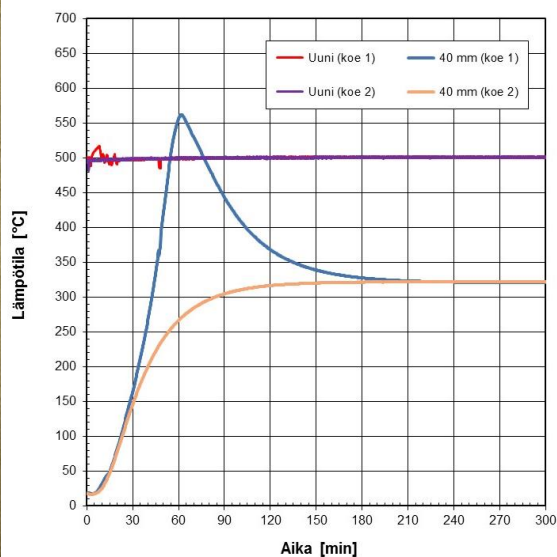




PALOLABORATORIO
TUTKIMUSSELOSTUS NRO PALO 2466/2016

SAVUPIIPUN LÄPIVIENTIERISTEEN ORGAANISEN AINEEN PALAMISEN VAIKUTUS SAVUPIIPUN LÄPIVIENNIN PALOTURVALLISUUTEEN



2.12.2016



Tutkimusselostus nro PALO 2466/2016

52 sivua

Tilaaaja Jyrki Kauppinen / Ympäristöministeriö
Aleksanterinkatu 7
00023 Valtioneuvosto

Viite Tilaus / Jyrki Kauppinen

Tilauspäivä 23.5.2016

Tehtävä Savupiipun läpivientieristeenä käytettävän kivivillan orgaanisen aineen palamisen aiheuttaman lämmöntuoton vaikutus savupiipun paloturvallisuuteen

Tutkijat Perttu Leppänen, dipl.ins.
Mikko Malaska, TkT

Tampereen teknillinen yliopisto
Rakennustekniikan laitos
Palolaboratorio
PL 600
33101 Tampere

Puhelin (03) 311 511

Tutkimuksen jakelu

Ympäristöministeriö
TTY / Rakennustekniikan laitos / Palolaboratorion arkisto

Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan



Savupiipun läpivientieristeen orgaanisen aineen palamisen vaikutus paloturvallisuuteen

SISÄLLYSLUETTELO

1	Johdanto	3
2	Läpivientieristeiden vaikutus paloturvallisuuteen	3
2.1	Läpivientieristeen orgaanisen aineen palamisen vaikutukset	4
2.2	Lämmöneristetuotteiden standardit	5
2.3	Aikaisemmat tutkimukset orgaanisen aineen palamisesta	6
3	Kokellinen tutkimus	6
3.1	Eristeiden orgaanisen aineen pitoisuudet ja orgaanisen aineen määrät	7
3.2	Kokeet orgaanisen aineen palamisesta syntyvän lisälämmön määrittämiseksi	8
4	Kokeiden tulokset	12
4.1	Tulokset koekappaleiden sisältämästä orgaanisen aineen määrästä	12
4.2	Tulokset orgaanisen aineen palamisesta syntyvästä lämmöntuotosta	14
5	Paloturvallinen lisälämmön taso	17
5.1	Sallitut lämpötilat savupiipun läpiviennissä	17
5.2	Esitys lisälämmön sallitun tason määrittämiseksi	17
5.3	Esitys sallitun orgaanisen aineen määrän määrittämiseksi	19
6	A1-luokan eristeiden ominaisuuksien EN-standardien mukainen testaus	24
6.1	Valmistajilta saadut tiedot koekappaleiden ominaisuuksista	24
6.2	Standardien EN ISO 1182 ja EN ISO 1716 testien arviointi	25
6.3	Standardin prEN 16854 mukainen testi	25
6.4	Standardin EN 16733 mukainen testi	26
7	Yhteenveto	26
	Lähteet	28
	Liite 1: Lämmöntuottokokeiden lämpötilakuvaajat	29
	Liite 2: Ensimmäisen ja toisen lämmityskerran lämpötilat 40 mm etäisyydellä uunista	41



Savupiipun läpivientieristeen orgaanisen aineen palamisen vaikutus paloturvallisuuteen

1 JOHDANTO

Tampereen teknillisen yliopiston Rakennustekniikan laitoksella (TTY) on tutkittu metallisten savupiippujen paloturvallisuutta. Tutkimuksilla on pyritty selvittämään väli- ja yläpohjarakenteissa savupiipun läpivientien ympärillä vallitsevia lämpötiloja sekä analysoimaan voivatko ympäröivät rakenteet syttyä näiden korkeampien lämpötilojen vaikutuksesta. Metallisavupiippujen testistandardin EN 1859 [1] mukaisessa käyttölämpötilakokeessa läpivientä ympäröivissä rakenteissa vallitseva lämpötila ei saa ylittää kokeen aikana arvoa 85 °C. Standardin mukaisessa nokipalokokeessa sallitaan korkeampi lämpötila 100 °C, mutta lämpötilarasituksen kesto on lyhyempi (30 min). Standardin mukaisessa testauksessa eristetyn välipohjarakenteen paksuus on vakio 200 mm.

TTY:n tutkimuksissa on todettu, että suuremmat eristepaksuudet nostavat läpivientä ympäröivien rakenteiden lämpötilaa sekä siirtävät lämpöä syvemmälle rakenteeseen. Savupiippujen testistandardia EN 13216-1 [2] päivitettiin parasta aikaa, jotta se pystyisi jatkossa ottamaan huomioon myös paksumpien eristekerrosten vaikutukset ympäröivien rakenteiden lämpötiloihin. TTY:n tutkimuksissa on tullut myös ilmi, että savupiippua ympäröivissä palo- ja lämmöneristeissä käytetyt orgaaniset aineet nostavat palaessaan rakenteiden lämpötiloja. Vaikka eristemateriaali on luokiteltu palamattomaksi materiaaliksi, palaa siinä oleva orgaaninen aine, kun eristeen lämpötila on välillä 200 °C – 500 °C. Kivivilloissa käytetään aina sideainetta, joka on orgaanista aineita. Tämän lisäksi voidaan käyttää muitakin orgaanisia aineita, joiden funktio voi olla esimerkiksi pölyn sitominen. Palamisesta syntyvän lisälämmön määrä riippuu orgaanisen aineen määrästä sekä eristeen maksimilämpötilasta. Nykyiset testistandardit eivät ota riittävästi huomioon orgaanisen aineen palamisen vaikutuksia. Orgaanisen aineen palamisen aiheuttaman lämmöntuoton vaikutuksista ympäröivien rakenteiden lämpötiloihin ja paloturvallisuuteen ei ole tutkittua tietoa.

TTY:n aikaisemmissa tutkimuksissa [3, 4] on todettu, että savupiippujen läpivientieristeinä käytettävässä kivivillassa voi tapahtua orgaanisen aineen kytevää palamista, mikä voi vaikuttaa merkittävästi savupiipun läpiviennin lämpötiloihin sekä ympäröivien rakenteiden paloriskiä. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, miten orgaanisen aineen palamisesta vapautuvan lisälämmön vaikutukset voidaan ottaa huomioon metallisten savupiippujen läpivientien suunnittelussa sekä arvioida, tuleeko läpiviennin eristeiden orgaanisen aineen määrälle asettaa määrällisiä rajoituksia lämmöntuoton ja paloriskin pienentämiseksi. Tutkimus koostuu kirjallisuusselvityksestä ja laboratoriokokeista.

2 LÄPIVIENTIERISTEIDEN VAIKUTUS PALOTURVALLISUUTEEN

Lämmöneristysmateriaalien ja -tuotteiden keskeisimmät perusominaisuudet (essential characteristics) ja niiden testaustavat on määriteltä EN-standardeissa. Standardeissa ei kuitenkaan anneta raja- tai suositusarvoja

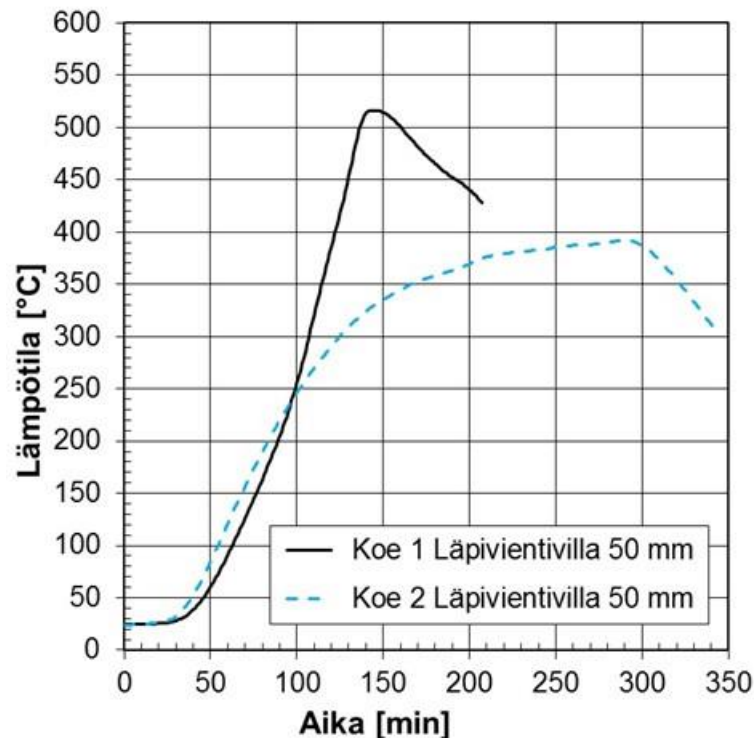


paloturvalliselle orgaanisen aineen määrälle. Perusominaisuuksiin kuuluu reaction to fire, jolle on annettu eurooppalainen luokitus. Luokituksen arvo saadaan joko testaamalla tai komission CWFT päätöksellä. Kirjallisuusselvityksessä käytiin läpi lämmöneristemateriaaleja ja –tuotteita koskevat EN-standardit sekä standardeissa eristeille esitetyt keskeisimmät ilmoitettavat ominaisuudet ja testaustavat. Lisäksi selvitettiin mineraalivillan orgaanisen aineen palamisesta olevat aikaisemmat tutkimukset.

2.1 Läpivientieristeen orgaanisen aineen palamisen vaikutukset

Aikaisempi tutkimus on osoittanut, että eristeissä käytetty orgaaninen aine palaa 200 – 500 °C lämpötilassa. Tämä palaminen tuottaa läpivientirakenteeseen lisälämpöä, joka nostaa sekä läpivientieristeen että sitä ympäröivien väli- ja yläpohjarakenteiden lämpötiloja. Metallisavupiiput ja niiden eristeet suunnitellaan standardin EN 1856-1 [5] mukaisesti niin, että suojaetäisyyden päässä savupiipun ulkopinnasta läpivientiä ympäröivien rakenteiden lämpötila ei ylitä arvoa 85 °C. Suojaetäisyyden sisäpuolella eristeen lämpötilat voivat nousta tasolle, jossa orgaaninen aine palaa. Tämä nostaa myös ympäröivien rakenteiden lämpötilaa suojaetäisyyden ulkopuolella.

Kuvassa 1 on esitetty savupiippukokeessa läpivientieristeestä mitattuja lämpötiloja. Kokeen 1 käyrä sisältää orgaanisen aineen palamisesta syntyvän lisälämmön. Savupiippukoe on tämän jälkeen toistettu samalla rakenteella ja tulokseksi on saatu Kokeen 2 käyrän mukainen lämpötilakehitys. Eristeen orgaaninen aine on palanut Kokeessa 1 ja tässä toisessa kokeessa ei enää havaita siitä aiheutuvaa lisälämpöä. Kahden käyrän erotus voidaan tulkita orgaanisen aineen palamisesta johtuvaksi lisälämmöksi. Myöhemmin tässä tutkimuksessa orgaanisen aineen palamisen aiheuttamana lisälämpönä on käytetty Kokeiden 1 ja 2 maksimiarvojen erotusta.



Kuva 1. Lämpivientirakenteen sisältä mitatut lämpötilat. Koe 1 kuvaa lämpötilan kehitystä, jossa on mukana orgaanisen aineen palamisen aiheuttama lämmöntuotto. Koe 2 edustaa tapausta, jossa eristeessä ei ole orgaanista ainetta.

2.2 Lämmöneristetuotteiden standardit

Rakentamiseen käytettäville tehdasvalmisteisille mineraalivilloille on olemassa oma harmonisoitu tuotestandardi EN 13162 [6], joka määrittelee rakennusten lämmöneristämiseen käytetyille mineraalivillatuotteille asetetut tekniset vaatimukset. Tuotteet voivat olla valmistettu rullina, mattoina tai levyinä. Standardin mukaan eristetuotteen palokäyttäytyminen on luokiteltava standardin EN 13501-1 [7] mukaisesti. Kivivillan paloluokka voidaan määrittää testaamalla tai ilman testausta. Paloluokkaan A1 tai A2 kuuluville eristeille testaus tehdään kahden standardin mukaan. Standardin EN ISO 1182 [8] mukaan määritetään eristeen palamattomuus ja standardin EN ISO 1716 [9] mukaan tehdään lämpöarvon määrittäminen. Pinnoitetuille tuotteille käytetään lisäksi standardin EN 13823 [10] mukaista menetelmää. Standardin EN ISO 1182 [8] mukaan testattaessa koekappaleesta mitatun lämpötilan muutoksen eli korkeimman mitatun lämpötilan ja tasaantuneen lämpötilan erotus saa olla korkeintaan 30 °C. Lisäksi koekappaleen massan muutos saa olla korkeintaan 50 % eikä liekehdintää saa esiintyä. Standardin EN ISO 1716 [9] mukaan tuotteen ylempi lämpöarvo (PCS) tulee olla korkeintaan 2,0 MJ/kg. Kuitenkaan kaikkia erilaisia tuotteita ei kuitenkaan tarvitse testata. Riittää, että testataan tuotantolinjan haastavin tuote eli tuote, joka sisältää eniten orgaanista ainetta.

