000 ⁵⁾ (6 000 *)	2 000 *
– yli 1-kerroksinen	1 000 (6 000 *)	ei sallittu	ei sallittu	ei sallittu
Autosuojat				
– maan päällä rakennuksen osana	3 000 ^{3) 5)} (24 000 *)	ei mahd.	3 000 (24 000 *)	400 (3 000 *)
– maan päällä erillinen autosuoja	3 000 ^{3) 4) 5)} (24 000 *)	ei mahd.	3 000 ³⁾ (24 000 *)	1 000 (6 000 *)
– maan alla	1 500 ⁵⁾ (10 000 *)	ei mahd.	1 500 ⁵⁾ (10 000 *)	ei sallittu
ULLAKOT	1 600	1 600	1 600	alapuolisten osastojen mukaan
KELLARIKERROKSET	800 (2 400 *)	800 (2 400 *)	800 (2 400 *)	400 (1 200 *)

Ullakot ja yläpohjan ontelot jaetaan 400 m² osiin.
Alapohjan ontelot jaetaan 400 m² osiin, jos tilan pinnat eivät vähäisiä osia lukuun ottamatta täytä D-s2, d2 -luokan vaatimuksia.

¹⁾ Rakennus on varustettu tarkoitukseen sopivalla automaattisella sammutuslaitteistolla, lukuun ottamatta 2–4-kerroksista asuinrakennusta, jonka kaikki kerrokset kuuluvat asunnoittain samaan asuinhuoneistoon ja jonka korkeus on enintään 14 m.

²⁾ Palo-osasto on jaettava majoitushuoneittain osiin.

³⁾ Avoimen autosuojaosaston pinta-ala voi olla 50 prosenttia suurempi.

⁴⁾ Enintään viisikerroksisessa avoimessa autosuojassa voidaan enimmäisalaa käyttää kerrosten pinta-aloina, vaikka eri kerrosten väliset ajotiet yhtyvät. Tämä edellyttää kuitenkin, että välipohjien luokka on vähintään REI 60.

⁵⁾ Palo-osaston pinta-alaa voi kasvattaa enintään 50 prosentilla, jos tila varustetaan hätäkeskukseen kytketyllä paloilmotimella ja tehokas sammutustyö voidaan aloittaa riittävän aikaisessa vaiheessa.

* Kun rakennus tai tila on varustettu tarkoitukseen sopivalla automaattisella sammutuslaitteistolla.

3.3 Rakennusosien paloluokitus

Palo-osastojen yleinen paloluokitus määrittää osastojen väliselle palon etenemiselle aikamääreet. Rakennusosien luokkavaatimuksista olennaiset työn kannalta, on EI-luokitus. Tämä luokitus antaa rakennusosien yhdistetylle tiiveydelle (E) ja eristävyydelle (I) selkeät palonkestoajat, jotka käytettävien osien ja materiaalien on kestävä. EI-luokitusten jaottelu yleisten rakennuksen paloluokkien mukaisesti nähdään alla olevasta taulukosta (Taulukko 2).

Taulukko 2 Rakennusosien paloluokat, muokkaamaton lähteestä [5]

	Rakennuksen paloluokka ja kerrosluku sekä palokuormaryhmä MJ/m ²					
	P1			P2 yli 2 kerrosta	P2 1–2 kerrosta	P3
	yli 1 200	600–1 200	alle 600	–	–	–
Kerrokset, yleensä	EI 120 ¹⁾ (EI 60 *) ¹⁾	EI 90 ¹⁾ (EI 60 *) ¹⁾	EI 60 ¹⁾	EI 60 ²⁾	EI 30	EI 30
– yli 56 metriä korkea rakennus	EI 90, A2 *	EI 60, A2 *	EI 60, A2 *	ei mahd.	ei mahd.	ei mahd.
– yläpohja, jos osastoivisuusvaatimus	EI 60	EI 60	EI 60	EI 60 ²⁾	EI 30	EI 30
– tuotanto- ja varastotilat, palovaarallisuusluokka 1, pinta-alaosastointi	EI-M 90, A1 (EI-M 60, A1 *)	EI-M 90, A1 (EI-M 60, A1 *)	EI-M 90, A1 (EI-M 60, A1 *)	ei mahd.	EI-M 90, A1 (EI-M 60, A1 *)	EI-M 90, A1 (EI-M 60, A1 *)
– tuotanto- ja varastotilat, palovaarallisuusluokka 2, pinta-alaosastointi	EI-M 120, A1 (EI-M 60, A1 *)	EI-M 120, A1 (EI-M 60, A1 *)	EI-M 120, A1 (EI-M 60, A1 *)	ei mahd.	EI-M 120, A1 (EI-M 60, A1 *)	EI-M 60, A1 *
– autosuojat, pinta-alaosastointi	EI 60, A2	EI 60, A2	EI 60, A2	ei mahd.	EI 60	EI 30
Ullakon osastoivat seinät, pinta-alaosastointi	EI 30	EI 30	EI 30	EI 30	EI 30	EI 30
Kellarikerrokset	EI 120, A2 (EI 90, A2 *)	EI 90, A2 (EI 60, A2 *)	EI 60, A2	EI 60, A2	EI 60, A2	EI 30, A2 ³⁾

¹⁾ Yli 2-kerroksisen P1-paloluokan rakennuksen uloskäytävien osastoivat rakennusosat on tehtävä vähintään A2-s1, d0-luokan tarvikkeista.
²⁾ Huom. 24 §:n 3 momentissa esitetyt vaatimukset.
³⁾ Yhdelle asunnolle kuuluvassa kellarissa luokkavaatimus on EI 30.
A1 Tarvikkeet A1 luokkaa
A2 Tarvikkeet vähintään A2-s1, d0-luokkaa
* Kun rakennus tai tila on varustettu tarkoitukseen sopivalla automaattisella sammutuslaitteistolla.

Palorajoittimille on lisäksi vielä ulkoisen ja sisäisen palonkestävyyden luokitus sekä asennustavoista riippuvat lisäykset, jotka ilmoitetaan osana EI-luokitusta. Tällainen on esimerkiksi luokitus EI 60 (ve – ho i <-> o), josta voidaan ymmärtää, että palopelti voidaan asentaa sekä pysty- (ve), että vaakasuoraan (ho) sen vaikuttamatta ilmoitettuun tiiveyteen tai eristävyyteen. Asennusasennon kanssa ilmoitetaan vielä palonkestävyysvaatimuksen paikkansapitävyys eri suunnista, joka käytetyssä esimerkissä (i <-> o) on molemmiin puolin vastaava.

3.4 Ilmakanavassa käytettävät materiaalit

Jotta ilmanvaihtojärjestelmän sekä palo-osastointia varten tarvittavat laitteet voi suunnitella rakennukseen, pitää tietää palon estämiseen tarvittavien ominaisuuksien lisäksi minkälaisia materiaaleja itse kanavistossa voi käyttää. Asetuksessa 848/2017 ohjeistetaan kanavamateriaalina käytettäväksi yleisesti täysin palamattomia rakennustarvikkeita. Luokitukset rakennustarvikkeille jaetaan seuraavan taulukon mukaisesti järjestyksessä parhaimmasta huonoimpaan (Taulukko 3).

Taulukko 3 Rakennustarvikkeiden paloluokitukset, muokattu lähteestä [5]

Luokitus	Kuvaus
A1	Palamattomat tarvikkeet
A2	Erittäin heikosti palavat tarvikkeet
B	Heikosti palavat tarvikkeet
C	Kohtalaisesti palavat materiaalit
D	Palavat materiaalit, joiden vaikutus palon kehittymiseen on hyväksyttävissä
E	Palokäyttäytyminen on hyväksyttävissä
F	Määräykset täyttämättömät materiaalit
s1	Savuntuotto on erittäin vähäistä
s2	Savuntuotto on vähäistä
s3	Savuntuotto ei täytä s1 tai s2 vaatimuksia
d0	Palavia pisaroita tai osia ei esiinny
d1	Palavat pisarat tai osat sammuvat nopeasti.
d2	Palavien pisaroiden tai osien tuotto ei täytä d0 eikä d1 vaatimuksia

Rakennustarvikkeiden ominaisuudet ilmoitetaan yllä olevien (Taulukko 3) luokitusten yhdistelminä, kuten esimerkiksi A2-s1, d0 tai C-s2, d1. Poikkeuksena ääriluokat A1 ja F, jotka esiintyvät aina ilman lisämäärettä, koska esimerkiksi A1-luokitellulla materiaalilla ei ole savuntuottoa tai pisarointia ja F-luokiteltu materiaali ei täytä miltään osin määräyksiä. Osastoivien rakennusosien luokkavaatimus on A2-s1, d0, jonka perusteella työlle tuli myös etsiä tämän mukaiset materiaalit [5].

4. PALOPELLIN TOIMINTA JA RAKENNE

Palopellin tarkoitus on eristää rakennuksen palo-osastot toisistaan sulkemalla ilmanvaihtoputkisto. Tyypillisesti palopeltejä on kahdella eri toimintaperiaatteella, lämpötilan tunnistavalla sulakkeella ja savunilmaisimella varustettuja, kuten alla olevassa kuvassa on esitetty (Kuva 1).

Lämpötilan tunnistava sulake on jousitoiminen ponnahdussalpa, joka laukeaa 72-asteen lämpötilan saavuttaessa sulakkeen. Tämä on täysin mekaanisen rakenteen mahdollista-vasta alhaisesta kustannussyystä kaikkein yleisin palopeltityyppi.

Savunilmaisimella varustettu moottoroitu palopelti reagoi savun määrään lämpötilan lisäksi ja tästä syystä myös reagoi tulipalotilanteeseen nopeammin kuin lämpötilatoiminen. Kahden identtisen palon simulaatiossa toimii savunilmaisoin käytännössä jo siinä vaiheessa, kun tuli on lähdössä leviämään alkupisteestään. Mekaanisella lämpösulakkeella varustettu palopelti saavuttaa sulkeutumislämpötilan yleensä vasta siinä vaiheessa, kun tuli on levinnyt tarpeeksi lähelle ja se riittää lämmittämään tarpeeksi sulaketta.

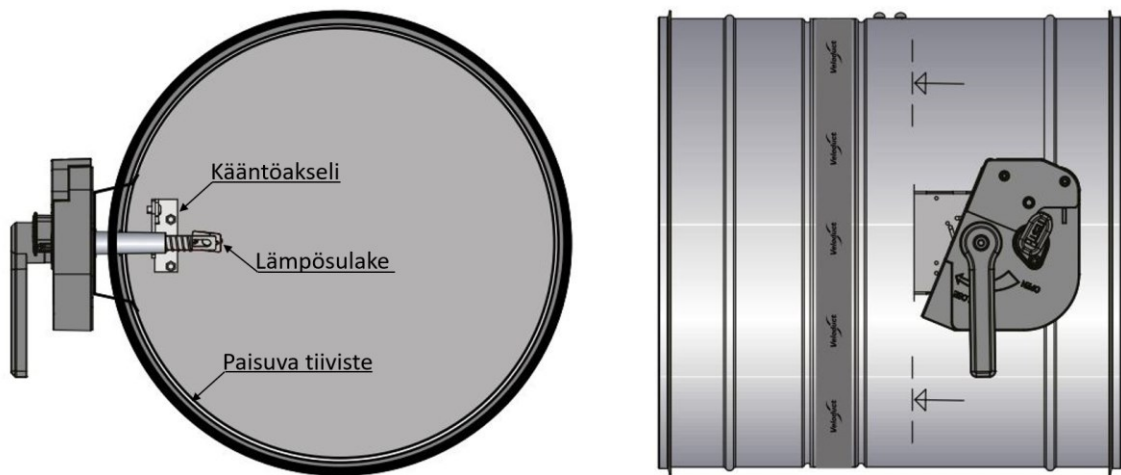


Kuva 1 ETCE mekaaninen- ja moottoritoiminen palopelti [8]

Palopellin vaippa on pääsääntöisesti kuumasinkittyä teräslevyä, mutta läpän materiaaleja on yleistettynä kahta erilaista. Mikäli rakennuksen vaatimustaso paloluokalle ei edellytä samanaikaisesti erityisen eristävää sulkuläppää ilmanvaihtokanavaan, voidaan läpän materiaalina käyttää sinkittyä terästä. Ohut teräsläppä siirtää lämpöä huomattavasti runsaammin kuin vaihtoehtoinen silikaatti, mutta sillä voidaan silti saavuttaa vähintään 60 minuutin standardin EN 13501-3 mukaisen tiiveysvaatimuksen savunrajoittamiselle. Tällöin palonrajoittimenä toimivan palopellin virallinen luokitus on standardin mukaisesti E 60. Tässä tutkimus- ja

testaustyössä keskityttiin kuitenkin vaativimpien olosuhteiden läppämateriaaleihin, joiden tulee kestää 120 minuuttia standardin edellyttämällä tavalla niin tiiveyden, kuin eristävydenkin osalta. EI-luokan palopeltejä kutsutaan myös raskaiksi palopelleiksi [7].