Teollisuudessa käytettäville lämmöneristeille on oma tuotestandardi EN 14303 [11]. Myös tässä standardissa viitataan luokitusstandardiin EN

Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan



13501-1 [7] ja sitä kautta testistandardeihin EN ISO 1182 [8] ja EN ISO 1716 [9] sekä tarvittaessa standardiin EN 13823 [10].

Kivillä voidaan ilmoittaa kuuluvan korkeimpaan Euroluokkaan A1 (palamaton) ilman testausta. Komission päätöksessä 96/603/EY (4.10.1996), jota on muutettu komission päätöksillä 2000/605/EY (26.9.2000) ja 2003/424/EY (6.6.2003), on luettelo tuotteista, joiden katsotaan kuuluvan Euroluokkaan A1 ilman testausta. Tällöin materiaali ei saa sisältää yli 1,0 paino- tai tilavuusprosenttia (sen mukaan, kumpi on alempi) homogeenisesti jakautunutta orgaanista materiaalia. Kivivilloilla tämä osoitetaan standardin EN 13820 [12] mukaisesti testaamalla, että tuotteet sisältävät orgaanisia aineita korkeintaan 1,0 painoprosenttia. Standardissa EN 13162 [6] on maininta, että standardia tullaan päivittämään, kun uusi jatkuvan kytevän palon testimenetelmä on saatavilla. Jatkuvan kytevän palon testaamiseen kehitetty menetelmä on julkaistu toukokuussa 2016 ja se on esitetty standardissa EN 16733 [13].

Standardissa EN 13820 [12] esitetään menetelmä mineraalivillan orgaanisen aineen pitoisuuden määrittämiseen. Menetelmässä kuivatut ja punnitut koekappaleet lämmitetään 500 °C:n lämpötilaan, minkä jälkeen palaneen orgaanisen aineen määrä ja eristeen orgaanisen aineen pitoisuus voidaan määrittää uuden punnituksen avulla. Tätä kutsutaan hehkutushäviöksi (Loss on ignition), josta käytetään lyhennettä LOI-arvo. LOI-arvo ilmoittaa palaneen orgaanisen aineen massan pitoisuuden prosentteina suhteessa koekappaleen alkuperäiseen massaan.

2.3 Aikaisemmat tutkimukset orgaanisen aineen palamisesta

Standardissa EN 16733 [13] esitetty jatkuvan kytevän palon testausmenetelmä perustuu Institut für Brandtechnologie GmbH kokeelliseen tutkimukseen [14]. Tutkimuksessa kehitettiin testausmenetelmä, jolla materiaalin kytevää palamista olisi mahdollista analysoida ja arvioida. Ratkaisua on haettu standardin EN 13823 [10] koemenetelmää kehittämällä. Tutkimuksessa testattiin kolmea erilaista kivivillaa. Kivivillojen sideainepitoisuudet olivat 3,2 paino-%, 4,6 paino-% ja 3,7 paino-%. Ensimmäisen kivivillan testauksessa ei havaittu jatkuvaa kytevää palamista, mitä perusteltiin sideaineen alhaisella pitoisuudella. Kahdella muulla kivivillalla jatkuva kytevä palaminen havaittiin. Tutkimusraportissa ei annettu muita tarkempia tuotetietoja tai materiaaliominaisuuksia.

Kivivillan orgaanisen aineen palamisesta aiheutuva lämmöntuotto riippuu ensisijaisesti orgaanisen aineen määrästä. Sideainepitoisuus tai LOI-arvo ei anna suoraan tietoa orgaanisen aineen määrästä kappaleessa, sillä eristeiden tiheydet vaihtelevat. Tämän vuoksi orgaanisen aineen määrä tilavuutta kohti on pitoisuutta parempi mittari arvioitaessa mahdollisen lämmöntuoton suuruutta.

3 KOKELLINEN TUTKIMUS

Tässä tutkimuksessa orgaanisen aineen palamisesta johtuvaa lämmöntuottoa selvitettiin testaamalla kolmen eri valmistajan kivivilloja. Erilaisia tuotetietoja testeissä oli 7 kappaletta. Testatut villat olivat yhtä lukuun ottamatta tarkoitettu ensisijaisesti savupiippujen eristeiksi. Yksi poikkeava tuote oli tarkoitettu terästen palosuojaukseen. Kaikki tutkimuksessa käytetyt tuotteet

kuuluvat valmistajien suoritustasoilmoitusten mukaan korkeimpaan euro-luokkaan A1 (palamaton).

Tässä tutkimusraportissa ei ole annettu kivivillojen oikeita tuotenimiä vaan niille jokaiselle on annettu kirjain-numero -yhdistelmä. Kolmen eri valmistajan tuotteita on merkitty kirjaimilla a, b ja c. Kirjaimen jälkeen oleva numero merkitsee yhden valmistajan eri tuotetyyppejä. Valmistajalta a testattiin neljä tuotetta, joista a2 ei ollut tarkoitettu käytettäväksi savupiipuissa. Tuotetta a1 oli käytetty TTY:llä aikaisemmin suoritetuissa vastaavissa kokeissa. Valmistajalta b oli kaksi tuotetta ja valmistajalta c yksi tuote. Tuotteet oli hankittu eri rautakaupoista Tampereelta ja Pirkkalasta.

Kokeellisessa tutkimuksessa kivivilloille määritettiin ensin niiden orgaanisen aineen määrä ja tämän jälkeen orgaanisen aineen palamisesta vapautuva lisälämpö eristekerroksen eri pisteissä ja uunin eri lämpötiloissa. Tutkimuksessa käytettiin Ceramotherm-sähköuunia, jonka sisämitat ovat 550 mm x 700 mm x 800 mm ja, jolla on mahdollista saavuttaa 1340 °C maksimilämpötila (Kuva 2). Uunin lämpötilaa mitattiin uunin keskeltä 3 mm vaippasuojatulla k-tyypin langalla. Uunin lämpötilan ohjaus tapahtui tietokoneohjelman avulla. Ohjelma kytki uunista mitatun lämpötilan perusteella uunin vastukset päälle tai pois päältä. Orgaanisen aineen määrän ja lämmöntuoton määrittämisessä uunin korkeimpana lämpötilana käytettiin 500 °C. Koemenetelmät ja –järjestelyt on kuvattu tarkemmin kohdissa 3.1 ja 3.2.



Kuva 2. Ceramotherm-sähköuuni.

3.1 Eristeiden orgaanisen aineen pitoisuudet ja orgaanisen aineen määrät

Orgaanisen aineen pitoisuuden määrittämistä varten kivivillalevyistä porattiin reikäporalla halkaisijaltaan 90 mm olevat kiekot. Eristemateriaalin a3 rakenne oli kuitenkin niin pehmeää, ettei sitä voinut porata reikäporalla. Tästä syystä eristemateriaalista a3 leikattiin 100 mm x 100 mm kokoiset koekappaleet. Jokaisesta eristetyypistä valmistettiin 3 koekappaleetta. Koekappaleet punnittiin, minkä jälkeen ne kuivattiin 105 °C:n lämpötilassa. Kuivatut koekappaleet punnittiin ja asetettiin sähköuuniin (Kuva 3). Sähköuuni lämmitettiin ensin 300 °C lämpötilaan ja pidettiin tässä lämpötilassa 2 tunnin ajan. Tämän jälkeen koekappaleet punnittiin. Samoillem koekappaleille toistettiin vastaava lämmitys vielä uunin lämpötiloilla 400 °C ja 500 °C. Koekappaleet punnittiin molempien lämmitysten jälkeen. Kivivilloissa ollut orgaaninen aine

Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan

paloi lämmitysprosessin aikana ja koekappaleista poistuneen orgaanisen aineen massa eri lämpötiloissa voitiin määrittää punnittujen massojen erotuksena. Koe poikkesi standardin EN 13820 [12] mukaisesta kokeesta siten, että samat koekappaleet lämmitettiin kolmeen eri lämpötilaan, kun standardin mukaisessa kokeessa käytetään pelkästään 500 °C lämpötilaa. Tämä tehtiin, koska haluttiin selvittää poistuneen orgaanisen aineen määrä eri lämpötiloissa. Tämän tutkimuksen kokeissa koekappaleet koostuivat yhdestä suuremmasta näytteestä, kun taas standardin mukaisessa kokeessa koekappale koostuu vähintään kahdeksasta pienemmästä eri puolilta levyä otetusta näytteestä. Tutkimuksessa käytettiin suurempia näytteitä, koska kolmen näytteen avulla haluttiin samalla arvioida, onko orgaanisen aineen määrässä paikallisia eroja.



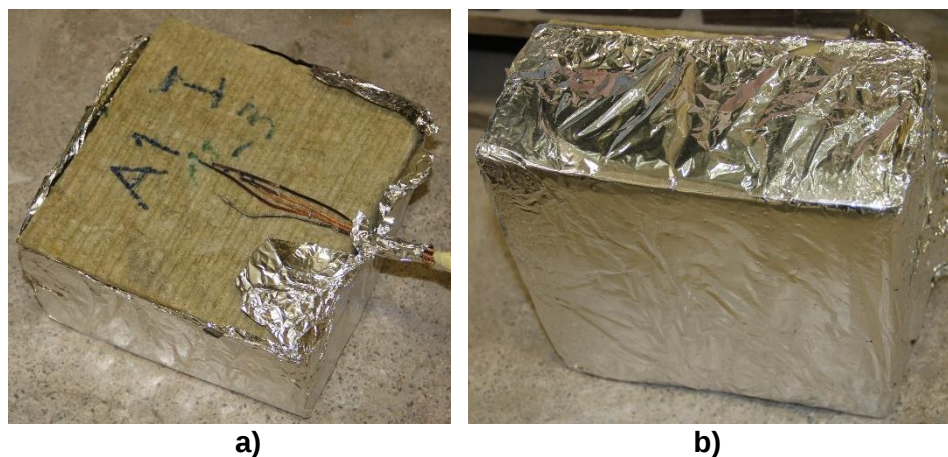
Kuva 3. Koekappaleet asetettuina sähköuuniin orgaanisen aineen määrän määrittystä varten.

3.2 Kokeet orgaanisen aineen palamisesta syntyvän lisälämmön määrittämiseksi

Koejärjestely sekä koekappaleiden valmistelu ja instrumentointi perustuvat TTY:n aikaisemmin tekemistä kokeista saatuun kokemukseen [4]. Koekappaleiden paksuudeksi valittiin 100 mm. Aikaisemmissa kokeissa havaittiin, että orgaanisen aineen palamisesta syntyvä lämmöntuotto tuli selkeimmin esille tällä eristepaksuudella. Valittu paksuus on myös lähellä savupiippujen tyypillisten läpivientieristeiden paksuuksia. Uunin lämpötilaksi valittiin 500 °C. Tämän lisäksi koekappaleiden a1, a2, b1 ja b2 lämpötilat mitattiin myös 300 °C:n lämpötilassa, jotta voitiin arvioida lisälämmön suuruutta myös matalammassa lämpötilassa.

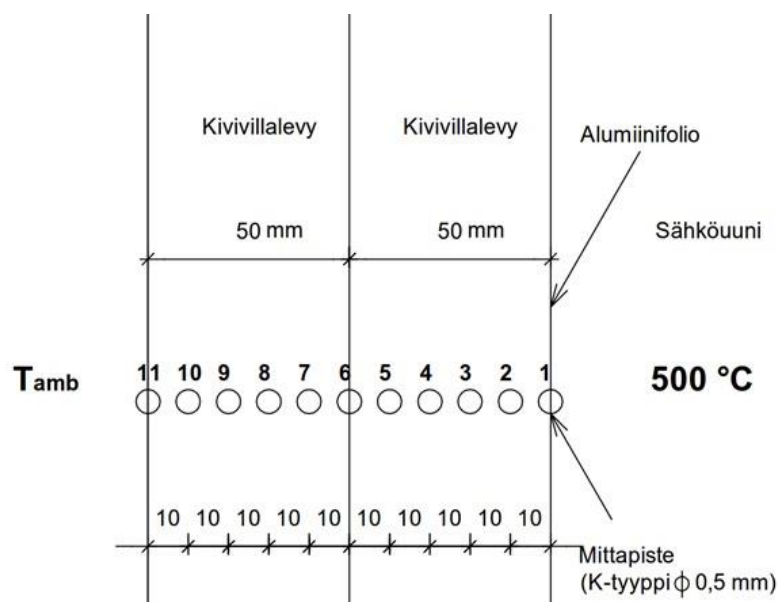
Kokeessa käytetyt 100 mm paksut eristekoekappaleet valmistettiin kahdesta päällekkäisestä noin 50 mm paksuisesta kivivillalevystä. Poikkeuksena oli koekappale b2, joka valmistettiin kymmenestä noin 10 mm paksusta kivivillalevystä. Tätä kivivillaa oli saatavilla vain 10 mm paksuisena levynä. Koekappaleiden sivumitat olivat 200 mm. Koekappaleet oli verhottu uunin vas-

takkaista pintaa lukuun ottamatta alumiinifoliolla. Folion tarkoitus oli vähentää koekappaleen sisäisiä ilmavirtauksia. Folioon verhottu koekappale on esitetty Kuvassa 4.

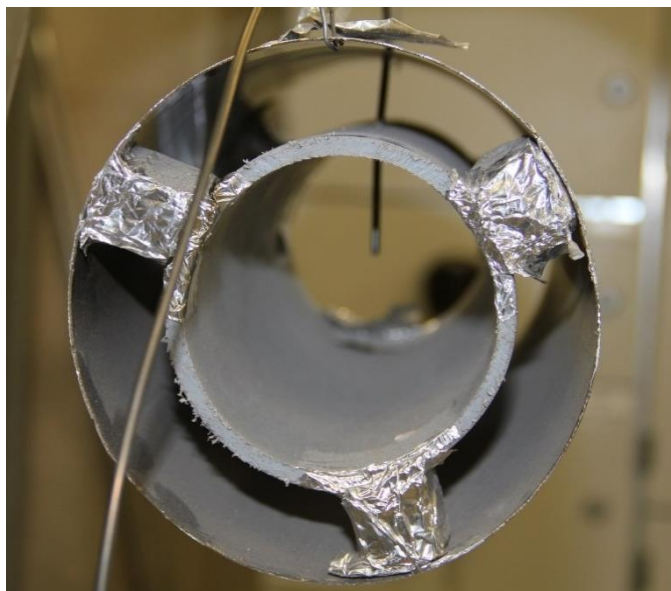


Kuva 4. Koekappale valmiina kokeen suorittamista varten kuvattuna a) uunin vastakkaiselta puolelta ja b) uunin puolelta.

Koekappaleiden lämpötilaa mitattiin eristeen uunin puoleiselta pinnalta alumiinifolion ja kivivillalevyn välistä sekä eristeen sisältä mittapisteistä, jotka sijaitsivat 10 mm välein läpi koko koekappaleen poikkileikkauksen uunin vastakkaiseen pintaan asti. Koekappaleen rakenne sekä mittapisteiden paikat on esitetty Kuvassa 5. Ympäristön lämpötilaa mitattiin Kuvan 6 mukaisella mittarilla, joka sijaitsi 2 m etäisyydellä koekappaleiden tulen vastakkaisesta pinnasta.



Kuva 5. Sähköuunikokeissa käytetty koerakenne ja mittapisteiden sijainnit eristeen poikkileikkauksessa.



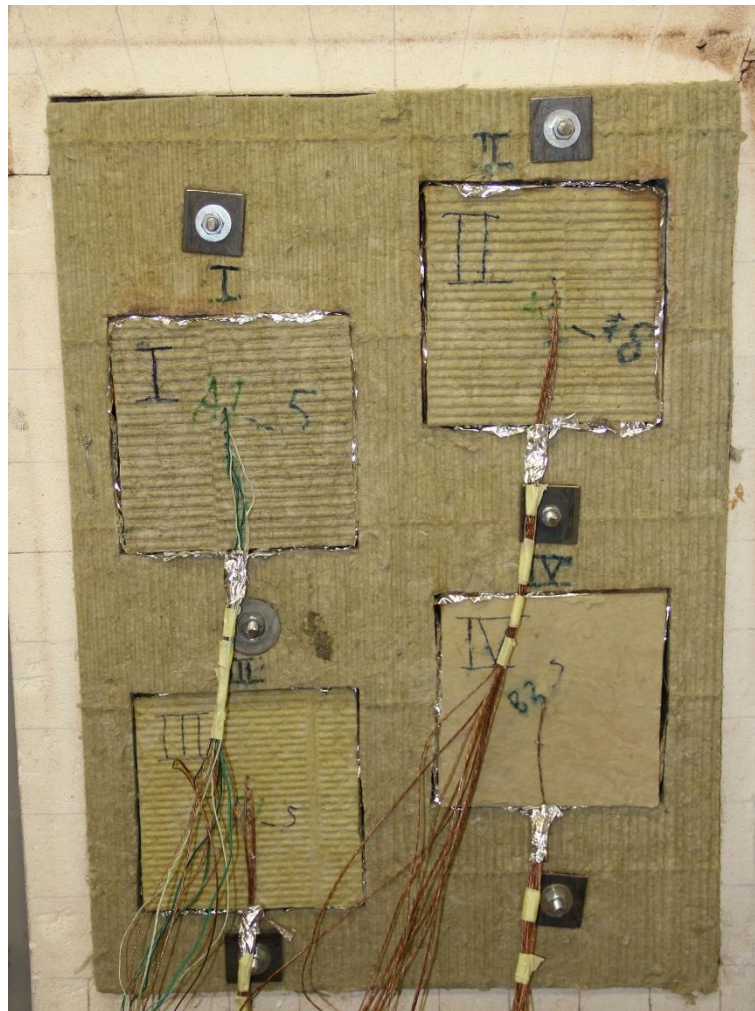
Kuva 6. Ympäristön lämpötilan mittaus kokeen aikana.

Sähköuunilla tehtiin 3 koesarjaa, joissa jokaisessa oli mukana 4 koekappaletta. Kahdessa ensimmäisessä koesarjassa uunissa ylläpidettiin 500 °C va-
kiolämpötilaa. Kolmannessa sarjassa uunin lämpötila oli 300 °C.

Yhteen koesarjaan kuului kaksi erillistä lämmityskertaa, joita kutsutaan tässä tutkimuksessa ensimmäiseksi ja toiseksi lämmityskerraksi. Ensimmäisellä lämmityskerralla eristeen orgaaninen aine palaa, mikä aiheuttaa lisälämpöä. Tätä koetta seuraavalla toisella lämmityskerralla orgaaninen aine on jo palanut eikä enää vaikuta eristeen lämpötilan kehitykseen. Toinen lämmityskerta vastaa siis tilannetta, jossa eristeessä ei ole orgaanista ainetta.

Koekappaleesta mitattu lämpötila riippuu merkittävästi mittapisteen etäisyydestä altistettuun pintaan. Jo pienellä mittapisteen sijainnin poikkeamalla voi olla suuri vaikutus mitattuun lämpötilaan. Varsinkin pehmeissä villaeristeissä mittapisteiden asennustarkkuutta on vaikea arvioida. Mittapisteessä määritettyyn lisälämpöön epätarkkuus ei kuitenkaan vaikuta, sillä ensimmäinen ja toinen lämmityskerta tehdään samalla koekappaleella ja mittapisteet ovat samat. Arvioituun lämpötilajakauman muotoon oletuksesta poikkeavat mittapisteiden sijainnit vaikuttavat, mutta vaikutuksen voidaan olettaa olevan tämän tutkimuksen tuloksiin (sallittu orgaanisen aineen määrä) pieni.

Kokeet toteutettiin Ceramotherm-sähköuunilla, jonka oviaukkoon asennettiin kaksi 50 mm paksua kivivillalevyä, jotka muodostivat 100 mm paksun koekappaleiden tukirakenteen. Levyt kiristettiin yhteen kierretangoilla ja muttereilla Kuvan 7 mukaisesti. Levyihin oli leikattu neljä neliön muotoista aukkoa, joihin koekappaleet voitiin asentaa. Aukkojen ja koekappaleiden sivumitat olivat 200 mm.



Kuva 7. Koekappaleet paikoilleen asennettuna. Kuva on otettu uunin vastakkaiselta puolelta.

Ensimmäisen lämmityskerran alussa uunin lämpötila nostettiin 500 °C:n tavoite lämpötilaan. Uunin lämmityksen aikana koekappaleille varattujen aukkojen suojana käytettiin 50 mm paksuja kivivillalevyjä. Kun uunin lämpötila oli tasaantunut lämpötilaan 500 °C, aukkojen suojukset poistettiin yksi kerrallaan ja niiden tilalle asennettiin koekappaleet. Tämän jälkeen uunin lämpötila ylläpidettiin 500 °C:ssa. Asennuksen jälkeen koekappaleista mitatut lämpötilat alkoivat nousta. Koetta jatkettiin 500 °C vakio­lämpötilassa, kunnes koekappaleista mitatut lämpötilat eivät enää muuttuneet. Tämän jälkeen uuni sammutettiin. Kuvassa 8 on esitetty kuva koekappaleista kokeen jälkeen kuvattuna uunin puolelta. Kolmas koesarja toteutettiin vastaavasti, mutta uunin lämpötila nostettiin 300 °C lämpötilaan.

Toisella lämmityskerralla ensimmäisen lämmityskerran koekappaleet testattiin uudelleen ensimmäistä lämmityskertaa vastaavalla tavalla. Toisella lämmityskerralla mitatut lämpötilat olivat ensimmäistä lämmityskertaa matalammat, sillä koekappaleiden orgaaninen aine oli jo palanut.



Kuva 8. Koekappaleet kokeen jälkeen kuvattuna uunin puolelta.

4 KOKEIDEN TULOKSET

4.1 Tulokset koekappaleiden sisältämästä orgaanisen aineen määrästä

Kokeiden avulla kivivilloille määritetyt koekappaleiden sisältämät orgaanisen aineen määrät on esitetty Taulukossa 1. Orgaanisen aineen pitoisuudet vaihtelivat välillä 1,3 – 4,5 paino-%. Orgaanisen aineen pitoisuus ei kuitenkaan anna suoraan tietoa lämmöntuoton kannalta keskeisestä tekijästä, palavan orgaanisen aineen määrästä. Orgaanisen aineen pitoisuutta parempi mittari on orgaanisen aineen määrä tilavuusyksikköä kohden. Orgaanisen aineen määrä tilavuutta kohti oli pienin eristeessä a3, jossa se oli noin 1 kg/m³. Suurin orgaanisen aineen määrä tilavuutta kohti oli eristeessä b1, jossa se oli yli 5 kg/m³. Lähtökohtaisesti voidaan sanoa, että tiheimmissä kivivilloissa oli enemmän orgaanista ainetta.

Orgaanisen aineen poistumista koekappaleista mitattiin kolmessa eri lämpötilassa 300 °C, 400 °C ja 500 °C. Orgaanista ainetta poistui palamisen vuoksi jo 300 °C:n lämpötilassa. Merkittävin osa orgaanisesta aineesta poistui 400 °C:n lämpötilassa. Pieni osa orgaanisesta aineesta paloi vielä 500 °C:n lämpötilassa. Kuvassa 9 on esitetty eri koekappaleista poistuneen orgaanisen aineen määrä tilavuusyksikköä kohden eri lämpötiloissa.

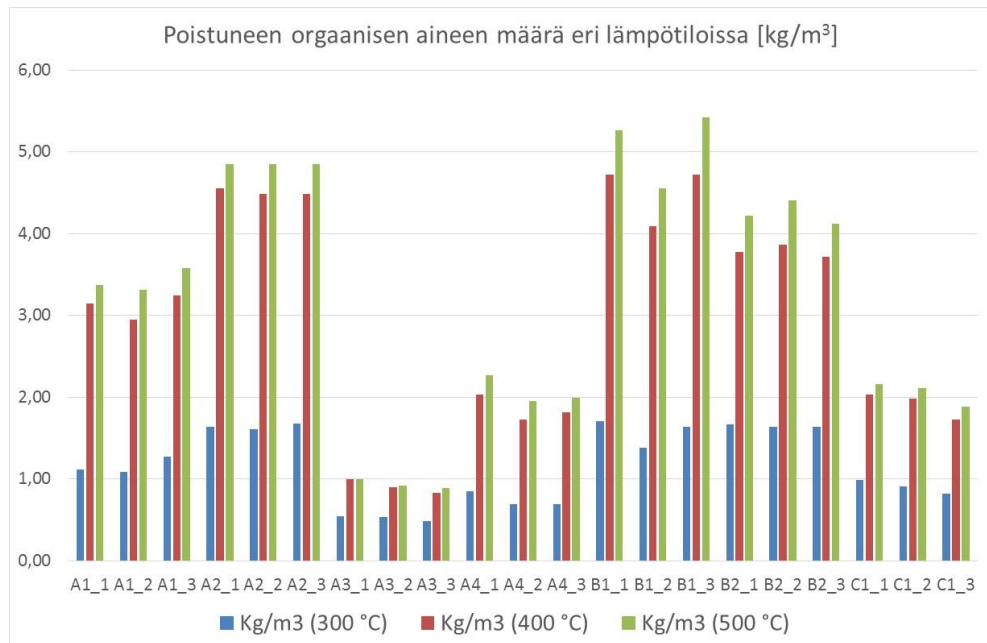


Käytettyyn mittausmenetelmään liittyvä suurin epävarmuustekijä on tarkkuus, jolla koekappaleiden mitat saadaan määritettyä. Erityisesti pehmeimmät kivivillat painuivat helposti kasaan, mikä vaikeutti mittaamista. Reikäporan avulla pyrittiin varmistamaan koekappaleen mahdollisimman tarkka koko. Kivivillan a3 koekappaleiden valmistuksessa ei pystytty käyttämään reikäporaa, mikä lisäsi mittoihin liittyvää epävarmuutta. Kivivillan a4 koekappaleet oli leikattu sylinterin muotoon puristetusta kivivillakourusta, mikä lisäsi koekappaleiden paksuuden mittauksen hajontaa.