Läpän rakenne on nykyisessä mallissa kerrosrakenne, joka koostuu kolmesta samaa materiaalia olevasta levystä, sekä näiden välissä olevasta pehmeästä tiivistekumista. Kääntöakselin vipu on läpän levyihin läpipultattuna, joka osaltaan tukevoittaa akselin ja läpän toimintavarmuutta. Läpän sulkeuduttua tiiveyden lisäämiseksi palopellissä on lisäksi lämpötilaan reagoiva paisuvatiiviste (Kuva 2).



Kuva 2 ETCE mekaaninen palopelti, muokattu lähteestä [8]

Rakenteensa vuoksi läppä on kiinteänä aina ilmanvaihtokanavassa, jonka vuoksi kanaviston sisäisen kitkahäviön vuoksi jokainen palopelti järjestelmässä tuo lisäksi läpistä johtuvan lisän painehäviöön. Tästä syystä läpän tulisi olla niin ohut kuin mahdollista, säilyttäen silti riittävät palotekniset ominaisuudet.

5. KAUPALLISTEN PALOLUOKITELTUIJEN MATERIAALIEN VERTAILU

5.1 Materiaalikartoitus

Materiaalivaihtoehtojen kartoituksen perusteena oli löytää kaupallisia vaihtoehtoja toimittajilta, jotka pystyvät toimittamaan luotettavasti materiaalit pitkällä tähtäimellä. Toinen erittäin suuri painoarvo valinnalle ominaisuuksien ja toimitusmäärien lisäksi oli tietysti hinta. Kilpailukykyisen tuotteen kokonaisomakustanne hintaa silmällä pitäen materiaalikartoituksesta jäi pois erikoisimmat vaihtoehdot.

Kartoitus suoritettiin omalla tutkimustyöllä, materiaalivalmistajien, sekä paloturvallisuustuotteita tarjoavien yritysten teknistä myyntiä konsultoimalla. Lopulliseen palotestivertailuun valittiin seitsemän erilaista levymateriaali, joiden ominaisuuksia vertailtiin nykyiseen läppämateriaaliin.

5.2 Valintaperusteet

Yleisesti palosuojaus rakenteiden osalta suoritetaan joko villoittamalla tai päällystämällä pinnat tarkoitukseen sopivilla palokipsilevyillä. Lähtökohta oli kuitenkin nykyinen rakenne, joka edellyttää jäykkää rakennetta, joka kestää sekä mekaanisen palopellin jousisulun sekä palokokeen aikana vallitsevan 300 Pascalin paineen aiheuttaman rasituksen. Käytännössä, kun levy haurastuu tarpeeksi lämmön vaikutuksesta, se halkeaa joko kanavan reunalta tai keskeltä, joka nopeasti kasvaa suuremmaksi vuotavan kuumen ilman vaikutuksesta.

Aiemmin rakennusosien määräysten mukaisesti lähtökohtana oli löytää materiaali, joka ei aiheuta terveystarpeita palopeltiä kootessa omalla tehtaalla tai ilmanvaihtokanavassa palotilanteessa. Paloluokitteluksi asetettiin vähimmäisvaatimukseksi siis A2-s1, d0, vaikka aivan pelkästään tämän asetuksenkaan mukaisesti ei voinut täysin toimia.

Eräs materiaali, jota on käytetty pitkään palosuojaukseen laajalti rakennuksissa sen ominaisuuksien ja soveltuvuuden vuoksi on Vermikuliitti. Eräät valmistajat ilmoittavat Vermikuliittivalmisteisten palonsuojalevyjen olevan A1 tai vähintään A2-s1, d0 luokiteltuja. Parhaimmillaan paloluokka varmasti onkin erittäin hyvä kyseisellä materiaalilla, mutta koska sen puhtaudesta ei voida täysin varmistua, päätettiin jättää se täysin kokeistakin pois. Vermikuliitin kaivannoissa saattaa tulla oheistuotteena asbestia, joka on ilmanvaihtoa ajatellen ehdottomasti poissuljettava. Tunnetuin tapaus

vermikuliittikaivosten tuottamista terveyshaitoista oli Yhdysvaltalainen Libbyn kaivos, joka parhaimmillaan tuotti noin seitsemänkymmentä prosenttia maailman kaupallisesta vermikuliitista. Suurin osa louhitusta määrästä päätyi pääasiallisesti kotitalojen eristykseen ja arvioiden perusteella edelleen miljoonat kodit ovat vuorattu asbestiseosteisilla vermikuliitti-eristeillä [12].

Pääsääntöisesti otollisimmat materiaalit palopellin läppänä toimimiseen olivat kalsiumsilikaatti-pohjaisia materiaaleja. Vaihtoehtoisiksi löytyi muun muassa magnesiumoksidi-levy, kipsin-, selluloosan- ja lasikuidun yhdistelmä, sekä hieman harvinaisempi villamainen emäksinen maa-alkalisilikaattikuitumateriaali. Huomiona materiaali G, jota käytettiin kerrosrakenteisen läpän palokokeessa yhdessä materiaalin A kanssa, on jälkikäteen todettavasti materiaali, joka ei täytä haluttuja vaatimuksia käyttökohteelle.

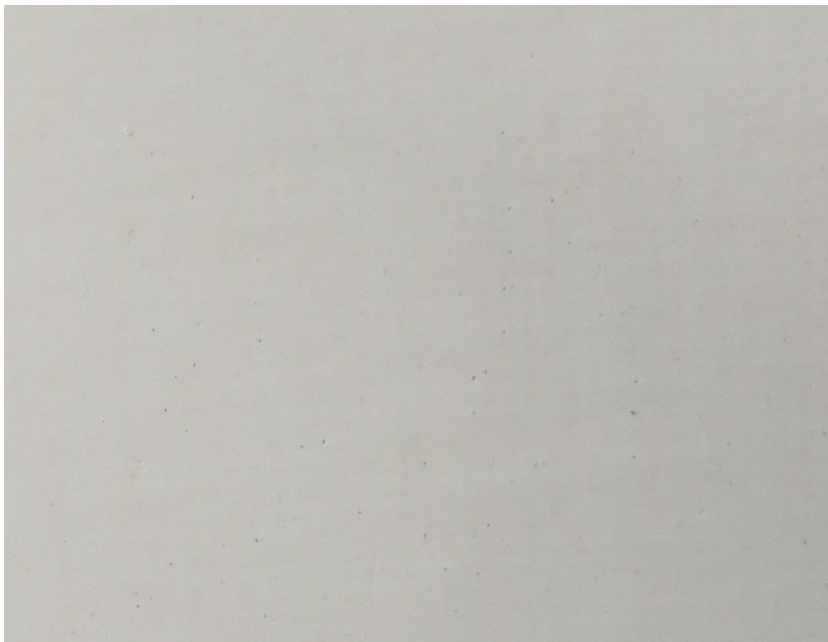
Materiaalikohtainen lämmönjohtavuuden tavoitearvoa käyttötarkoitusta varten ei ole suoranaisesti, koska kokonaisvaltaiseen soveltuvuuteen vaikuttaa lämmönjohtavuuden lisäksi useampi ominaisuus. Myös taulukossa (Taulukko 4) ilmoitetut lämmönjohtavuusarvot eivät täysin ole vertailukelpoisia, koska osalla tuotteista ilmoitetaan vain 20-asteessa tehtyjen testien perusteella ja muutamista 200-asteen lämpötilassa tehtyjen mittausten perusteella. Lämmönjohtavuuden ohella materiaalin jäykkyys ja muotonsa säilyttäminen ovat erityisen tärkeitä tiiveyden kannalta. Jos materiaali halkeaa tai rapistuu kesken palokokeen ja päästää raoista tulikuumaa ilmaa lävitse, ei varsinaisella lämmönjohtavuudella ole enää niin suurta merkitystä. Toisaalta lämmönjohtavuus vaikuttaa eristävytyteen ja siten estää johtumisen ja säteilyn kautta leviävää paloa. Optimaalinen ratkaisu läpäksi onkin erittäin matalalla lämmönjohtavuudella varustettu materiaali, jolla on riittävä jäykkyys, jolloin läppää kokonaisuutena voitaisiin ohentaa säilyttäen silti nykyinen eristävyys. Näistä syistä otimme testiin myös materiaalin F, koska sen yhdistelmä eristävyttä, keveyttä ja korkeaa paloaineiden luokitusta palamistuotteiden kannalta oli erittäin mielenkiintoinen.

Taulukko 4 Valitut materiaalit ja niiden lämmönjohtavuus

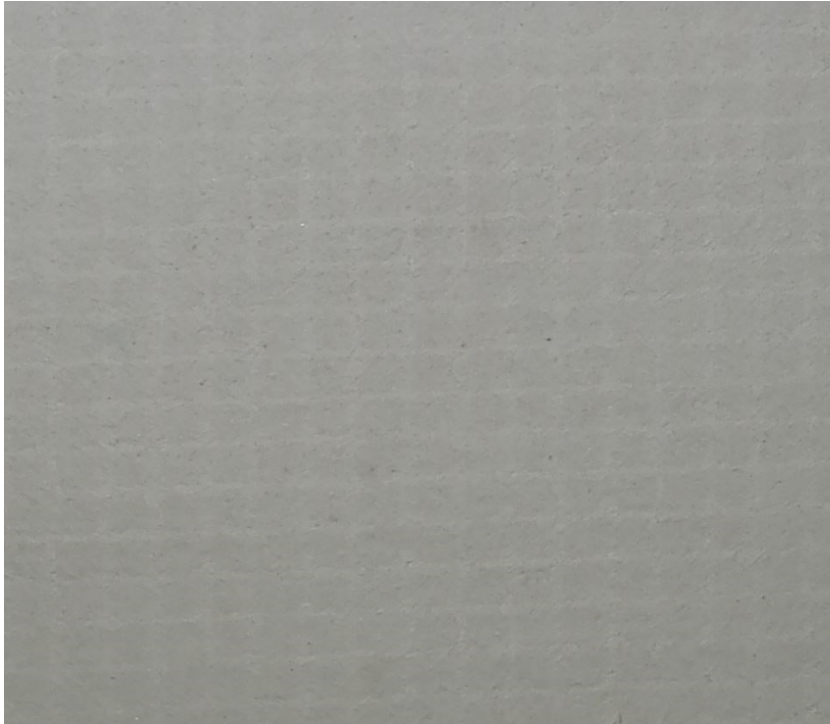
Materiaali	Pääasiallinen koostumus	Lämmönjohtavuus [W/mK]
A	Magnesiumoksidi	0,21
B	Kuitusementti kalsiumsilikaatti	0,17
C	Kalsiumsilikaatti	0,19
D	Kuitusementti kalsiumsilikaatti	0,20
E	Kipsi, selluloosa- ja lasikuitu	0,30
F	Superwool (AES)	0,05
G	Alumiinisilikaatti	0,09
R	Kalsiumsilikaatti	0,22

5.3 Valittujen materiaalien rakenne

Vaikka useamman materiaalin pääasiallinen koostumus onkin kalsiumsilikaattipohjainen, jokaisen levyn rakenne oli kuitenkin selvästi erilainen. Magnesiumoksidin, magnesium sulfaatin ja perliitin sekoitusta oleva materiaali B (Kuva 3 ja 4) on pinnoiltaan kaksijakoinen. Edestä levy on hyvin tasainen ja jopa hieman kiiltävä, taustapuolella näkyy selvästi sitovana vahvikkeena levyissä oleva lasikuituverkotus.