Mittaustulokset osoittivat jonkin verran hajontaa kivivillatuotteille määritetyissä orgaanisen aineen määrissä. Taulukosta 1 voidaan nähdä, että koekappaleen b1:2 koostumus ja massa eroavat merkittävästi saman tuotteen kahdesta muusta koekappaleesta. Tässä kyseisessä tapauksessa poikkeama katsottiin niin suureksi, että koekappaletta b1:2 ei otettu mukaan kohdassa 4.2 raportoituun lämmöntuoton tutkimukseen.

Taulukko 1 Tulokset kivivilloille määritetyistä orgaanisen aineen määristä
(* mittaustulos poikkeaa muista arvoista merkittävästi ja on tämän vuoksi poistettu analyysistä).

Kappale		Tilavuus [m ³]	Massa [g]	Kuiva- massa [g]	Tiheys [kg/m ³]	Massa (300 °C)	Massa (400 °C)	Massa (500 °C)	LOI-arvo [paino%]	Orgaanista ainetta [kg/m ³]
a1	1	0,00031	42,81	42,71	140	42,37	41,75	41,68	2,41 %	3,37
	2	0,00031	41,88	41,74	137	41,41	40,84	40,73	2,42 %	3,31
	3	0,00030	43,64	43,54	146	43,16	42,57	42,47	2,46 %	3,58
a2	1	0,00031	55,69	55,56	182	55,06	54,17	54,08	2,66 %	4,85
	2	0,00031	56,11	55,99	183	55,5	54,62	54,51	2,64 %	4,85
	3	0,00030	55,03	54,92	184	54,42	53,58	53,47	2,64 %	4,85
a3	1	0,00057	39,11	39	68	38,69	38,43	38,43	1,46 %	1,00
	2	0,00060	38,52	38,42	64	38,1	37,88	37,87	1,43 %	0,92
	3	0,00062	41,5	41,43	67	41,13	40,92	40,88	1,33 %	0,89
a4	1	0,00026	22,26	22,22	85	22	21,69	21,63	2,66 %	2,26
	2	0,00026	21,59	21,53	83	21,35	21,08	21,02	2,37 %	1,96
	3	0,00033	25,86	25,78	78	25,55	25,18	25,12	2,56 %	2,00
b1	1	0,00031	50,97	50,82	163	50,29	49,35	49,18	3,23 %	5,26
	2	0,00031	40,85	40,71	133	40,29	39,46	39,32	3,41 %	4,55*
	3	0,00031	47,87	47,75	153	47,24	46,28	46,06	3,54 %	5,42
b2	1	0,00032	29,95	29,77	94	29,24	28,57	28,43	4,50 %	4,21
	2	0,00032	32,69	32,52	102	32	31,29	31,12	4,31 %	4,40
	3	0,00032	28,78	28,62	90	28,1	27,44	27,31	4,58 %	4,12
c1	1	0,00032	31,48	31,4	110	31,35	31,01	30,97	1,96 %	2,16
	2	0,00032	33,5	33,4	105	33,11	32,77	32,73	2,01 %	2,11
	3	0,00032	35,8	35,7	112	35,14	34,85	34,8	1,91 %	2,19



Kuva 9. Eri lämpötilatasoilla poistuneen orgaanisen aineen määrä.

4.2 Tulokset orgaanisen aineen palamisesta syntyvästä lämmöntuotosta

Kahdessa ensimmäisessä koesarjassa mitatut ensimmäisen ja toisen lämmityskerran korkeimmat lämpötilat sekä näiden erotus villapoikkileikkauksen eri kohdissa on esitetty taulukoissa 2 ja 3. Taulukossa 4 on esitetty vastaavat mittaustulokset kolmannelle koesarjalle, jossa uunin lämpötila oli 300 °C.

Kivivillaeristeille 500 °C lämpötilassa tehtyjen koesarjojen ensimmäisistä lämmityskerroista voitiin selvästi havaita orgaanisen aineen palamisesta syntyvä hetkellinen lämmöntuotto. Lämmöntuotto ilmeni selvästi erityisesti niissä eristeissä, joiden orgaanisen aineen määrät olivat suuria. Samoilla koekappaleilla tehdyillä toisilla lämmityskerroilla lämmöntuottoa ei enää havaittu ja orgaanisen aineen voidaan olettaa palaneen ensimmäisen lämmityskerran aikana. Kolmannessa koesarjassa, jossa uunin lämpötilalla oli 300 °C, ei missään koekappaleissa esiintynyt merkittävää lämmöntuottoa. Koekappaleen b1 lämpötilat jäivät niin mataliksi, ettei siinä tapahtunut lainkaan orgaanisen aineen palamista. Koekappaleesta mitattiin toisella lämmityskerralla korkeampia lämpötiloja kuin ensimmäisellä lämmityskerralla.

Koesarjojen ensimmäisten lämmityskertojen lämpötilakuvaajat on esitetty Liitteessä 1. Liitteessä 2 on esitetty koekappaleiden lämpötilakuvaajat ensimmäisellä ja toisella lämmityskerralla 40 mm etäisyydellä uunin puoleisesta pinnasta. Kun koesarjan ensimmäisen ja toisen lämmityskerran tuloksia verrataan, nähdään orgaanisen aineen palamisesta tulevan lisälämmön määrä eri kohdissa koekappaleita.

Kuvissa 10 ja 11 on esitetty kivivillaeristeille 500 °C lämpötilassa mitattu lisälämpö koekappaleiden poikkileikkauksen eri pisteissä. Lisälämmöllä tarkoitetaan ensimmäisellä ja toisella lämmityskerralla mitattujen korkeimpien lämpötilojen välistä eroa.



Taulukko 2 Koesarjan 1 ensimmäisen ja toisen lämmityskerran korkeimmat lämpötilat koekappaleiden eri kohdissa testilämpötilan ollessa 500 °C. Etäisyys on annettu uunin puoleisesta pinnasta.

Koe 1	a1			a4			b2			c1		
	Test 1	Test 2	T1-T2	Test 1	Test 2	T1-T2	Test 1	Test 2	T1-T2	Test 1	Test 2	T1-T2
0 mm	491	457	34	484	464	20	493	456	37	470	455	14
10 mm	482	392	90	0	0	0	529	413	116	419	385	35
20 mm	465	375	90	447	400	48	545	388	157	400	366	34
30 mm	460	352	108	437	379	58	552	350	203	359	321	38
40 mm	422	319	103	397	339	58	561	313	247	342	306	36
50 mm	404	301	102	388	330	57	566	282	284	317	281	37
60 mm	316	226	90	301	247	54	566	248	318	244	214	30
70 mm	265	194	71	234	195	39	518	207	311	180	159	21
80 mm	184	132	52	175	144	31	398	158	240	153	133	20
90 mm	88	74	14	101	84	18	281	102	179	98	89	9
100 mm	50	62	-12	71	67	4	99	53	46	61	60	1

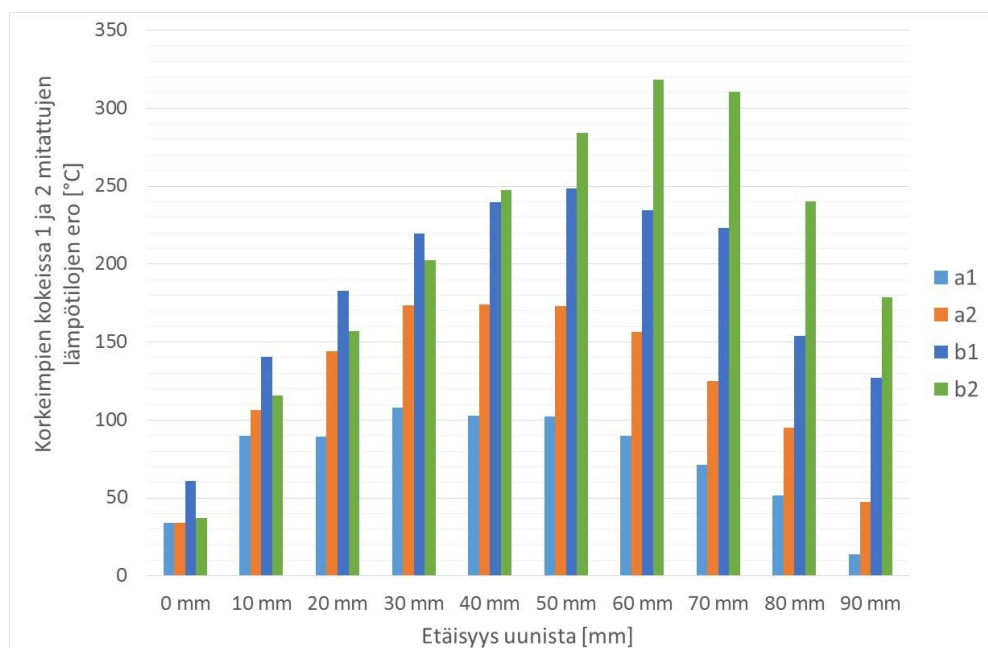
Taulukko 3 Koesarjan 2 ensimmäisen ja toisen lämmityskerran korkeimmat lämpötilat koekappaleiden eri kohdissa testilämpötilan ollessa 500 °C. Etäisyys on annettu uunin puoleisesta pinnasta.

Koe 2	a2			a3			b1			c1_2		
	Test 1	Test 2	T1-T2	Test 1	Test 2	T1-T2	Test 1	Test 2	T1-T2	Test 1	Test 2	T1-T2
0 mm	503	469	34	453	454	-2	527	466	61	480	464	15
10 mm	524	418	106	387	376	11	553	412	141	445	405	39
20 mm	520	376	144	361	346	15	563	380	183	407	356	51
30 mm	527	353	174	350	335	14	573	354	219		335	
40 mm	492	318	174	326	309	16	562	322	240	363	312	51
50 mm	475	302	173	312	295	17	552	303	248	344	294	50
60 mm	387	231	157	173	159	14	469	234	235	256	214	42
70 mm	299	174	125	169	149	20	395	172	223	193	158	35
80 mm	228	133	95	87	76	11	278	124	154	155	128	27
90 mm	125	78	47	84	72	11	228	101	127	90	71	19
100 mm	76	49	28	70	63	7	81	48	33	60	53	8

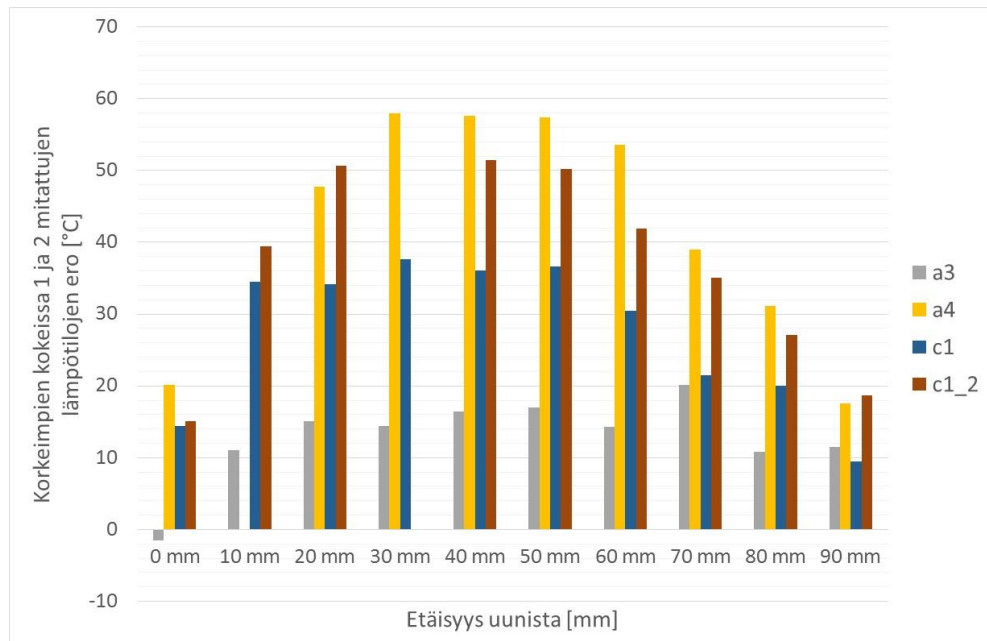


Taulukko 4 Koesarjan 3 ensimmäisen ja toisen lämmityskerran korkeimmat lämpötilat koekappaleiden eri kohdissa testilämpötilan ollessa 300 °C. Etäisyys on annettu uunin puoleisesta pinnasta. (*Koekappaleen b1 lämpötilat jäivät niin mataliksi, ettei siinä tapahtunut orgaanisen aineen palamista. Koekappaleella mitattiin korkeampia lämpötiloja toisella lämmityskerralla.)