Kuva 3 Materiaali A, etupuoli



Kuva 4 Materiaali A, taustapuoli

Kuitusementtivahvisteisen kalsiumsilikaattilevyn B (Kuva 5) rakenne muistuttaa hyvin paljon samaan struktuuriin perustuvaa D:tä (Kuva 7), joissa kummassakin pinta vaikuttaa olevan harjattua kuitusementtiä. Materiaali C (Kuva 6) ja referenssi R (Kuva 9) ovat koostumukseltaan hyvin samankaltaisia.



Kuva 5 Materiaali B

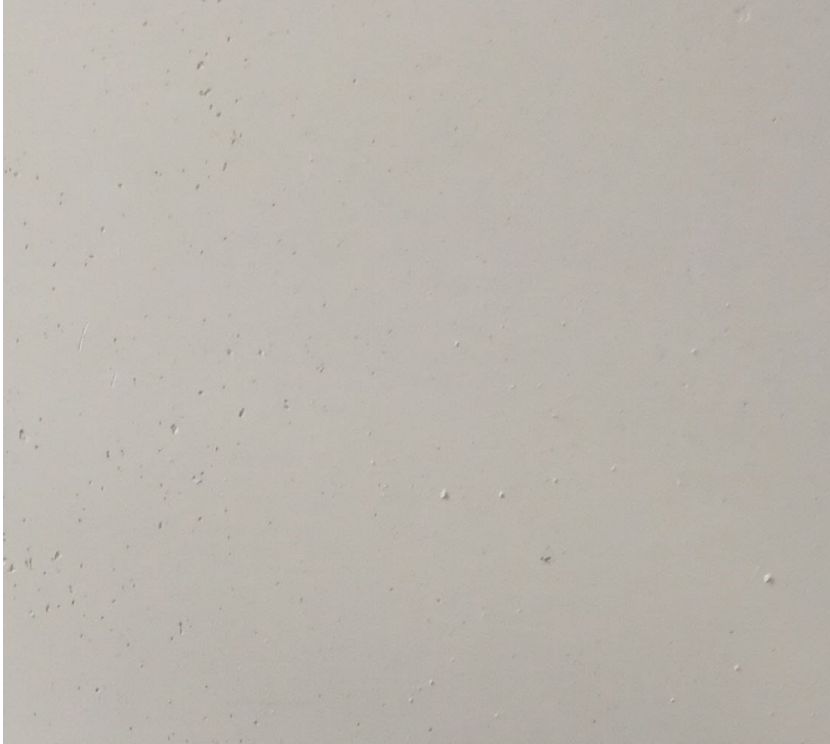


Kuva 6 Materiaali C



Kuva 7 Materiaali D

Kipsin, selluloosan ja lasikuidun sekoitusta oleva materiaali E (Kuva 8) oli pinnoitettu oletettavasti lasikuidun ja selluloosan sekoituksella valmistetuilla kuorilla väliin jäävän ydinmateriaalin muistuttaen paljon normaalia tiivistä kipsilevyä.



Kuva 8 Materiaali E



Kuva 9 Materiaali R

Niin kutsuttua superwoolia oleva materiaali F osoittautui odotusarvoisesti liian pehmeäksi pelkästään käytettäväksi, jonka vuoksi se testattiin ainoastaan kerrosrakenteisena palokokeessa.



Kuva 10 Materiaali F

6. VALITTUJEN MATERIAALIEN VERTAILU

Kartoitetuista materiaaleista valittiin yhteensä seitsemän, jotka tilattiin testattavaksi palokokeita varten. Vaihtoehdot tilattiin levyaihioina, jotka sitten työstettiin vesileikkurilla sopivan kokoisiksi levyiksi rakentamaamme palotestiseinää varten, sekä pienemmiksi liuskoiksi riittävien mekaanisten ominaisuuksien testaamiseksi. Vaihtoehtoina oli mukana ominaisuuksiltaan potentiaalisia, mutta nykyisestä ratkaisusta eriäviä, pehmeämpiä eristelevyjä, joiden avulla tutkittiin uudenlaisia kahden eri materiaalin kerrosrakenteen toimivuutta.

Osa materiaaleista saapui valmiiksi aihioiksi työstettyinä ja osa tuli varastokokoisina levyinä, jotka toimitimme sopimusalihankkijalle vesileikattavaksi haluttujen mittojen mukaisesti. Työstön jälkeen valmiiksi leikattuja levyaihioita säilytettiin kuivassa varastotilassa useita viikkoja, jotta ylimääräinen kosteus vesileikkauksesta, aiemmasta kuljetuksesta sekä varastoinnista poistuisi ja lähtökohdat testeille olisi jokaiselle materiaalille samat. Materiaalien sisältämä kosteus vääristää mittaustuloksia ja muuttaa jo itsessään materiaalin kykyä johtaa lämpöä sekä kestää rasitusta. Kalsiumsilikaattilevyn kohdalla esimerkiksi ero levyn lämmönjohtavuudessa oli noin kaksi ja puoli kertainen märän ja kuivan levyn välillä, kuivemman levyn eduksi [13].

Varastoinnin jälkeen jokaisesta testattavasta aihioista mitattiin sivujen pituudet mittanauhalla, paksuus työntömitalla sekä paino vaa'alla. Tämän jälkeen jokaisesta materiaalista voitiin laskea tiheys ja verrata sitä materiaalin toimittajan ilmoittamaan nimellistiheyteen. Erityinen huomio testien kannalta on se, että levymateriaaleista ei osin ollut mahdollista saada valmiina tai teetettynä saman paksuisia, joten kokeen tuloksista ei ollut mahdollista saada täysin vertailukelpoisia materiaalien paksuuden heittojen vuoksi. Alla taulukoituna testeissä käytettyjen levyjen mitat (Taulukko 5):

Taulukko 5 Testattavien materiaalien mitat

Aihio	Levyn paksuus [mm]	Pinta-ala [m ²]	Tilavuus [m ³]	Punnittu paino [kg]	Laskettu tiheys [kg/m ³]
A10	10	0,1596	0,0016	1,4422	877,3133
A10	10	0,1596	0,0016	1,4265	867,7627
A12	12	0,1596	0,0018	1,7398	956,2268
A12	12	0,1596	0,0019	1,8222	943,5780
B	12	0,1681	0,0020	1,7497	874,6794
B	12	0,1681	0,0020	1,7778	893,3040
C	12	0,1572	0,0019	2,3645	1263,8824
C	12	0,1568	0,0019	2,3594	1264,3491
D	12,5	0,1576	0,0020	1,9737	1001,8273
D	12,5	0,1568	0,0020	1,9156	977,2535
E	15	0,1596	0,0024	2,1389	893,4405
E	15	0,1598	0,0024	2,1516	885,8112
R	10	0,1600	0,0016	1,7478	1092,3750
R	10	0,1600	0,0016	1,6649	1040,5625

Tiheys on tekijä, jonka itselaskettu suuruus verrattuna toimittajan ilmoittamaan arvoon, on hyvä arvioida, koska se antaa testejä varten käsityksen testiolosuhteissa vallitsevasta kosteuden tilasta verrattuna materiaalitoimittajan ilmoittamien ominaisuuksien mittaolosuhteisiin sekä itse materiaalin annettujen tietojen oikeellisuuteen. Alla taulukoituna (Taulukko 6) materiaalien mitatut tiheydet verrattuna toimittajan ilmoittamiin, sekä näiden välinen suhde.

Taulukko 6 Materiaalien tiheyden vertailu

Aihio	Levyn paksuus [mm]	Laskettu tiheys [kg/m ³]	Ilmoitettu tiheys [kg/m ³]	Tiheyden erotus [%]
A10	10	877,3133	1050	16,4 %
A10	10	867,7627	1050	17,4 %
A12	12	956,2268	1050	8,9 %
A12	12	943,5780	1050	10,1 %
B	12	874,6794	900	2,8 %
B	12	893,3040	900	0,7 %
C	12	1263,8824	1000	26,4 %
C	12	1264,3491	1000	26,4 %
D	12,5	1001,8273	950	5,5 %
D	12,5	977,2535	950	2,9 %
E	15	893,4405	850	5,1 %
E	15	885,8112	850	4,2 %
R	10	1092,3750	1000	9,2 %
R	10	1040,5625	1000	4,1 %

Materiaalitoimittajien ilmoittamille tiheyksille on ilmoitettu +/- 10%:n suuruinen sallittu heitto mittaustoleransseihin. Vertailuarvoista voidaan todeta heti kahden materiaalin osalta, että joko toleranssit eivät ole ilmoitetun tarkkuisia tai esimerkiksi materiaali C ei ole kuivunut varastossa yhtä nopeasti kuin muut. Toisaalta huomioon on otettava myös omat käytetyt punnituslaitteet (Kuva 11) ja arvioida mahdollisuus heittoihin omissa mittauksissa. Vaa'at olivat kalibroidut, mutta aihoiden punnitukseen käyttämäni pienempi vaaka vaati kevyttä levyn tukemista punnituksen aikana, joten tämä on voinut vaikuttaa pieniltä osin omiin mittauksiini.



Kuva 11 Punnitukseen käytetyt vaa'at

Tarkemmat tiedot ja kuvat testilaboratoriosta tai testattavista materiaaleista ovat sopimuksen mukaan salassa pidettäviä, joten seuraavista palokokeista otetuista kuvista on poistettu mahdolliset viitteet editoimalla.

6.1 Palokoe

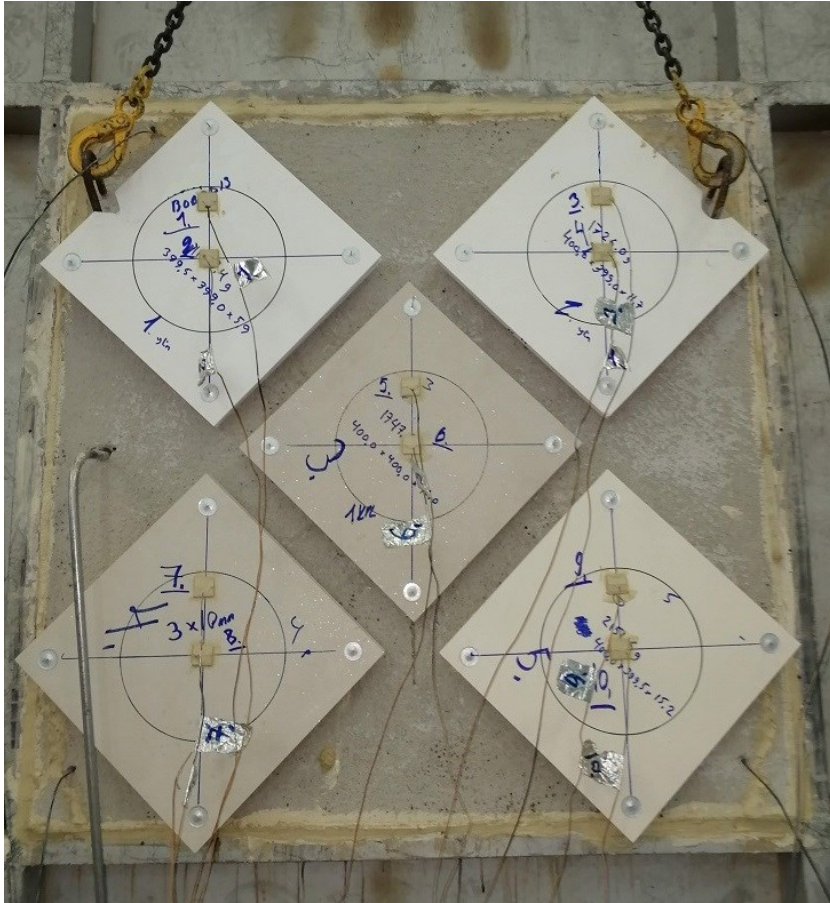
Varsinainen materiaalien palonkestotesti suoritettiin FläktGroup Finland Oy:n Akaalla sijaitsevassa palolaboratoriossa, jossa palokokeet suoritetaan maakaasulämmitteisen testiuunin avulla. Materiaalien palokokeiden suorittaminen on pitkälti tarkkojen standardien sanelemaa ja eri tuotteiden kohdalla voikin olla useampia standardien soveltamisaloja. Palonkestävien kanavien ja palonrajoittimien kohdalla EN 13501-3 määrittelee yhdenmukaiset palonkestävyyteen perustuvat luokitukset, jonka sisältö täydentyy tarkentavilla palonkestävyydestien standardeilla EN 1363-1 sekä EN 1366-2. Uuni on rakennettu siten, että sillä on mahdollista testata paloturvallisuustuotteita

aiemmin mainittujen standardin mukaisesti tulosten ollessa virallisia ja vertailukelpoisia [11].