Koe 3	a1			a2			b1*			b2		
	Test 1	Test 2	T1-T2	Test 1	Test 2	T1-T2	Test 1	Test 2	T1-T2	Test 1	Test 2	T1-T2
0 mm	261	263	-2	288	284	3	244	246	-2	278	274	3
10 mm	252	245	7	257	246	10	186	193	-7	249	243	6
20 mm	223	217	6	234	224	10	164	170	-6	229	225	4
30 mm	209	202	7	218	209	9	147	154	-7	203	198	5
40 mm	191	185	6	197	190	8	130	137	-7	178	174	4
50 mm	177	171	6	186	179	7	120	127	-7	161	156	4
60 mm	125	119	6	150	145	5	88	94	-6	137	137	0
70 mm	104	101	3	112	108	4	67	72	-5	115	115	0
80 mm	72	70	2	87	84	3	53	56	-3	87	88	-1
90 mm	56	55	1	60	57	3	38	38	0	59	59	0
100 mm	43	42	1	40	39	0	32	31	1	36	36	0



Kuva 10. Ensimmäisen ja toisen lämmityskerran välinen lämpötilaero koekappaleen poikkileikkauksen eri pisteissä sellaisissa koekappaleissa, joissa orgaanista ainetta oli yli 2,5 kg/m³ (uunin lämpötila 500 °C).



Kuva 11. Ensimmäisen ja toisen lämmityskerran välinen lämpötilaero koekappaleen poikkileikkauksen eri pisteissä sellaisissa koekappaleissa, joissa orgaanista ainetta oli alle $2,5 \text{ kg/m}^3$ (uunin lämpötila 500 °C).

5 PALOTURVALLINEN LISÄLÄMMÖN TASO

5.1 Sallitut lämpötilat savupiipun läpiviennissä

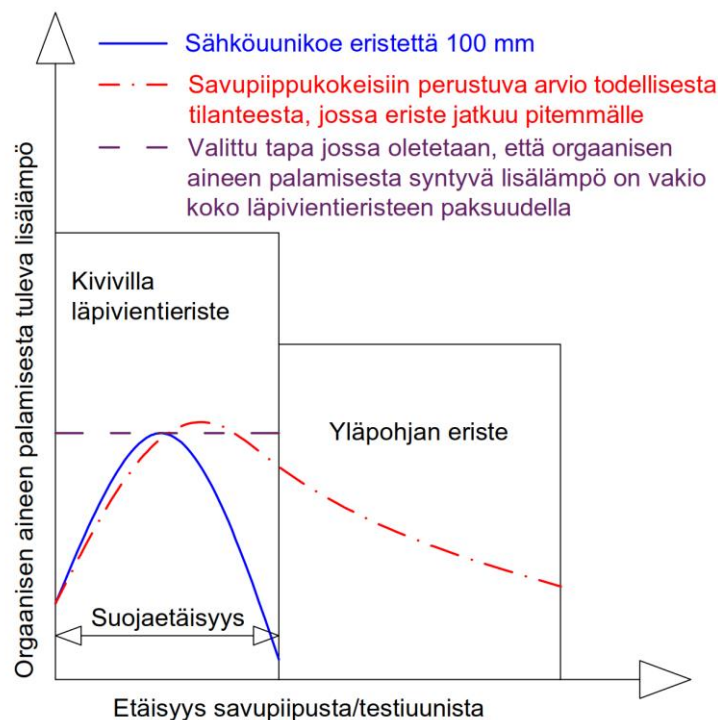
Metallisten savupiippujen hyväksyntä perustuu CE-merkintään ja standardeihin EN 1856-1 [5] ja EN 1859 [1]. Savupiippu täyttää standardin EN 1856-1 vaatimukset, kun rakenteista mitattu lämpötila valmistajan määrittelemän suojaetäisyyden päässä piipun ulkopinnasta ei ylitä 85 °C :n lämpötilaa, kun se testataan standardin EN 1859 [1] mukaan. Savupiipun pinnan tai läpivientieristeen lämpötilalle ei aseteta rajoituksia.

Yläpohjassa käytetyt rakennusmateriaalit ovat yleensä mineraalivillaeristeitä, muovieristeitä ja puupohjaisia materiaaleja. Puulle ei voida määrittää yksiselitteistä syttymislämpötilaa, vaan syttymislämpötila on riippuvainen altistusajasta. Babrauskas:in mukaan [17] puun syttymiseen 150 °C lämpötilassa vaadittaisiin 165 päivän altistus. Samassa lähteessä on esitetty, että lyhytaikaisessa palorasituksessa puu syttyy noin 250 °C lämpötilassa. Muovieristeiden tuoteselosteissa annettujen lämpöteknisten ominaisuuksien perusteella eristeiden syttymislämpötila on noin 300 °C ja itsesyttymislämpötila noin 400 °C .

5.2 Esitys lisälämmön sallitun tason määrittämiseksi

Paloturvallisuuden kannalta merkityksellistä on lisälämmön suuruus suojaetäisyyden päässä savupiipusta. Kuvassa 12 on esitetty idealisoitu leikkaus yläpohjarakenteesta. Kuvassa vaaka-akselina on etäisyys savupiipun ulkopinnasta. Vasemmanpuoleinen suorakaide esittää suojaetäisyyden levyistä läpivientieristettä. Sen oikealla puolella oleva suorakaide kuvaa läpivientieristettä vasten asennettua yläpohjan eristettä. Kuvaan on piirretty ehjällä viivalla sähköuunikokeiden tulosten mukainen läpivientieristeen eri kohdissa

mitattu lisälämpö. Pistekatkoviiva esittää savupiippukokeista mitattujen tulosten perusteella arvioitua lisälämpöä todellisessa välipohjarakenteessa, jossa myös läpivientieristeen ulkopuolella oleva tila on lämpöeristetty. Yläpohjarakenteen todellista, Kuvan 12 pistekatkoviivalla kuvattua, lämpötilajakaumaa on vaikea määrittää. Tästä syystä tässä tutkimuksessa on tehty oletus, että orgaanisen aineen palamisesta syntyvä lisälämpö suojaetäisyyden päässä savupiipusta on yhtä suuri kuin sähköuunikokeissa mitattu eriste-poikkileikkauksen korkein lisälämpö. Perustuen TTY:llä aikaisemmin tehtyjen savupiippukokeiden tuloksiin, oletus tuottaa turvallisella puolella olevan tuloksen. Tehtyjen kokeiden määrä on kuitenkin pieni ja oletuksen luotettavuus tulee varmistaa lisäkokeilla.



Kuva 12. Idealisoitu kuva yläpohjan pystyleikkauksesta. Vaakasuora katkoviiva kuvaa oletusta, että orgaanisen aineen palamisesta syntyvä lisälämpö suojaetäisyyden päässä savupiipusta on yhtä suuri kuin sähköuunikokeissa mitattu eriste-poikkileikkauksen korkein lisälämpö.

Sähköuunilla suoritetuissa kokeissa kivivillalevyjen paksuus oli 100 mm. Uunin puolella levyä lämpötila oli 500 °C ja vastakkaisella puolella vallitsi ympäristön lämpötila, n. 20 °C. Tällä koejärjestelyllä orgaanisen aineen palamisesta tuleva suurin lisälämpö, mitattiin noin rakenteen puolivälistä. Siirryttäessä tästä pisteestä kohti uunin vastakkaista pintaa lisälämpö pieneni merkittävästi, koska matalammasta lämpötilasta johtuen orgaanisen aineen palaminen ja lämmöntuotto olivat vähäisempää. Lähellä koekappaleen ulkopintaa ei tapahdu lainkaan orgaanisen aineen palamista ja lisäksi keskemältä siirtynyt lisälämpö pääsee siirtymään pinnan kautta ympäristöön. Savupiipun läpiviennissä tilanne on erilainen, koska läpivientieristeen ulkopintaa vasten



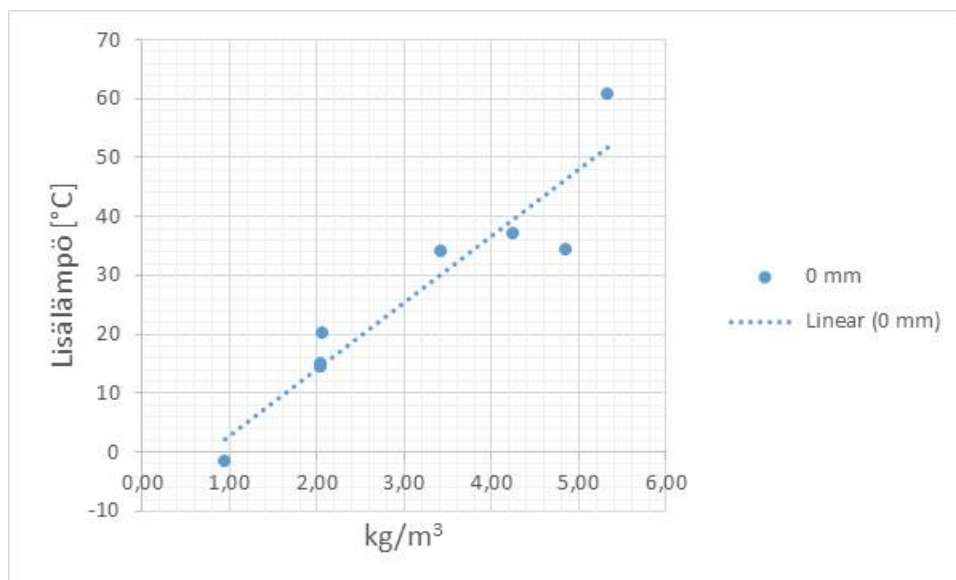
on yläpohjan lämmöneriste. Tämän seurauksena lisälämpö ei pääse jäähtymään samalla tavalla kuin sähköuunikokeessa.

5.3 Esitys sallitun orgaanisen aineen määrän määrittämiseksi

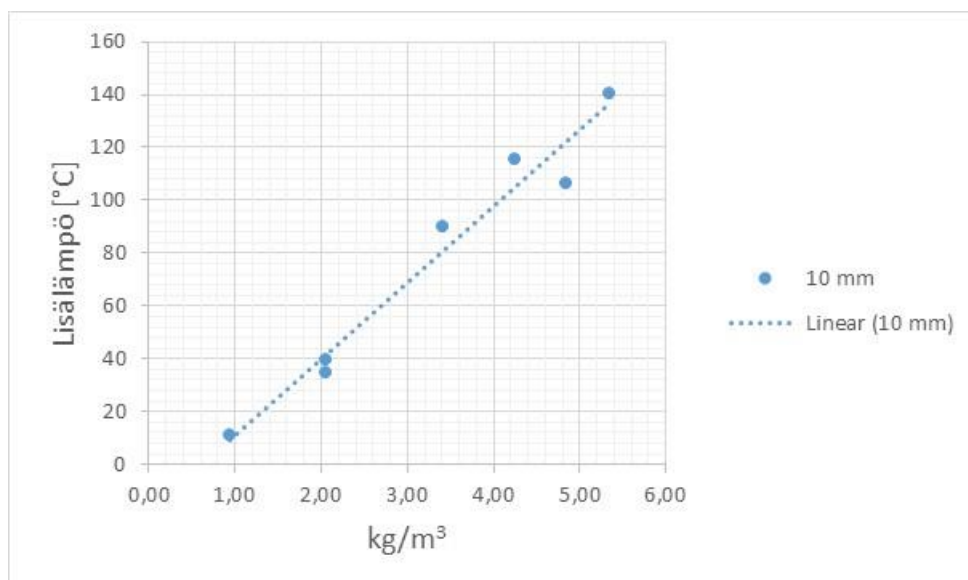
Kokeissa testattiin hyvin erilaisia orgaanisen aineen määriä sisältäviä kivivilaeristeitä. Kokeiden perusteella voidaan päätellä, että orgaanisen aineen määrällä on erittäin merkittävä vaikutus lämmöntuoton määrään. Koekappale b1 sisälsi eniten orgaanista ainetta, yli 5 kg/m^3 . Vastaavasti Koekappale a3 sisälsi vähiten orgaanista ainetta, noin 1 kg/m^3 . Orgaanisen aineen määrän vaikutus lisälämpöön saadaan visualisoitua piirtämällä kuvaaja, jossa vaaka-akselina on orgaanisen aineen määrä (kg/m^3) ja pystyakselilla ensimmäisen ja toisen lämmityskerran välinen lämpötilaero. Koekappaleiden orgaanisen aineen määränä on käytetty sähköuunikokeissa määritettyjen kolmen koetuloksen keskiarvoa. Lisälämpönä on käytetty koesarjojen ensimmäisen ja toisen lämmityskerran korkeimpien lämpötilojen erotusta. Kuvissa 13-19 on esitetty pisteinä kaikkien kahdeksan koekappaleen tuottama lisälämpö määritettynä 0 mm, 10 mm, 20 mm, 30 mm, 40 mm, 50 mm ja 60 mm etäisyydellä koekappaleen uunin puoleisesta pinnasta.

Kuvista nähdään, että lisälämmön suuruus on lähes suoraan verrannollinen eristeen orgaanisen aineen määrään (kg/m^3). Kuvissa 13-19 esitetty pisteiviiva on pisteille määritetty lineaarinen sovite. Pisteiviivan avulla voidaan nyt arvioida tietyn orgaanisen aineen määrään tuottama lisälämpö.