Uunin keskellä kyljessä olevaan liitosaukkoon on mahdollista lisätä standardien mukaiset tuotekohtaiset testirakennelmat. Näiden testirakennelmien ja –seinien on noudatettava rakennekohtaisia standardeja, jotta testituloksia voidaan pitää vertailukelpoisina. Joustavat rakenteet, kuten kipsiseinärakenteet, on valmistettava standardin SFS-EN1363-1 (kohta 7.2.2.4) mukaisesti ja betonilaattarakenteet standardin SFS-EN1366-2 (luku 7) ohjeiden mukaan. Palopellin läpän materiaaliveikkojen testaamista varten valoimme testiseinän betonista, jonka paksuus määrittyi testijakson keston mukaan [9][10].

Betonisen testiseinän pyöreät kanavaa jäljittelevät aukot reunustettiin ensin palovillalla, tiivistettiin massalla ja asetettiin paikoilleen levyjen kulmista kiristettävien kiinnikkeiden avulla. Testiseinän pyöreiden kanava-aukkojen reunat piirrettiin myös levyihin visuaalista tarkastelua varten.

Palotestistandardi SFS-EN1366-2 määrittää ehdot myös lämpötila-antureiden asettamiselle. Jokaiselle palotestattavalle levyille asennettiin kaksi anturia, joista ensimmäinen asetettiin 25 millimetriä kanavan sisäpinnasta ja toinen anturi keskelle kanavaa. Alla otos palotestin aloitusasetelmasta (kuva 12) [9].



Kuva 12 Testiseinä valmiina palokokeeseen

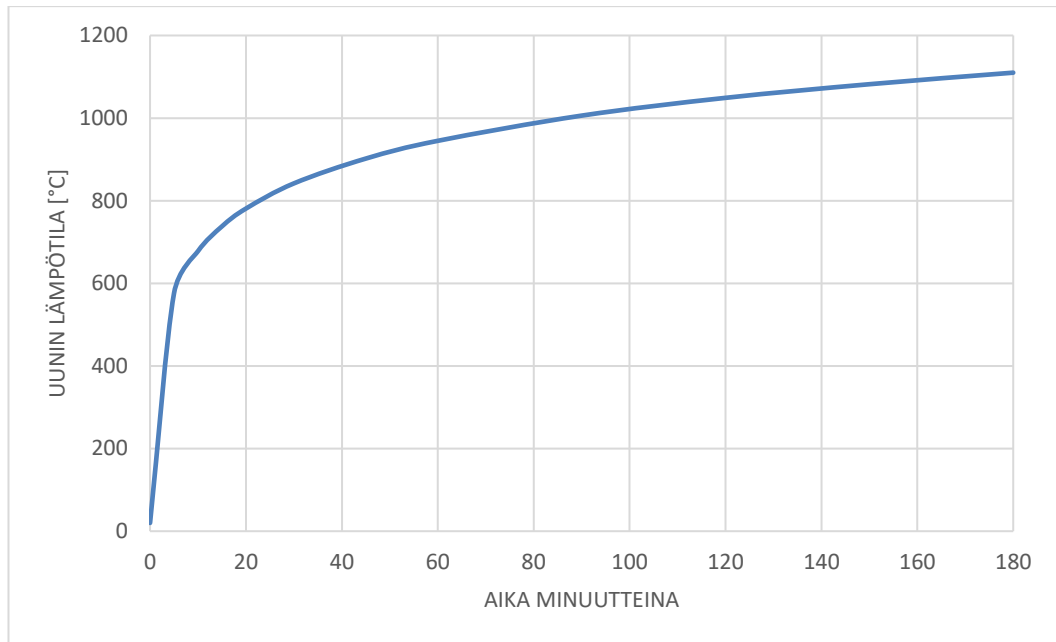
Uunin käynnistymistä ja lämpötilakäyttäytymistä seurataan lämmitys vaiheessa tarkoin, jotta lämpötilan nousu saadaan käyttäytymään tarkalleen SFS-EN1363-1 (kohta 5.1.1) mukaisesti. Tällä osoitetaan norminmukainen palonkehittyminen, jotta vertailukelpoisuus palotestattavien materiaalien välillä olisi yhtenevä. Lämpötilannousun tulee siis nousta suhteessa kaavaan (6):

$$T = 345 \log_{10}(8t + 1) + 20, \text{ jossa} \quad (6)$$

T kuvaa uunin keskimääräistä lämpötilaa ja [°C]

t aikaa minuutteina

Graafisessa muodossa kaava voidaan kuvata myös alla olevan kuvan (Kuva 13) mukaisesti.



Kuva 13 SFS-EN1363-1 standardin mukainen lämpötila-aika käyrä

Kokeen alkaessa sekä jokaisen kymmenen minuutin välein otetaan valokuva koko testiseinästä, sekä jokaisesta levystä erikseen. Lämpötilatiedot kirjautuvat automaattisesti minuutin välein Excel-tiedostoksi tallennettavaan data-logiin, josta tämän palokokeen tulosten tiedot on analysoitu.

6.2 Taivutuskoe

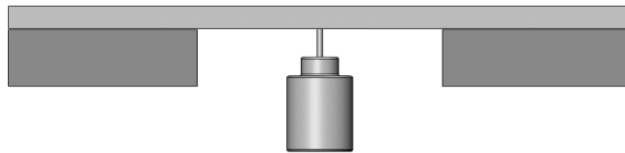
Palopellin rakenteen vaatimaa riittävä jäykkyys läppämateriaalille testattiin taivutuskokeella, jota varten jokaisesta vaihtoehtoisesta materiaalista leikattiin 50mm x 400mm kokoiset liuskat, joiden päähän porattiin tarkkaan mitattu reikä vedellä täytettävän punnuksen koukun kiinnittymistä varten. Liuska asetettiin tukevalle alustalle puristimilla siten, että sen keskikohta sijaitsi täsmälleen alustan reunalla ja vapaaseen päähän sijoitettiin punnus. Näin saatiin tyypillinen vääntömomentin mittaustilanne, joiden tulosten avulla voidaan vertailla suhteessa referenssimateriaaliin R. Valitsimme vesitäyttöisen painon, jotta varsinainen painon lisääminen onnistuisi tasaisesti ilman heilahduksia ja kuormituspiikkiä. Taivutuskoe suoritettiin kaksi kertaa jokaiselle materiaalille, jotta voitiin varmistua siitä, että ensimmäinen levyn murtumiseen johtanut paino ei johtunut säröistä tai muista mahdollisista yksittäisen levyn materiaaliveirheistä. Alla kuvitettu tilanne taivutuskokeen järjestelystä (kuva 14).



Kuva 14 Taivutuskokeen havainnollistamiskuva

6.3 Kuormitustesti

Kuormitustestillä tarkoitetaan tässä yhteydessä ruuvien kierteiden pitävyyden ja kantavuuden testausta levyssä. Lämpöakselin kiinnitystavan vuoksi läppämateriaalin pitää olla tarpeeksi kestävä ja sitkeä, jotta pistekiinnitykset pysyvät luotettavasti kiinni läpässä kanavapaineesta huolimatta. Testissä käytettiin samankokoisia levyaihioita kuin palotestissä, jotka puristettiin kahdelta sivulta alustalle. Punnus kiinnitettiin neliskantaisen levyn keskelle kipsi-, palosuoja- ja muiden rakennuslevyjen kiinnitykseen tarkoitetulla harvakierteisellä Hobau-ruuvilla (Kuva 15).



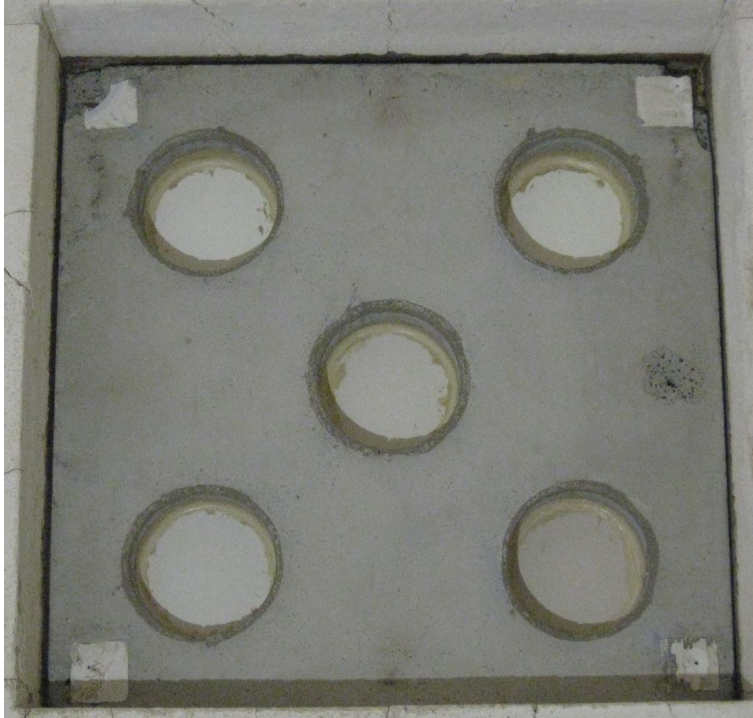
Kuva 15 Ruuvien kantokyvyn testin havainnollistamiskuva

6.4 Kosteudensieto

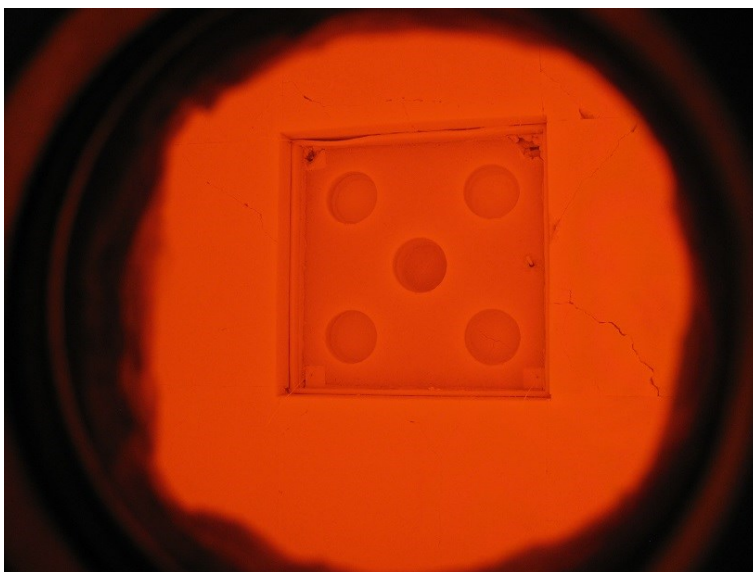
Kosteudensietotesti tässä tapauksessa on yhdistelmä kosteuden imeytymiskykyä ja levyn kestävyys vettyneenä. Suurin osa testatuista materiaaleista oli referenssimateriaalin tavoin kalsiumsilikaattipohjaisia, mutta kaksi potentiaalista vaihtoehtoa A ja E, olivat täysin eri tyyppisiä. Referenssimateriaali kalsiumsilikaatista säilyttää kohtalaisen hyvän jäykkyyden murenematta jopa vettyneenä, mutta magnesiumipohjainen materiaali A sekä kipsin ja lasikuidun sekoitus materiaali B, olivat arvoituksia. Kyseinen testi suoritettiin yksinkertaisuudessaan asettamalla nämä kolme testattavaa levyä vesiastiaan viikonlopun ajaksi, jolloin näiden tuloksia tarkasteltiin noin 3 päivän liottamisen jälkeen. Levyistä otettiin painon lisäksi tarkat mitat sekä paksuus ennen vesiastiaan laittoa, jotta niiden mahdollista turpoamista voidaan tutkia.

7. TESTITULOKSET

Uunin lämpötilan kasvaessa suurimmat visuaaliset erot materiaaleissa voidaan nähdä jo ensimmäisen puolen tunnin aikana, sillä lämpötila kohoaa siinä ajassa jo noin 850°C:een tienoille. Visuaalisesti voidaan todeta myös korkean lämpötilan luomat rajut testiolosuhteet (Kuva 16 ja 17).

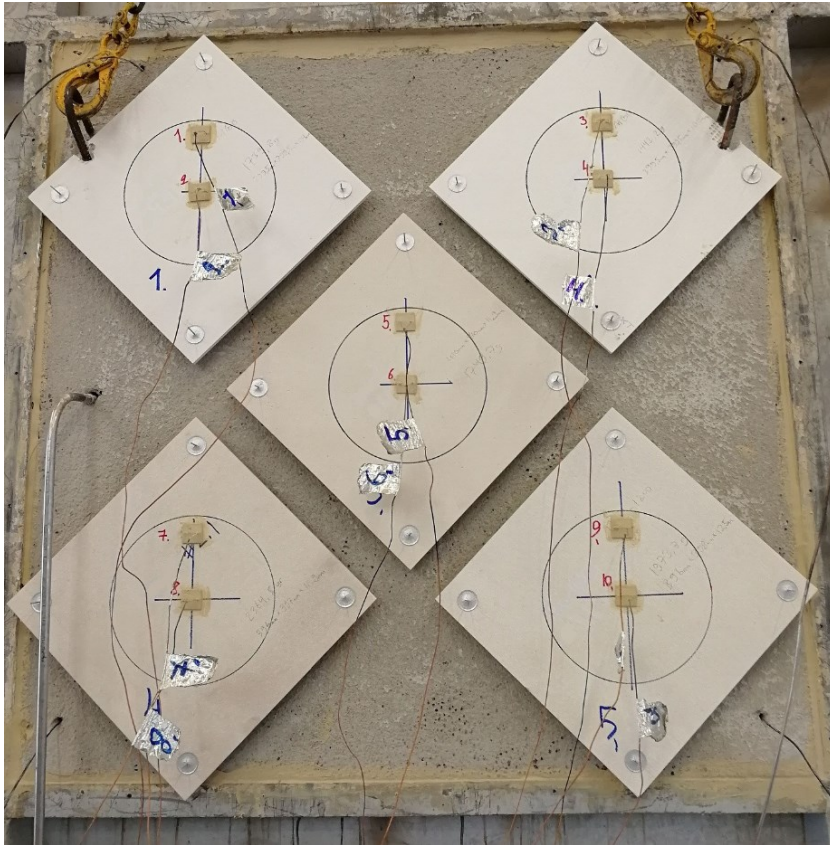


Kuva 16 Otos uunin sisäpuolelta testiseinän kiinnityksestä



Kuva 17 Otos uunin tarkastusaukosta sisälämpötilan ollessa noin 1050°C

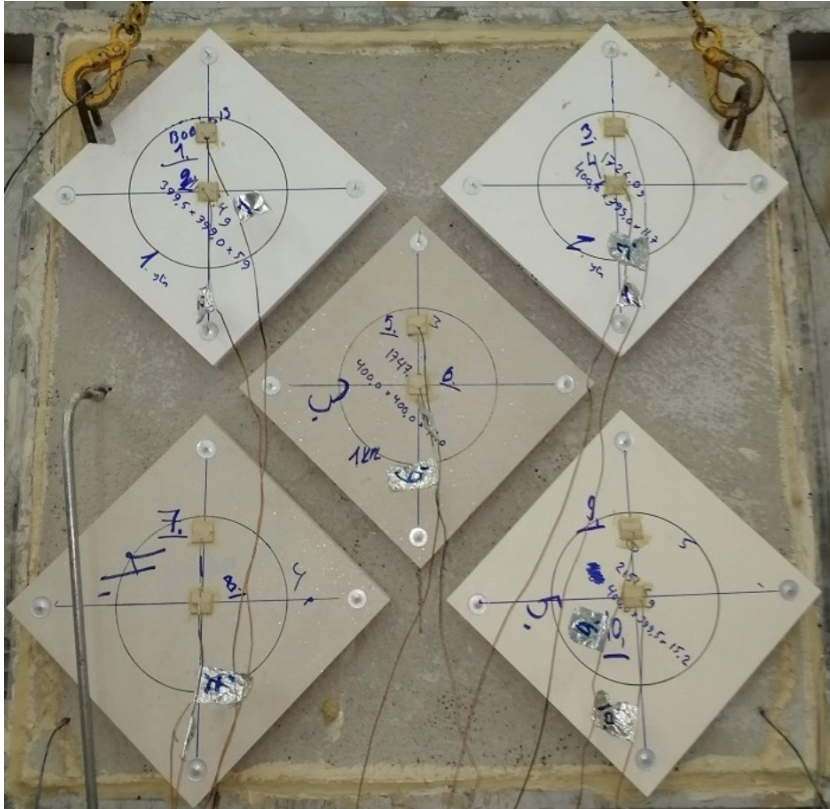
Alla esitettynä molempien palokokeiden lähtö- ja lopputilanne (Kuvat 18-21).



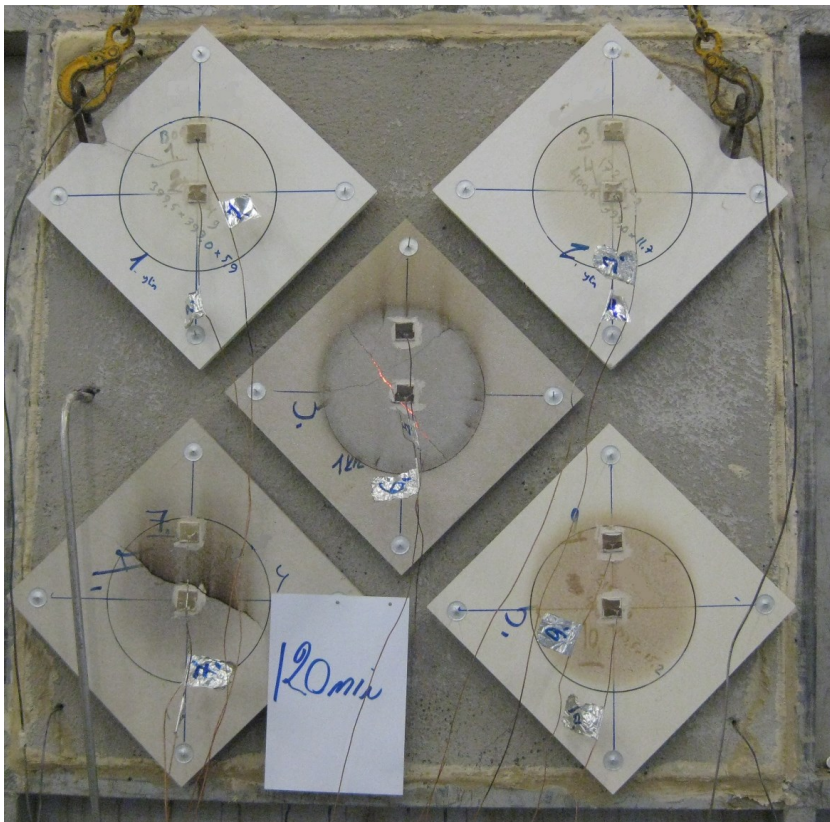
Kuva 18 Palotesti 1, testiseinä valmiina palokokeeseen



Kuva 19 Palotesti 1 tilannekuva kahden tunnin kokeen jälkeen



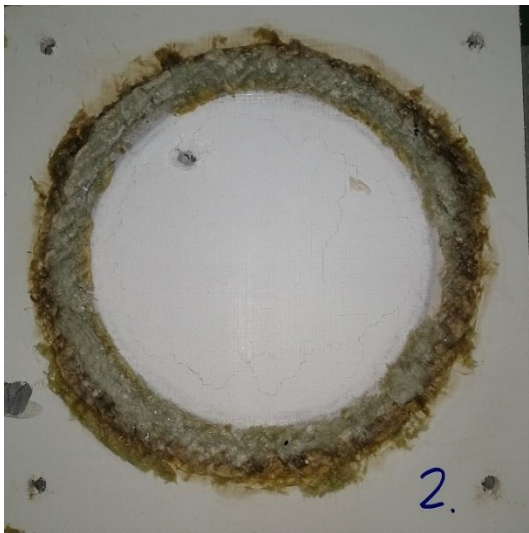
Kuva 20 Palotesti 2, testiseinä valmiina palokokeeseen



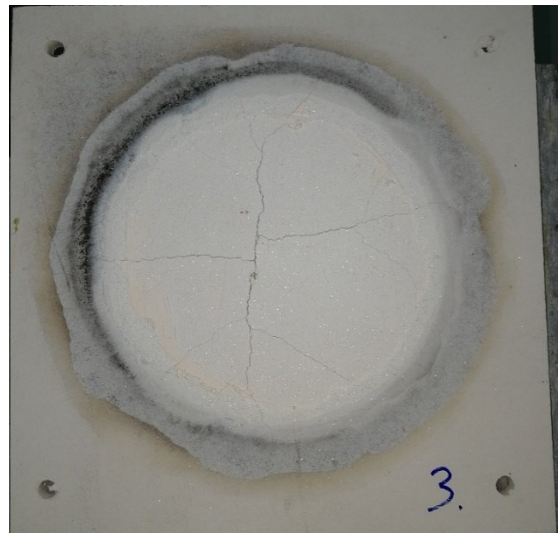
Kuva 21 Palotesti 2 tilannekuva kahden tunnin kokeen jälkeen

Jokainen levy pysyi suhteellisen ehjänä myös uunin puolelta, vaikka syviä halkeamia onkin erityisesti kalsiumsilikaattipohjaisissa levyissä runsaasti (Kuvat 23-25). Poikkeuksena materiaali A, jonka pinnassa oli lähinnä matalia hiusmurtuman kaltaisia säröjä (Kuva 22). Kalsiumsilikaattilevyt olivat kuitenkin jäykempiä palokokeen jälkeenkin, vaikka halkeamat ovat syvemmät. Magnesiumoksidipohjainen levy A vaikutti ehjimmältä, mutta tuntui ohut kerros kerrallaan rapistuvan sitä kopautellessa. Referenssiin verrattuna näiden ominaisuudet olivat vähintään riittävät verratessa ominaisuuksia käsin. Materiaali A oli ainoa, johon paloi tiukasti kiinni testiseinässä ollut palovilla.

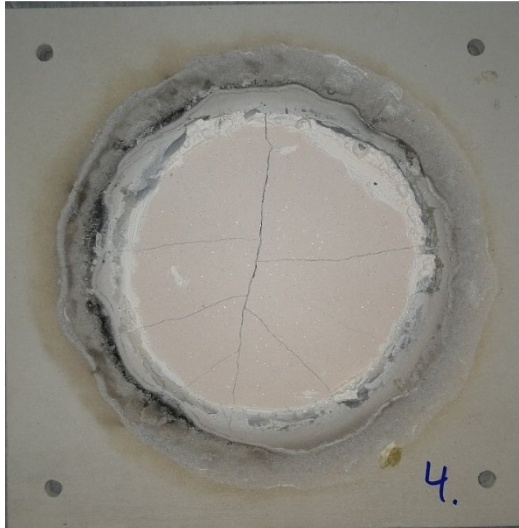
Huomiona säröilystä on mainittava se, että osa levyistä lohkeili kovaäänisesti uunia jäädytettäessä. Vastaava ilmiö on muissakin vastaavissa testeissä huomattu, jolloin myös kyseessä olleet magnesiumoksidipohjaiset testilevyt halkeilivat palopuolelta jäähtyessään kiinnityksen, eli tässä tapauksessa kanavan muotoisesti [14]. Kuitenkin kovaäänisimpiä halkeilijoita olivat kalsiumsilikaattilevyt ja eräässä rakennuslevyjä vertailevassa palokokeessa onkin todettu jopa räjähtelevää halkeilua. Turvallisuusriskiä seinäeristeiden tavoin palopeltien läppämateriaalina en näe, mutta raju halkeilu voi puolestaan johtaa halkeilun luomien rakojen lukuisiin pistevuotoihin jouduttaen palon leviämistä [16].