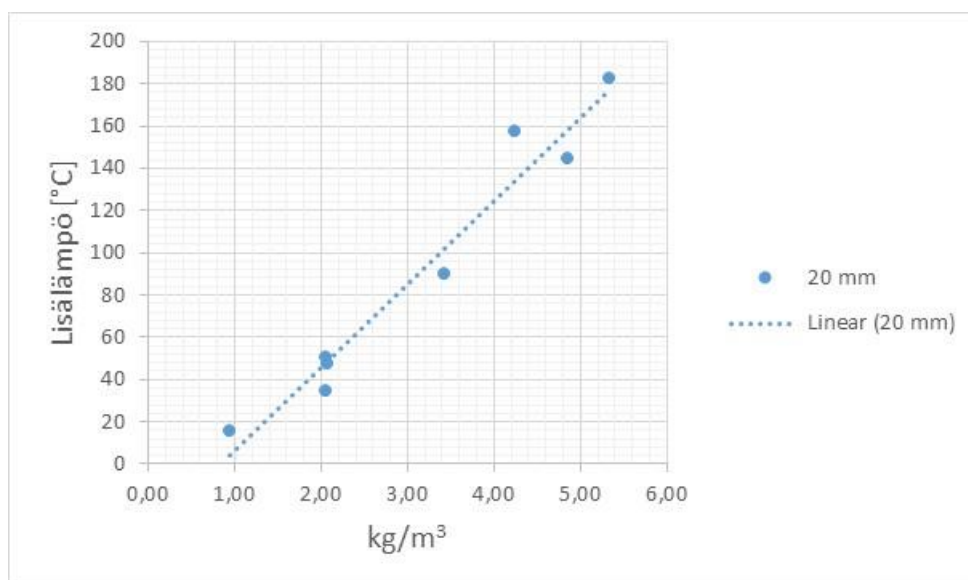
Edellä esitettyyn menetelmään liittyvä epävarmuustekijä on se, ettei lämmöntuottoa mitanneissa koesarjoissa käytettyjä koekappaleita voitu enää lämmityskertojen jälkeen käyttää niiden orgaanisen aineen määrän määrittämiseen. Kuvia 13-19 varten 8 tutkitun kivivillatuotteen orgaanisen aineen määrät laskettiin kohdassa 4.1 tuotteille määritettyjen kolmen orgaanisen aineen määrän keskiarvona. Se, että orgaanisen aineen määrä ja lämmöntuotto on määritetty eri koekappaleista aiheuttaa menetelmän luotettavuuteen epävarmuutta. Suurin poikkeama lineaarisen sovituksen ja mitattujen pisteiden välillä syntyi eristeen b2 tapauksessa, jossa koekappale koostui kymmenestä 10 mm paksusta kivivillalevystä. Kokeissa havaittiin, että tässä koekappaleessa orgaanisen aineen palaminen eteni pitemmälle uunin puoleisesta pinnasta kuin muilla. Tämä johtui mahdollisesti paremmasta hapensaannista. Kuvista 13-19 huomataan myös, että eristeen b2 tapauksessa ero mitatun pisteen ja lineaarisen sovituksen välillä kasvaa, kun siirrytään kauemmaksi uunin puoleisesta pinnasta.



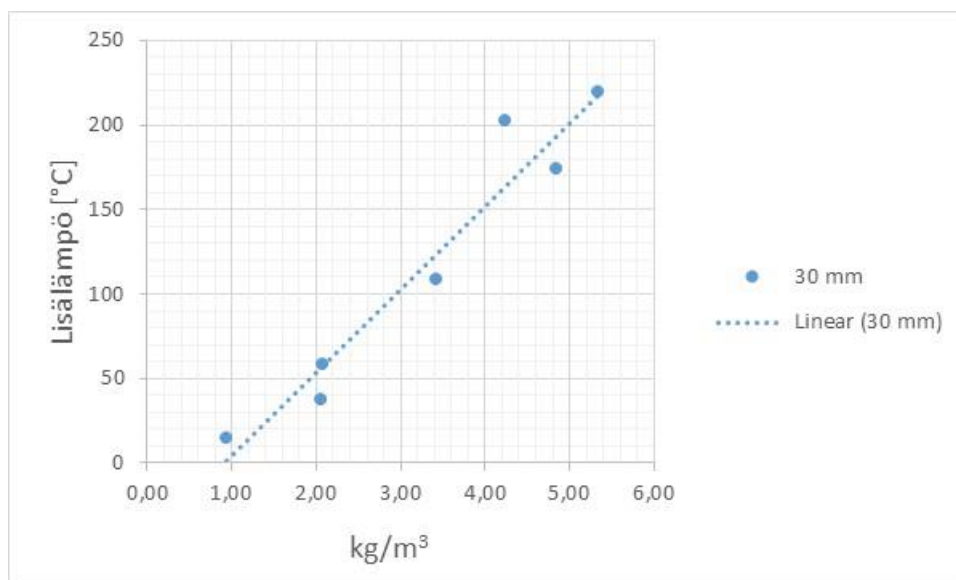
Kuva 13. Orgaanisen aineen määrän vaikutus lisälämpöön koekappaleiden uunin puoleisessa pinnassa testilämpötilalla 500 °C. Pisteet edustavat tuotteille a1, a2, a3, a4, b1, b2 ja c1 määritettyjä arvoja (8 kpl).



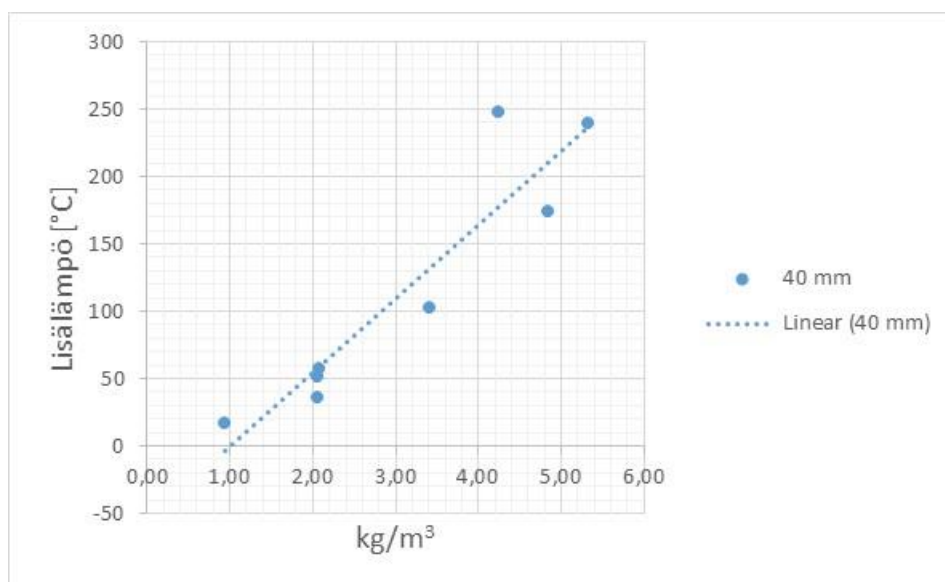
Kuva 14. Orgaanisen aineen määrän vaikutus lisälämpöön 10 mm etäisyydellä koekappaleiden uunin puoleisesta pinnasta testilämpötilalla 500 °C. Pisteet edustavat tuotteille a1, a2, a3, b1, b2 ja c1 määritettyjä arvoja (7 kpl).



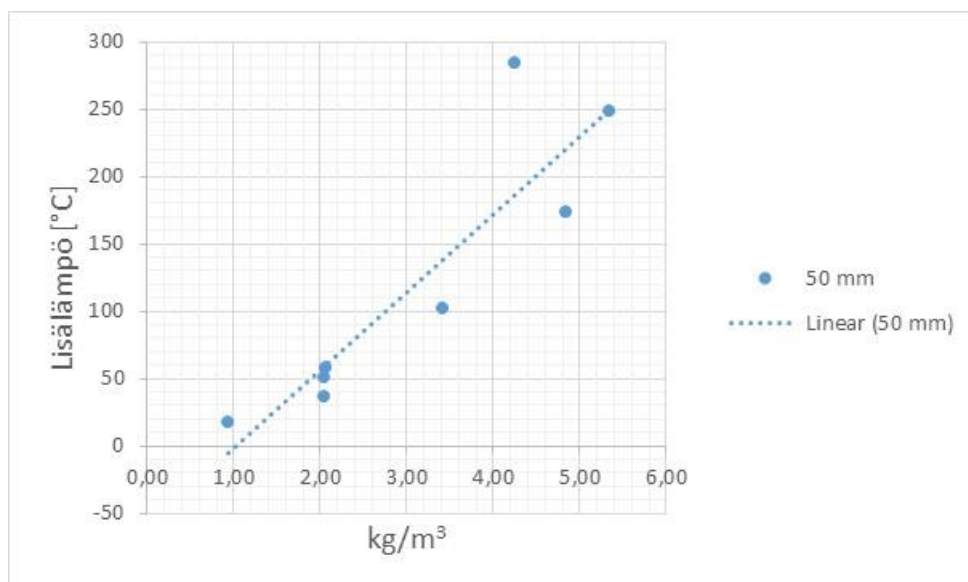
Kuva 15. Orgaanisen aineen määrän vaikutus lisälämpöön 20 mm etäisyydellä koekappaleiden uunin puoleisesta pinnasta testilämpötilalla 500 °C. Pisteet edustavat tuotteille a1, a2, a3, a4, b1, b2 ja c1 määritettyjä arvoja (8 kpl).



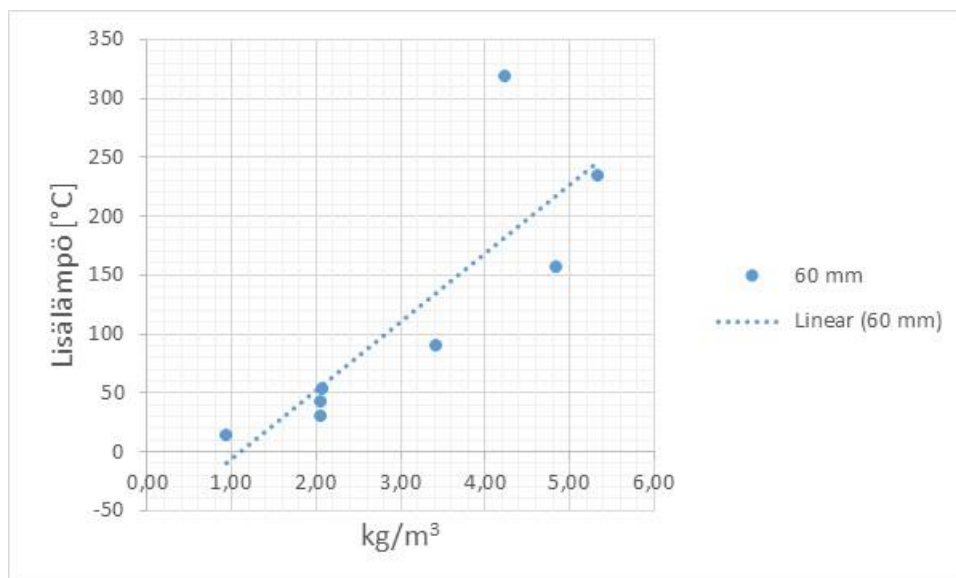
Kuva 16. Orgaanisen aineen määrän vaikutus lisälämpöön 30 mm etäisyydellä koekappaleiden uunin puoleisesta pinnasta testilämpötilalla 500 °C. Pisteet edustavat tuotteille a1, a2, a3, a4, b1, b2 ja c1 määritettyjä arvoja (7 kpl).



Kuva 17. Orgaanisen aineen määrän vaikutus lisälämpöön 40 mm etäisyydellä koekappaleiden uunin puoleisesta pinnasta testilämpötilalla 500 °C. Pisteet edustavat tuotteille a1, a2, a3, a4, b1, b2 ja c1 määritettyjä arvoja (8 kpl).

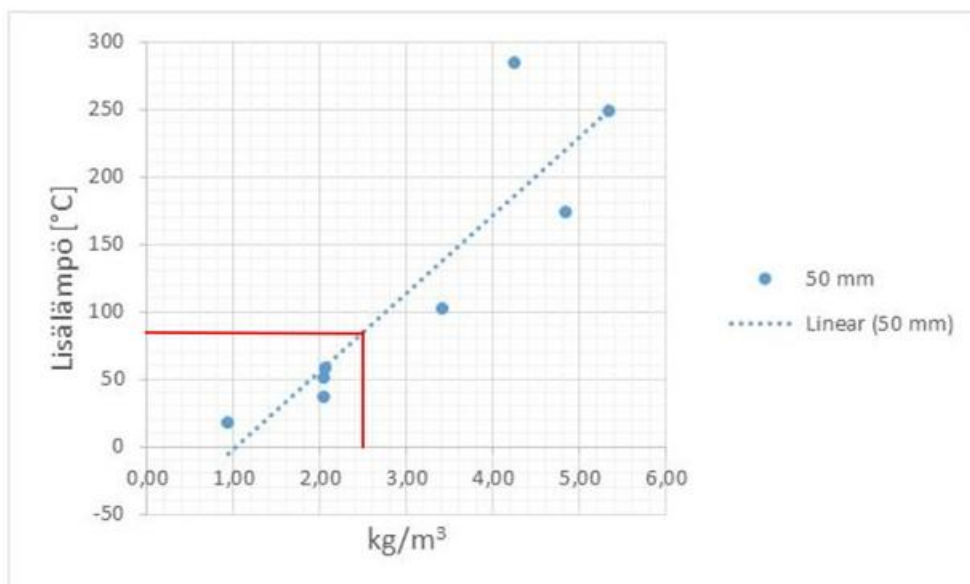


Kuva 18. Orgaanisen aineen määrän vaikutus lisälämpöön 50 mm etäisyydellä koekappaleiden uunin puoleisesta pinnasta testilämpötilalla 500 °C. Pisteet edustavat tuotteille a1, a2, a3, a4, b1, b2 ja c1 määritettyjä arvoja (8 kpl).