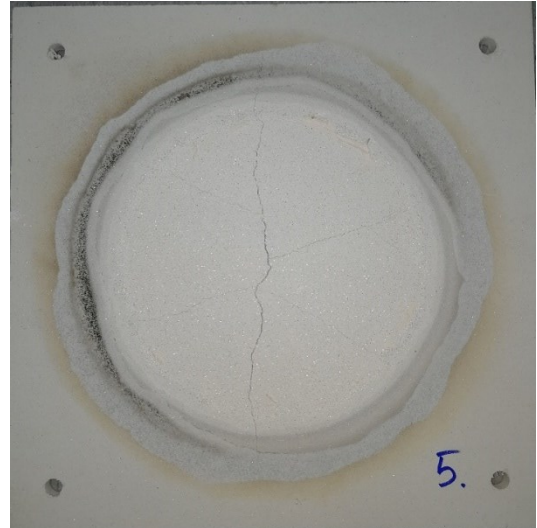
Kuva 22 Materiaali A



Kuva 23 Materiaali B



Kuva 24 Materiaali C

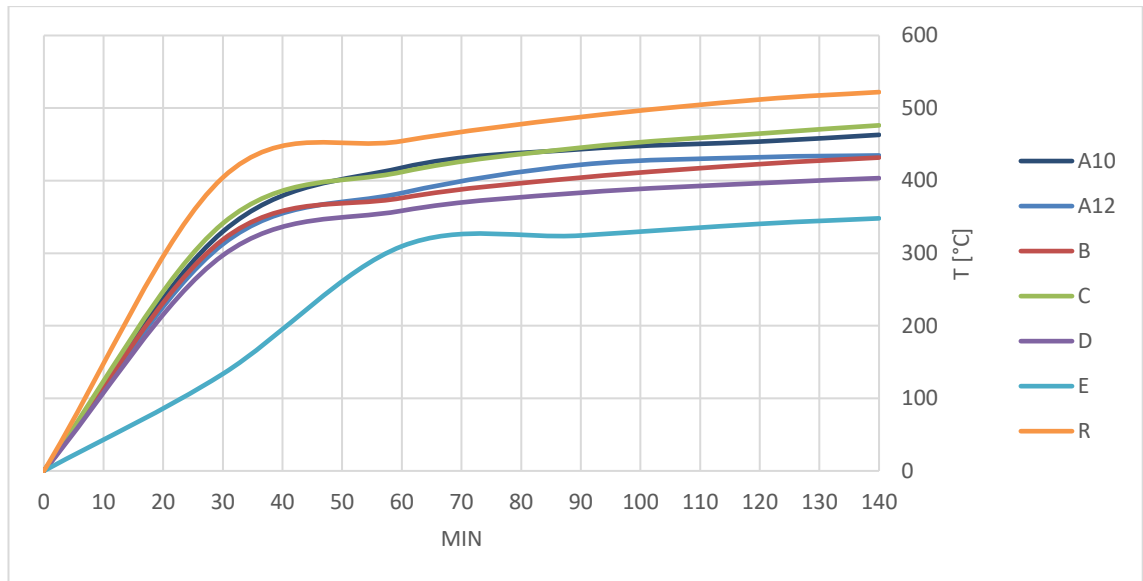


Kuva 25 Materiaali D

7.1 Palokoe

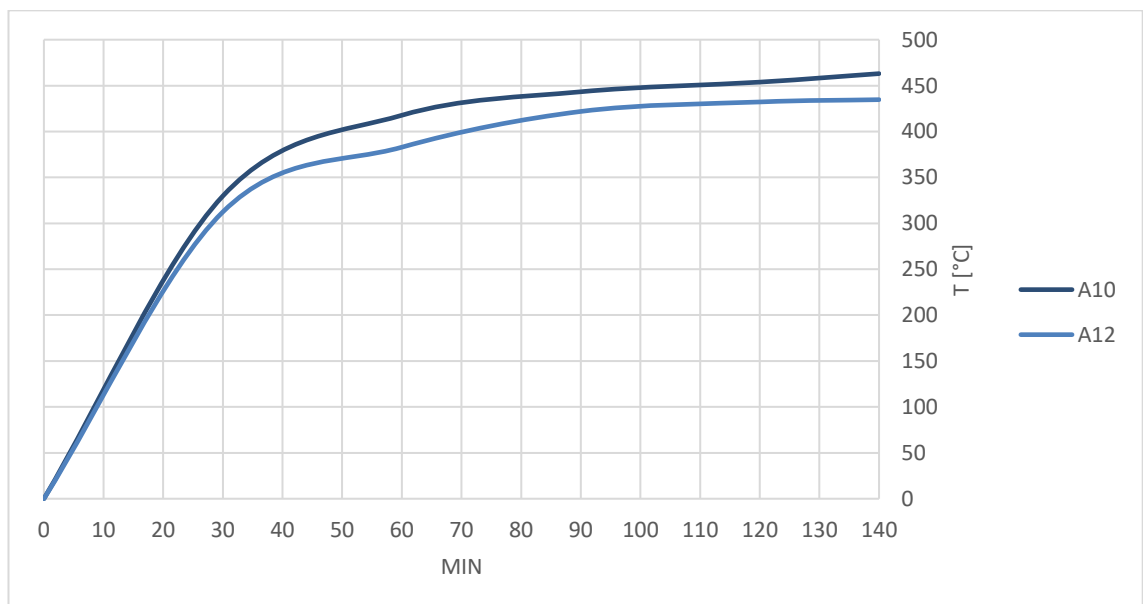
Kahden palokokeen tulokset ovat jaoteltu kuvaajiin tyyppien mukaisesti, eli yksittäiset levymateriaalit (Kuva 26) on eroteltu kolmesta kokeillusta kerrosrakenteesta (Kuva29). Kyseiset lämpötila-arvot taulukoituina ovat poimittu selkeyden vuoksi kolmenkymmenen minuutin intervalleilla testituloksista sekä kuvaajissa käytetään pääsääntöisesti kahden anturin keskiarvoa.

Yksittäisistä levymateriaaleista hajonta ei referenssiä R tai paksuinta materiaalia E lukuun ottamatta ollut radikaalia hajontaa. Olisi mielenkiintoista saada tutkittavaksi ohuempi versio materiaalista E, jotta tasavertainen analyysi olisi mahdollista. Huomattavaa kokeessa on se, että hankitut materiaalit pärjäsivät eristävyydeltään paremmin.



Kuva 26 Yksittäistestattujen levyaihioiden tulokset

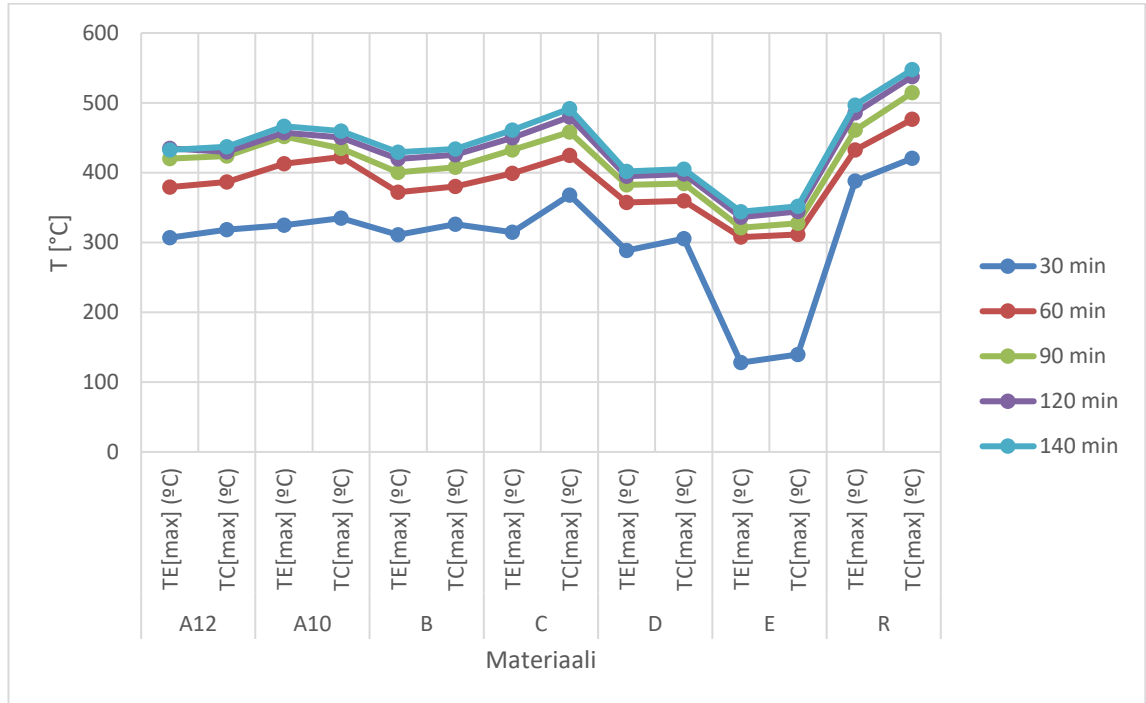
Koska testattujen levyjen paksuudet eivät saatavuuksien vuoksi yhtenevät, vertailin A:n tuloksia kummallakin levyn paksuudella erikseen. A on ainoa materiaali, jota saimme hankittua paikallisesti ja useammassa eri paksuudessa. Eroa ei kuitenkaan kahden millimetrin paksuuserosta huolimatta ollut kuin 5-8 %:n tienoilla, eli enintään noin 35-astetta kuudenkymmenen minuutin kohdalla. Alla kuvaajan muodossa lämpötilaerot 10 millimetrin ja 12 millimetrin paksuisilla samoilla materiaaleilla (Kuva 27).



Kuva 27 Materiaalin A levynpaksuuden vaikutus tuloksiin

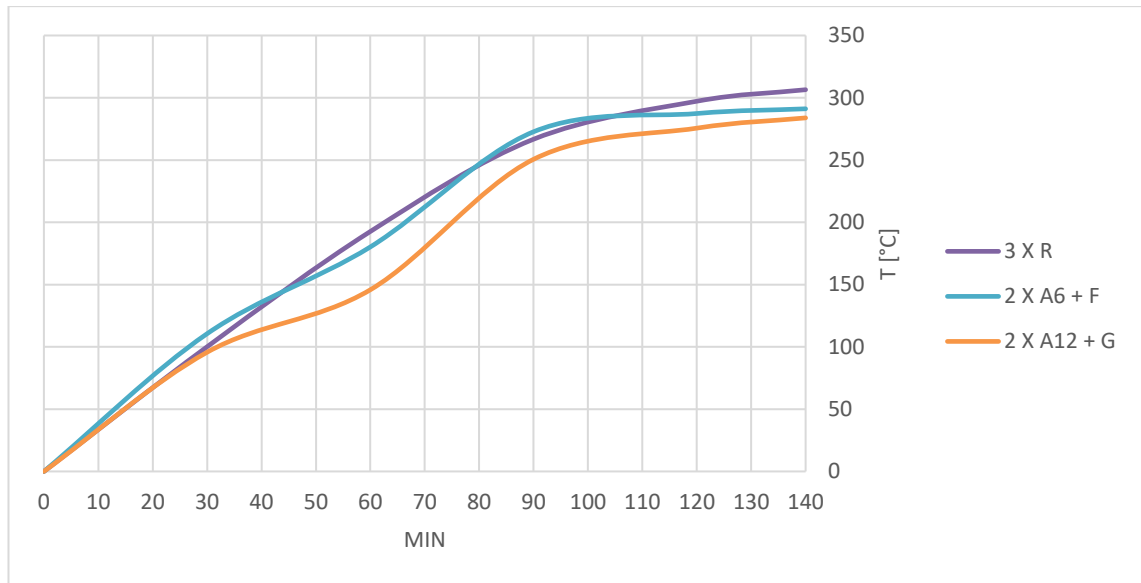
Mielenkiintoinen huomio eri materiaalien lämmönjohtavuudesta löytyy niin kutsutusti huonoimman ilmoitetun lämmönjohtavuuden omaavasta materiaali E:stä. Alla olevan kuvaajasta (Kuva 28) voidaan huomata, että E eristi ensimmäisen puolen tunnin ajan

selkeästi parhaiten verrattuna muihin läppiin. Osaltaan eristyskyky selittyy hieman paksummalla rakenteellaan muihin verrattuna, mutta kuitenkin tunnin jälkeen lämpötilannousu ulkopuolisille antureille tasoittui.



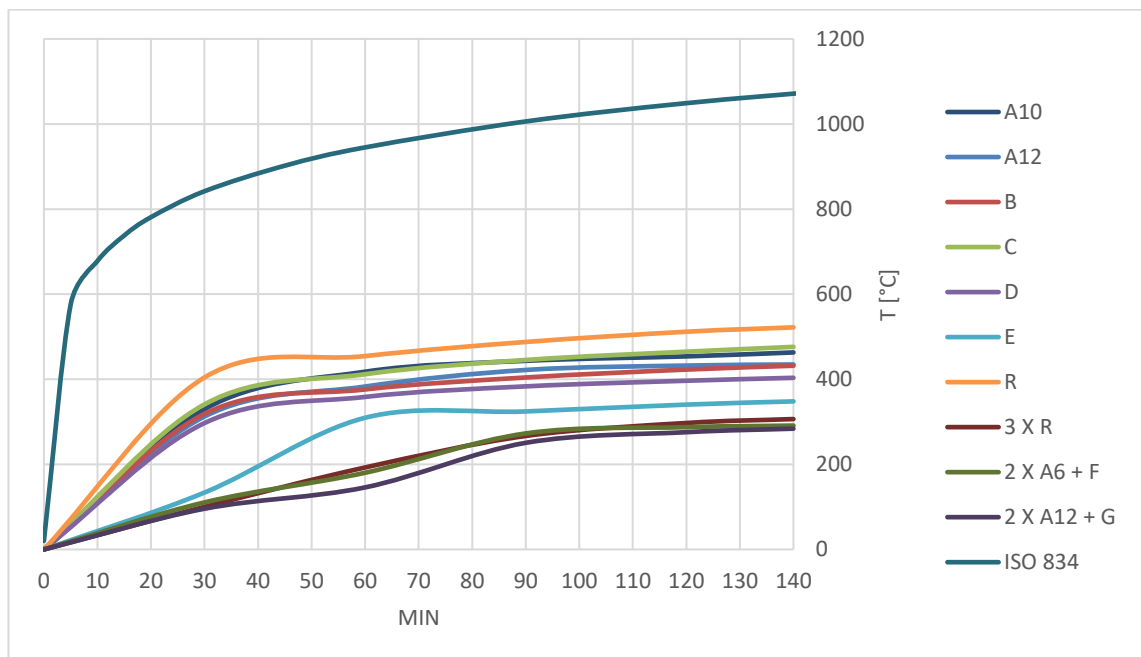
Kuva 28 Levymateriaalien reagointi lämmön nousuun

Eroavaisuuksia kahden kerrosratkaisun ja referenssiläppärakenteen välillä oli yllättävän vähän (Kuva 29). Kerrosrakenne A6 materiaalia sekä superwool eristettä F, on paksuudeltaan 5 millimetriä referenssiä ohuempi ja yhdistelmä A12 levyä ja G materiaalia referenssiä millimetrin ohuempi. Päätelmänä voidaan todeta, että näiden materiaalin A ja F yhdistelmällä on mahdollista saavuttaa ohuempi läpän rakenne ja säilyttää nykyisen kaltainen palonkesto.



Kuva 29 Kerrosrakenteiden tulokset

Lopuksi tarkasteltuna vielä jokainen materiaalivaihtoehto perspektiivikuvaajassa ISO 834-mukaisen uunin lämpötiläkäyrän kanssa kuvaamaan eristävyyttä (Kuva 30).

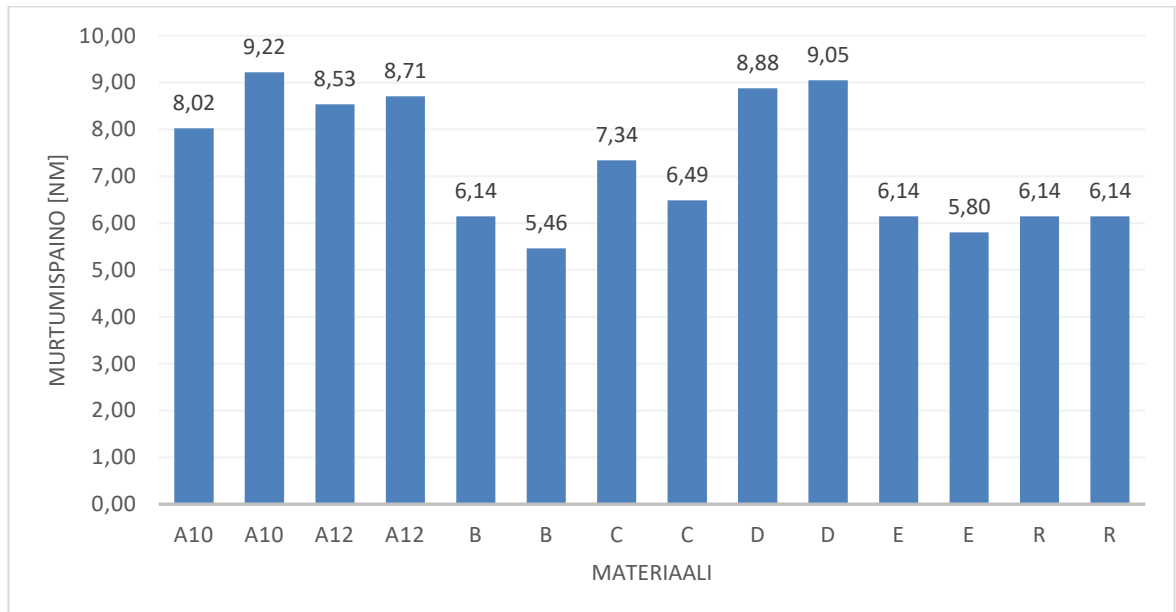


Kuva 30 Kaikkien tulosten vertailu

7.2 Taivutuskoe

Taivutustestissä tuloksissa (Kuva 31) ei ollut eroavaisuuksia negatiivisessa mielessä, vaan jokainen testattu levymateriaali vaikuttaisi sopivan haluttuun käyttötarkoitukseen. Materiaalit A ja D osoittautuivat kestävimmiä taivutusta vastaan ja toimisivatkin

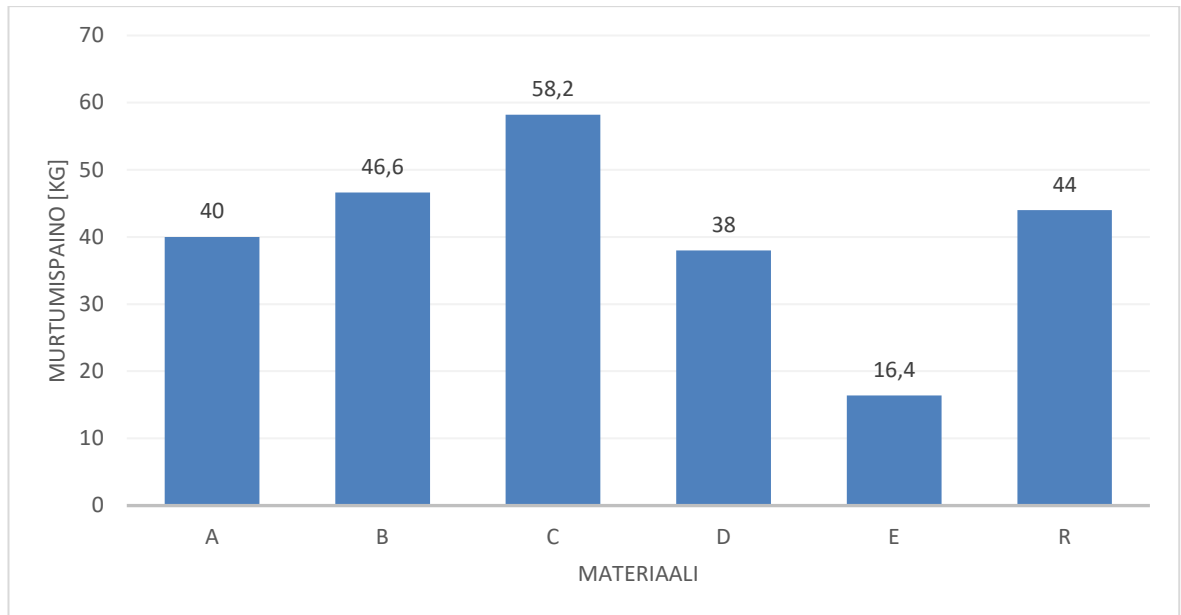
varmasti paremmin etenkin kovalla rasituksella olevien suurien palopeltien läppämateriaalina.



Kuva 31 Taivutustestin tulokset

7.3 Kuormitustesti

Kuormitustestin, eli ruuvin kantavuuden ja pitävyyden testissä lähes jokainen materiaali oli samalla tasolla kuin referenssimateriaali R, pois lukien materiaali E, joka pärjäsikin selkeästi heikoiten. Materiaali C:n korkein kantavuuskyvyn perusteella se voisi toimia hyvin suurimpien palopeltien läppämateriaalinakin, vaikka itse läppää suhteessa nykyiseen ohennettaisiin. Tällöin ohuempanakin voidaan saavuttaa riittävä akselin kiinnittyvyys ja toimintavarmuus. Alla kuuden levy materiaalin kuormitustestin tulokset kuvattuna (Kuva 32).

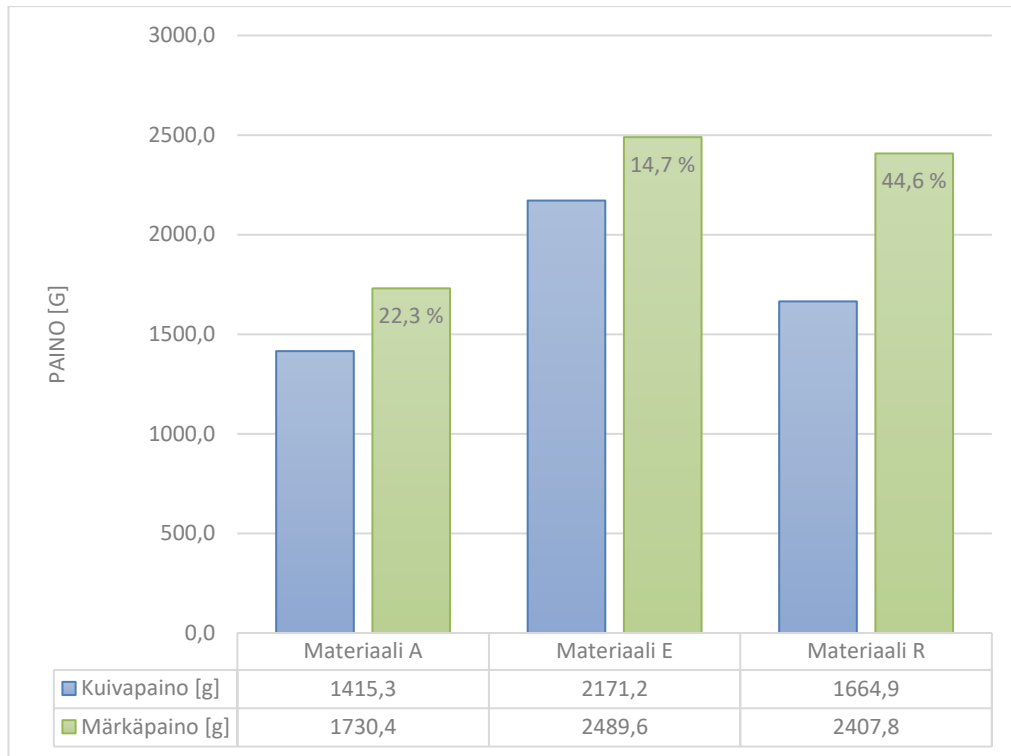


Kuva 32 Kuormitustestin tulokset

7.4 Kosteudensietotesti

Kolmen päivän liottamisen jälkeen levyt nostettiin ensin uudelleen mitattavaksi, jotta selviäisi onko paisumista tai muodon muutosta levyissä tapahtunut. Olisin oletanut, että kipsipohjainen materiaali E olisi turvonnut, mutta sen lasikuidutettu pintarakenne vastusti turpoamista erittäin hyvin. Käytännössä minkään materiaalin ulkomitat eivät siis muuttuneet mainittavasti.