Kuva 19. Orgaanisen aineen määrän vaikutus lisälämpöön 60 mm etäisyydellä koekappaleiden uunin puoleisesta pinnasta testilämpötilalla 500 °C. Pisteet edustavat tuotteille a1, a2, a3, a4, b1, b2 ja c1 määritettyjä arvoja (8 kpl).

Jos sallituksi orgaanisen aineen määräksi hyväksytään 2,5 kg/m³, voidaan orgaanisen aineen palamisesta syntyvää lisälämpöä arvioida Kuvien 13-19 avulla. Tämän orgaanisen aineen määrään tuottama korkein lisälämpö löytyy villaeristeen puolestavälistä, 50 mm etäisyydellä levyn pinnasta, ja lämpötilan nousu on Kuvan 20 mukaisesti 85 °C. Kun tämä lisälämpö lisätään Kuvassa 12 esitetyn oletuksen mukaisesti savupiippukokeessa edellytettyn 85 °C maksimilämpötilaan, nousee yläpohjarakenteen lämpötila suojaetäisyyden päässä savupiipun pinnasta hetkellisesti lämpötilaan 170 °C. Puun syttyminen tässä lämpötilassa edellyttää hyvin pitkää altistusta, joten orgaanisen aineen määrä 2,5 kg/m³ voidaan katsoa paloturvalliseksi tasoksi.



Kuva 20. Lisälämmön arvioiminen, kun orgaanisen aineen määräksi on valittu $2,5 \text{ kg/m}^3$.

6 A1-LUOKAN ERISTEIDEN OMINAISUUKSIEN EN-STANDARDIEN MUKAINEN TESTAUS

Tässä kappaleessa esitetään A1-luokan eristeiden ominaisuuksille EN-standardeissa esitetyt koemenetelmät. Lisäksi esitetään savupiipuissa käytettäville eristeille ehdotettuja erityisvaatimuksia.

6.1 Valmistajilta saadut tiedot koekappaleiden ominaisuuksista

Kokeiden suorittamisen jälkeen tuotteiden valmistajilta tiedusteltiin tarkempia tietoja tuotteiden ominaisuuksista, testaustavoista ja testien tuloksista. Kolmesta tuotteesta a1, a2 ja b1 saatiin valmistajan ilmoittamat tarkemmat tiedot. Tuotteiden paloluokat oli määritetty testaamalla standardien EN ISO 1716 ja EN ISO 1182 mukaan. Tuotteiden a1 ja a2 paloluokka on määritetty testaamalla tuotteesta a5, joka ei ollut tutkimuksessa mukana. Valmistajat ilmoittivat, että sisäisessä laadunvalvonnassa tuotteiden orgaanisen aineen määrää testataan jatkuvasti standardin EN 13820 [12] mukaisesti. Valmistajilta saadun tiedon mukaan laadunvalvonnassa mitatut tuotteiden orgaanisen aineen pitoisuudet ovat olleet käytännössä pienempiä kuin ilmoitetut LOI-arvot. Taulukossa 5 on esitetty valmistajien tuotteille antamat tiedot. Taulukosta havaitaan, että paloluokka A1 voidaan saavuttaa myös merkittävästi suuremmilla orgaanisen aineen määrittä kuin mitä tässä tutkimuksessa mukana olleille eristeille on mitattu.

**Taulukko 5** Valmistajan ilmoittamat tarkemmat tuoteominaisuudet.

Eriste	Euroluokka	Ilmoitettu tiheys [kg/m ³]	Ilmoitettu LOI-arvo [paino-%]	Ilmoitettu maksimi orgaanisen aineen määrä [kg/m ³]
a1	A1	136-140	3	4,2
a2	A1	170	3	5,1
a5	A1	180-220	4	8,8
b1	A1	150	2,5	3,75

6.2 Standardien EN ISO 1182 ja EN ISO 1716 testien arviointi

Luokitusstandardi EN 13501-1 [7] asettaa A1-luokan tuotteille raja-arvoja. Standardin EN ISO 1182 testeille on asetettu kolme kriteeriä, joista koekappaleen massan muutos ja ehto, ettei liekkejä esiinny, täyttyvät luonnollisesti kivivilloilla, joiden orgaanisen aineen määrä on suhteellisen pieni. Kolmas ehto on, että koekappaleen korkeimman lämpötilan ja tasaantuneen lämpötilan ero saa olla korkeintaan 30 °C. Tämän ehto täyttyy melko suurilla orgaanisen aineen määrillä oletettavasti siksi, että koekappaleen koko on pieni ja testilämpötila niin korkea, ettei orgaanisen aineen palamisen tuottamaa lisälämpöä voida erottaa.

Standardin EN ISO 1716 mukaan määritetylle ylemmälle lämpöarvolle on asetettu raja-arvoksi 2,0 MJ/kg. Ongelmana on, että lämpöarvo on suhteessa kappaleen massa. Tämän tutkimuksen perusteella savupiipun läpivientieristeille lämpöarvoa tulisi arvioida suhteessa eristeen tilavuutta kohti.

6.3 Standardin prEN 16854 mukainen testi

Savupiipuissa käytettäville eristeille ollaan kehittämässä standardin prEN 16854 [15] mukaista testimenetelmä, jonka tarkoituksena on varmistaa savupiipun eristeen nokipalon kestävyys. Testissä lämpötila nostetaan 70 minuutissa 950 K ympäristön lämpötilaa korkeammaksi. Testi suoritetaan kolme kertaa eikä eristelevyn toiselta puolelta mitattu lämpötila saa kahdella jälkimmäisellä kerralla olla yli 10% korkeampi kuin ensimmäisellä kerralla mitattu arvo. Tämä testimenetelmä ei sovellu orgaanisen aineen palamisesta syntyvän lisälämmön vaikutuksen arviointiin, koska orgaaninen aine palaa ensimmäisellä lämmityskerralla muodostaen lisälämpöä. Todellisuudessa voi olla, että ensimmäisellä lämmityskerralla mitataan korkeimmat lämpötilat. Standardi prEN 16854 ei kuitenkaan mennyt läpi Enquiry-äänestyksessä elokuussa 2015.

Lisäksi standardiin EN 14303 [11] on suunniteltu lisättäväksi uusi kappale (4.3.11 Use in chimneys) savupiippuihin tarkoitetuille tuotteille [16]. Ehdotuksessa kappaleessa on maininta, ettei tuotteen LOI-arvo saa ylittää 5 paino-% ("The loss of ignition (binder content and additives) shall be less than 5 % by mass"). Tämä raja ei kuitenkaan tutkimuksen perusteella riitä takamaan paloturvallisuutta.



6.4 Standardin EN 16733 mukainen testi

Standardissa EN 16733 [13] on esitetty testimenetelmä jatkuvan kyteväen palamisen testaamiseen. Standardi perustuu Institut für Brandtechnologie GmbH suorittamaan tutkimukseen [14]. Tutkimuksessa kahdessa tuotteessa havaittiin jatkuvaa kytevää palamista. Tuotteessa, jonka LOI-arvo oli 3,2 paino-% jatkuvaa kytevää paloa ei havaittu. Kun tuotteen LOI-arvoa verrataan tässä tutkimuksessa mukana olleiden tuotteiden LOI-arvoihin, huomataan, että vain kahden tuotteen LOI-arvo oli suurempi. Tämän perusteella näyttäisi, ettei standardin EN 16733 [13] riitä varmistamaan paloturvallista orgaanisen aineen määrää. Tämän varmistamiseksi tarvittaisiin kuitenkin lisää tutkimusta.

7 YHTEENVETO

Tässä tutkimuksessa selvitettiin, miten savupiipun läpivientieristeen orgaanisen aineen palamisesta vapautuva lisälämpö vaikuttaa yläpohjarakenteiden paloturvallisuuteen. Kokeiden avulla tutkittiin orgaanisen aineen määrän vaikutusta maksimilämmöntuottoon sekä arvioitiin mille tasolle orgaanisen aineen määrä tulisi asettaa, jotta lisälämpö ei vaaranna yläpohjarakenteen paloturvallisuutta.

Laboratoriokokeissa testattiin kolmen eri valmistajan kivivillaeristeitä ja kaikkiaan seitsemää erilaista tuotetta. Kaikkien tuotteiden paloluokka oli A1. Eristeiden orgaanisen aineen pitoisuudet vaihtelivat välillä 1,3 – 4,5 paino-%. Eristeen lämmöntuottoa arvioitaessa on kuitenkin perustellumpaa käyttää orgaanisen aineen määrää tilavuusyksikköä kohden. Testatuilla tuotteilla orgaanisen aineen määrät vaihtelivat alle 1 kg/m³:sta yli 5 kg/m³. Kivivillavalmistajalta saadun tiedon mukaan A1-paloluokka voidaan saavuttaa kivivillaeristeellä, jonka sideainemäärä on maksimissaan jopa 8,8 kg/m³.

Eristeille määritettiin sähköuunikokeiden avulla orgaanisen aineen palamisessa syntyvä lisälämpö. Testilämpötilassa 500 °C kaikilla eristeillä voitiin todeta selkeä orgaanisen aineen palamisesta syntyvä lisälämpö, joka oli suurilla orgaanisen aineen määriillä merkittävä. Testilämpötilassa 300 °C lisälämpö ei ollut merkittävä.

Kokeiden tuloksista havaittiin, että orgaanisen aineen palamisesta syntyvä lisälämpö on lähes suoraan verrannollinen kivivillan orgaanisen aineen määrään (kg/m³). Tämän varmistamiseksi tarvittaisiin kuitenkin enemmän kokeita ja suurempi otanta.

Tutkimuksen tulosten perusteella paloturvalliseksi orgaanisen aineen määräksi voidaan hyväksyä 2,5 kg/m³. Raja-arvo perustuu kahdeksalla koekappaleella tehtyihin kokeisiin. Mittaustulosten perusteella tämä valinta nostaisi läpivientieristeen ulkopinnan lämpötilan hetkellisesti korkeintaan arvoon 170 °C. Kirjallisuusselvitykseen perustuen puupohjaisten materiaalien syttyminen tässä lämpötilassa edellyttää pitkäaikaista altistusta. Kokeissa mitattujen lämpöpiikkien kesto oli lyhytaikainen, maksimissaan kaksi tuntia.

Kivivilla voidaan hyväksyä paloluokkaan A1 vaihtoehtoisesti joko testaamalla tai ilman testausta. Tässä tutkimuksessa havaittiin, ettei testaus standardien EN ISO 1182 [8] ja EN ISO 1716 [9] mukaan riitä takaamaan eristeen paloturvallista toimintaa savupiipun läpivientieristeenä. Testaamatta A1-luokkaan

Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan



kuuluville kivivilloille edellytetään, ettei standardin EN 13820 [12] mukaan määritetty orgaanisen aineen määrä (LOI) saa ylittää arvoa 1 paino-%. Tässä tutkimuksessa ehdotettu orgaanisen aineen yläraja $2,5 \text{ kg/m}^3$ ylitettäisiin tällöin vasta kun kivivillan tiheys on yli 250 kg/m^3 .

Orgaanisen aineen määrälle ei voida asettaa EN-standardien mukaista vaatimusta, sillä orgaanisen aineen määrä ei ole eristeille asetettu perusominaisuus. Jos määrälle halutaan asettaa vaatimuksia EN-standardien tasolla vaatisi se standardien muuttamista. Tämä puolestaan edellyttäisi lisäselvityksiä ja -tutkimusta aiheesta.