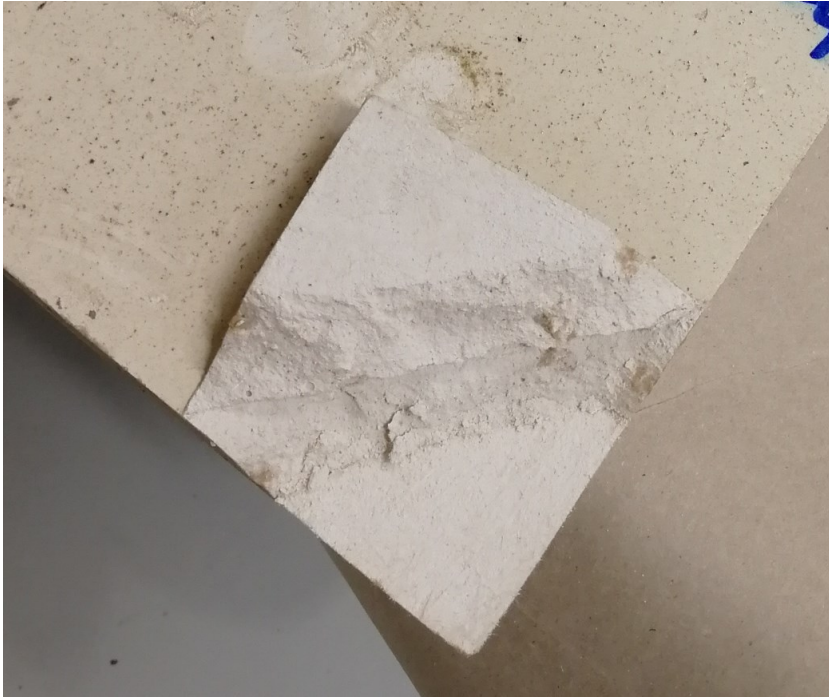
Yllätyksekseni referenssimateriaali R (Kuva 36) imi suhteessa painoonsa eniten kosteutta, mutta säilytti silti selkeästi parhaiten jäykkyyden vettymisen jälkeenkin. Suhteessa vähiten kosteutta itseensä imi materiaali E (Kuva 35), mutta pehmeni selvästi eniten materiaaleista, jolloin sen lujittava lasikuitukerros irtosi mattomaisesti kipsipohjaisesta levyn ytimestä. Myös kosteudensieto testin jälkeen materiaali A (Kuva 34) jatkoi yhtenä potentiaalisimmista vaihtoehtoisista materiaaleista palopellin läpän käyttötarkoitukseen. Alla olevassa kuvassa (Kuva 33) kaaviokuva materiaalien liotuksen jälkeen tarkkoina grammalukemina ja prosentuaalisena erotuksena kuivapainoon.



Kuva 33 Kosteudensietotestin tulokset



Kuva 34 Materiaali A kosteudensietotestin jälkeen



Kuva 35 Materiaali E kosteudensietotestin jälkeen



Kuva 36 Materiaali R kosteudensietotestin jälkeen

8. YHTEENVETO

Tässä diplomityössä käsiteltiin vaihtoehtoisen palopellin läppämateriaalin kartoitusta, tärkeitä ominaisuuksia sekä määräysten asettamia vaatimuksia, jotka palopellin pitää kokonaisuutena täyttää. Työ oli käytännön testipainotteinen, jonka lopputuloksena löytyi useampi läpän jatkojalostukseen kelpaava vaihtoehto. Mullistavaa vaihtoehtoa ei löytynyt testien perusteella, joka olisi ollut ilmiselvä valinta nykyisen materiaalin korvaajaksi, mutta potentiaalisia vaihtoehtoja nykyiselle rakenteelle löytyi mielestäni neljä.

Erityisesti magnesiumoksidipohjainen materiaali A on mielestäni potentiaalinen vaihtoehto jatkokokeisiin. Sen yhdistelmä palonkestoa ja mekaanisia ominaisuuksia voisivat antaa mahdollisuuden ohentaa hieman nykyistä läppää ja parantaa tiiveyttä ja eristävyttä halkeamattomalla rakenteellaan. Hintaluokassaan materiaali A oli omien kyselyideni perusteella likimain samassa haarukassa nykyisen materiaalin kanssa, sekä sen työstettävyys ja kokoonpaneminen tehtaalla pitäisi onnistua samoilla tavoilla. Tutkittavaksi tarkemmin mielestäni pitää materiaali ottaa, koska kuten vastaavanlaisessa palokokeessa oli tutkittu, niin magnesiumoksidi levyjen rajua massan haihtuminen ja siitä johtuva halkeilu nousi huolenaiheeksi [14].

Kalsiumsilikaattipohjaiset materiaalit B, C ja D, sekä referenssi R olivat testien tasaisimpia suorittajia. Sekä materiaalikartoitusta tehtäessä, että testien tuloksia tutkiessa kävi ilmi syyt siihen, miksi suurin osa vastaavista sovelluksista onkin kalsiumsilikaattilevyillä toteutettu. Materiaali säilyttää hyvin muotonsa palokokeen aikanakin, vaikka sen paikoitellen rajua halkeilua onkin epäilty muissa rakennusosien palokokeissa. Kalsiumsilikaattilevyjen kuituinen rakenne testatusti säilyttää mekaaniset ominaisuutensa seinälevysovelluksissa paremmin kuin magnesiumoksidipohjaiset materiaali [15][16].

Kiinnostava vaihtoehto ominaisuuksiensa puolesta on myös Materiaali E, jonka eristävyys oli selkeästi korkein lämpötilan noustessa ensimmäisen puolen tunnin aikana. Kipsilevymäisen luonteensa vuoksi se kuitenkin vaatii luotettavamman materiaalin läpänrakenteeseen vahvikkeeksi. Kuten kosteudensietotestissä ja kuormitustestissä huomattiin, nojaa kipsilevymäinen rakenne liikaa sen pintakerrosten sitovuuteen. Kun pintakerros hajoaa tai murtuu, menettää loputkin levyistä suuren osan eheydestään.

Potentiaalisten viiden materiaalin hinnoissa (Taulukko 7) ei mielestäni ollut suuria heittoja per neliometri, vaan vaikuttaisivat olevan hintansakin puolesta suhteellisen kilpailukykyisiä nykyiseen materiaaliin verrattuna. Referenssin hintana käytetty luku on kuitenkin kilpailutettu korkeaan volyymiin suhteutettu ja tiedossani olevat hinnat muiden materiaalien osalta sisältävät varmasti tilaa neuvottelulle.

Taulukko 7 Hinta per neliometri esitettynä kertoimella referenssiin nähden

Materiaali	Hintakerroin/m²
A	1,10
B	3,01
C	1,95
D	3,01
E	1,89

Materiaalien työstettävyys ja valmistettavuus vaikuttaisi olevan samalla tasolla, eikä näiden leikkaus- tai kiinnitystapoihin pitäisi tarvita muutoksia.

Jatkotoimenpiteinä olisi hyvä teettää jokaisesta vaihtoehtoisesta materiaalista nykyisillä metodeilla oikeanlaiset läpät palopeltiin sovitettavaksi, sekä koota ne tehtaalla nykyisten ohjeiden mukaan, jotta käytännön hyödyt ja ongelmat saadaan kartoitettua. Tämän jälkeen palokokeet voidaan uusina palolaboratoriossa testiseinän sijaan suoraan testikanavaan asennetulla palopellillä, jolloin myös lopullinen todenmukainen soveltuvuus tulisi todennettua.

LÄHTEET

- [1] Bokshtein, B. S., Mendeleev, M. I. and Srolovitz, D. J. (2005) Thermodynamics and Kinetics in Materials Science : A Short Course. Oxford: OUP Oxford.
- [2] Young, H. D., Freedman, R. A. & Ford, A. L. 2016. University physics with modern physics. 14. global ed. Harlow: Pearson.
- [3] Incropera, F. P. & DeWitt, D. P. 2001. Fundamentals of heat and mass transfer. 7th ed.
- [4] Ympäristöministeriö. 2018. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Saatavissa: <http://finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132>
- [5] Asetus 848/2017. Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta. Saatavissa: <https://www.ym.fi/download/noname/%7B66288BFB-A697-4FCB-B602-CE0316F2C37B%7D/134002>
- [6] Jantunen, Jorma. 2017. Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta. Muistio 28.11.2017 Saatavissa: <https://www.ym.fi/download/noname/%7B68F439B3-9D6E-44C4-8618-34FE9387FCE8%7D/132701>
- [7] Fläkt Woods Palontorjuntakäsikirja. 2012. Periaatteet, järjestelmät ja tuotteet. Saatavissa: <https://www.flaktgroup.com/api/v1/Documents/d200d871-cc1e-4ecc-a217-d4e0e31b9fc5>
- [8] ETCE, ETCS Palopeltien tekninen esite. 2019. Saatavilla: <https://www.flaktgroup.com/api/v1/Documents/7426d4fc-9e20-402d-a2f7-a98e3b5f9c1a>
- [9] SFS EN 1366-2. Palonkestävyydestit huoltoasennuksiin. Osa 2: Palopellit. Suomen standardoimisliitto SFS ry. 2015.
- [10] SFS EN 1363-1. Palonkestävyydestit. Osa 1: Yleiset vaatimukset. Suomen standardoimisliitto SFS ry. 2012.
- [11] SFS EN 13501-3 + A1. Rakennustuotteiden ja rakennusosien paloluokitus. Osa 3: Taloteknisiin asennuksiin sisältyvien tuotteiden ja osien palonkestävyysskoekiden tuloksiin perustuva luokitus: Palonkestävät ilmakehanavat ja palonrajoittimet. Suomen standardoimisliitto SFS ry. 2006.
- [12] Spear, T.M., Hart, J.F., Spear, T.E., Loushin, M.M., Shaw, N.N. & Elashhab, M.I. 2012, "The Presence of Asbestos-Contaminated Vermiculite Attic Insulation or Other Asbestos-Containing Materials in Homes and the Potential for Living Space Contamination", Journal of Environmental Health, vol. 75, no. 3, s. 24-29.
- [13] Van Belleghem, M., Steeman, M., Janssens, A. & De Paepe, M. 2014, "Drying behaviour of calcium silicate", Construction and Building Materials, vol. 65, s. 507-517.

- [14] Rusthi, M., Ariyanayagam, A., Mahendran, M. & Keerthan, P. 2017, "Fire tests of Magnesium Oxide board lined light gauge steel frame wall systems", *Fire Safety Journal*, vol. 90, s. 15-27.
- [15] Ariyanayagam, A.D. & Mahendran, M. 2017, "Fire tests of non-load bearing light gauge steel frame walls lined with calcium silicate boards and gypsum plasterboards", *Thin-Walled Structures*, vol. 115, s. 86-99.
- [16] Chen, W., Ye, J., Bai, Y. & Zhao, X. 2012, "Full-scale fire experiments on load-bearing cold-formed steel walls lined with different panels", *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 79, s. 242-254.

LIITTEET

Testi 1 - FT37	A12		A10		B		C		D	
Aika [min]	T1[max] (°C)	T2[max] (°C)	T3[max] (°C)	T4[max] (°C)	T5[max] (°C)	T6[max] (°C)	T7[max] (°C)	T8[max] (°C)	T9[max] (°C)	T10[max] (°C)
30	306,7	318,2	324,7	334,9	311	326,3	314,5	367,7	288,7	305,5
60	379,3	386,5	413	422,4	372,1	380,1	399,2	424,5	357,1	359,8
90	419,9	423,8	451,6	435	400,5	407,8	432,5	458,3	382,3	384,3
120	434,8	429,6	457,1	450,5	419,8	425,7	449,8	479,8	395,1	397,9
140	432,4	437	466,6	459,5	429,5	434	460,7	491,6	401,7	405,1

Kuva 37 Ensimmäisen palotestin tiivistetyt tulokset

Testi 2 - FT38	2 X A6 + F		2 X A12 + G		R		3 X R		E	
Aika [min]	T1[max] (°C)	T2[max] (°C)	T3[max] (°C)	T4[max] (°C)	T5[max] (°C)	T6[max] (°C)	T7[max] (°C)	T8[max] (°C)	T9[max] (°C)	T10[max] (°C)
30	109,7	111,5	95,7	95,7	388,2	420,4	96,8	103,4	127,9	139,5
60	179,2	181,3	143,1	148,6	432,6	476,3	181,7	203,6	307,6	311,4
90	269,8	275,6	248,8	252,4	460,9	514,4	248	285,4	321,1	327,6
120	284,7	290	274,3	276,9	485,9	537,6	279,1	315,3	336,3	344,5
140	289,3	293	282,1	285,6	496,6	547,4	288,5	324,4	344	352

Kuva 38 Toisen palotestin tiivistetyt tulokset