Tampere 2.12.2016

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
Rakennustekniikan laitos
Palolaboratorio

Perttu Leppänen
Tohtorikoulutettava

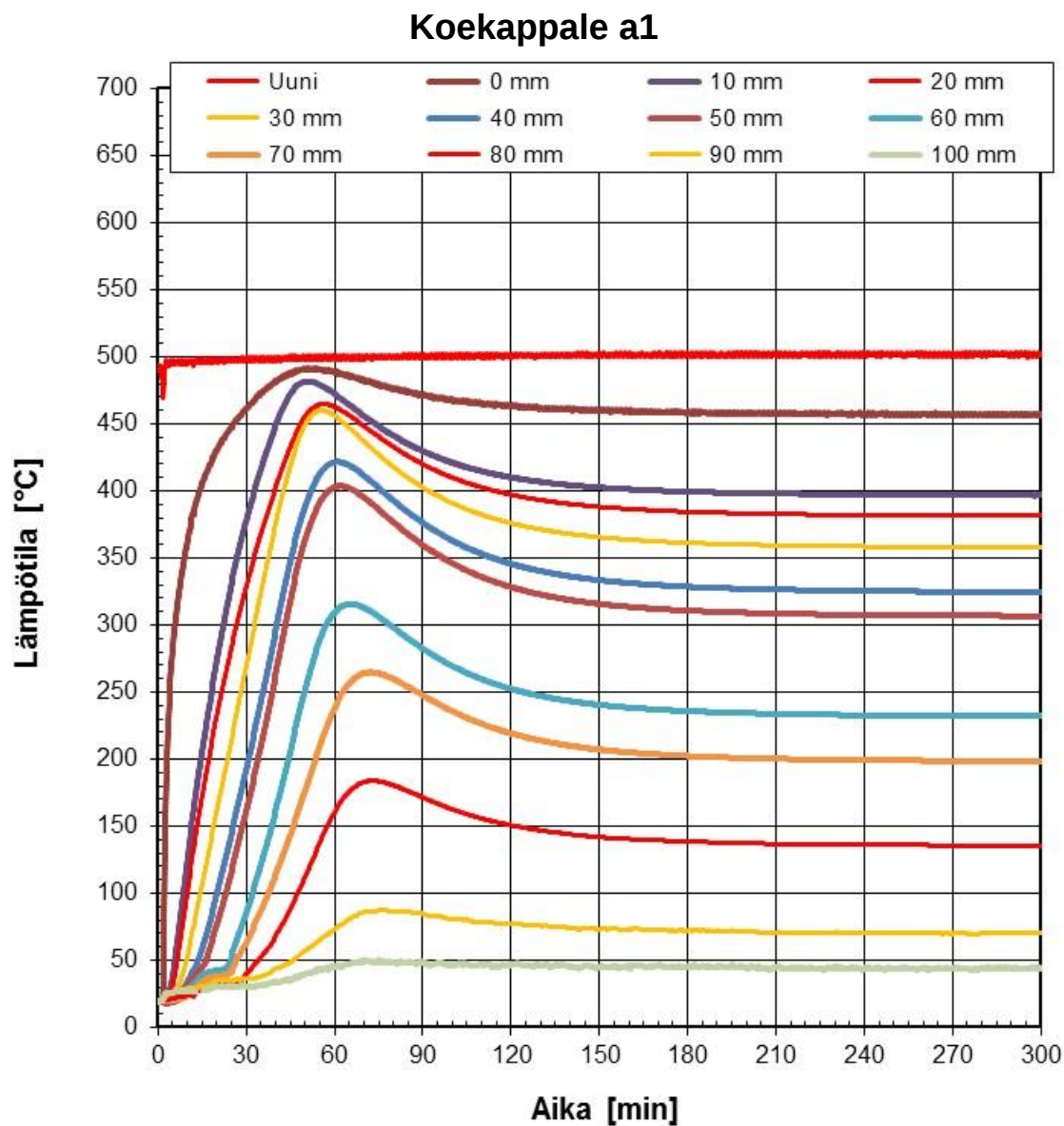
Mikko Malaska
Professori

**LÄHTEET**

- 1 1859+A1:2013 Chimneys. Metal chimneys. Test methods. Brussels: European Committee for Standardization (CEN). 48 p.
- 2 EN 13216-1:2004 Chimneys. Test methods for system chimneys. Part 1: General test methods. Brussels: European Committee for Standardization (CEN). 66 p.
- 3 Inha T., Leppänen P., Peltomäki M., Pentti M. 2011. Metallisten kevythormien paloturvallisuus. Tutkimusselostus nro PALO 1950. 79 s.
- 4 Leppänen P., Neri M., Mäkinen J. Heat release caused by the smouldering combustion of the binder of rockwool. Journal of structural mechanics. Vol. 48, No 1, 2015, pp. 68-82
- 5 EN 1856-1:2009 Chimneys. Requirements for metal chimneys. Part 1: System chimney products. Brussels: European Committee for Standardization (CEN). 55 p.
- 6 EN 13162:2012+A1:2015 Thermal insulation products for buildings. Factory made mineral wool (MW) products. Specification. Brussels: European Committee for Standardization (CEN). 82 p.
- 7 EN 13501-1+A1:2009 Fire classification of construction products and building elements. Part 1: Classification using data from reaction to fire tests. Brussels: European Committee for Standardization (CEN). 91 p.
- 8 EN ISO 1182:2010 Reaction to fire tests for products. Non-combustibility test. Brussels: European Committee for Standardization (CEN). 32 p.
- 9 EN ISO 1716:2010 Reaction to fire tests for products. Determination of the gross heat of combustion (calorific value). Brussels: European Committee for Standardization (CEN). 26 p.
- 10 EN 13823+A1:2014 Reaction to fire tests for building products. Building products excluding floorings exposed to the thermal attack by a single burning item. Brussels: European Committee for Standardization (CEN). 99 p.
- 11 EN 14303:2015 Thermal insulation products for building equipment and industrial installations. Factory made mineral wool (MW) products. Specification. Brussels: European Committee for Standardization (CEN). 38 p.
- 12 EN 13820:2003 Thermal insulating materials for building applications. Determination of organic content. Brussels: European Committee for Standardization (CEN). 10 p.
- 13 EN 16733:2016 Reaction to fire tests for building products. Determination of a building product's propensity to undergo continuous smouldering. Brussels: European Committee for Standardization (CEN). 22 p.
- 14 Determination and assessment of the continuous glowing combustion behaviour of building products in the SBI test method. 2004, Institut für Brandtechnologie GmbH. 71 p.
- 15 prEN 16854 Thermal insulation products for building equipment and industrial installations - Determination of soot fire resistance of thermal insulation products for the use in chimneys
- 16 CEN/TC 166 Document N 1365 (August 2012)
- 17 Vytenis Babrauskas, 'Pyrophoric Carbon' and Long-term, Low-temperature Ignition of Wood. Saatavilla: https://www.doctorfire.com/low_temp_wood1.pdf



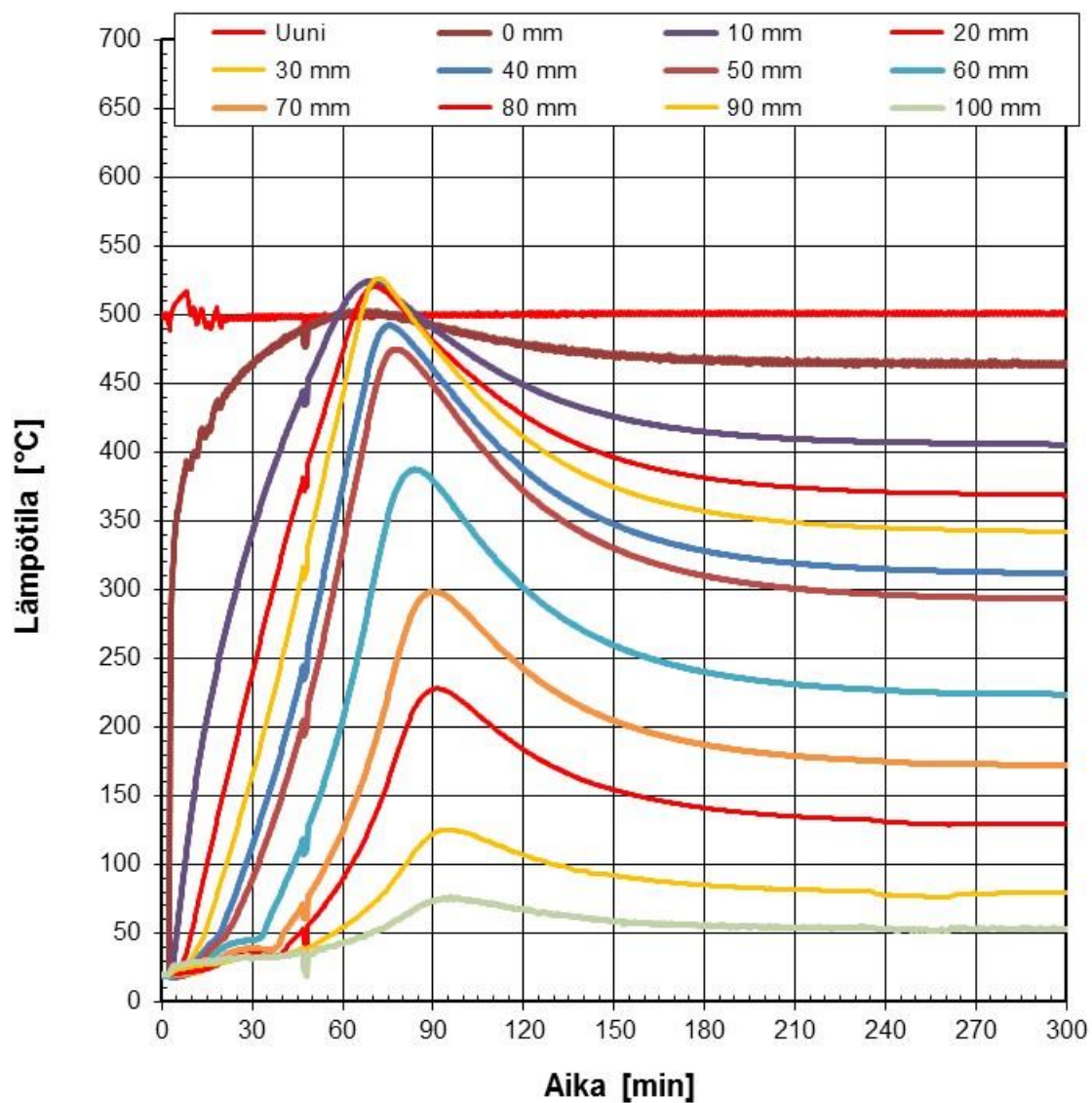
Liite 1: Lämmöntuottokokeiden lämpötilakuvaajat



Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan

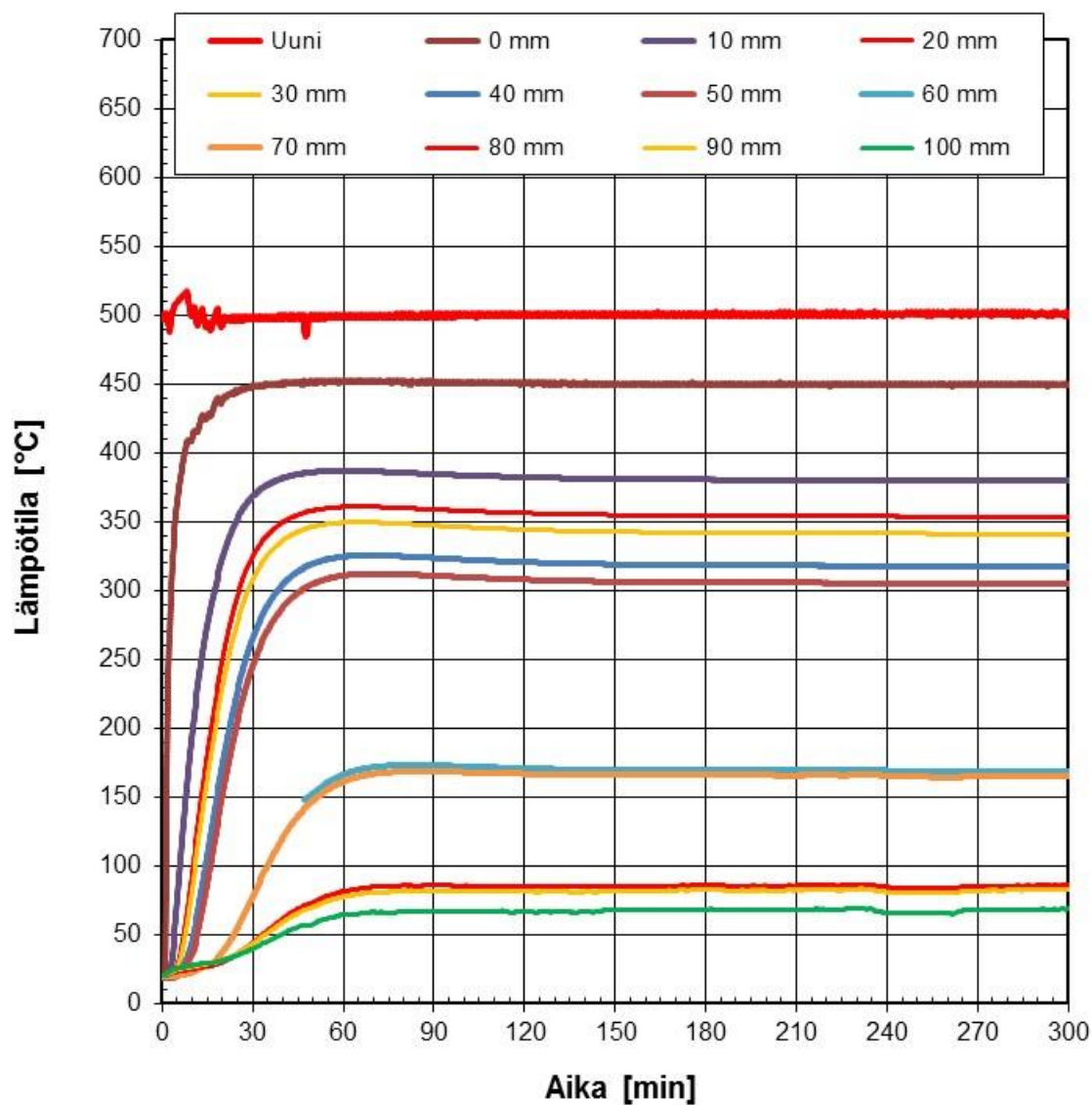


Koekappale a2





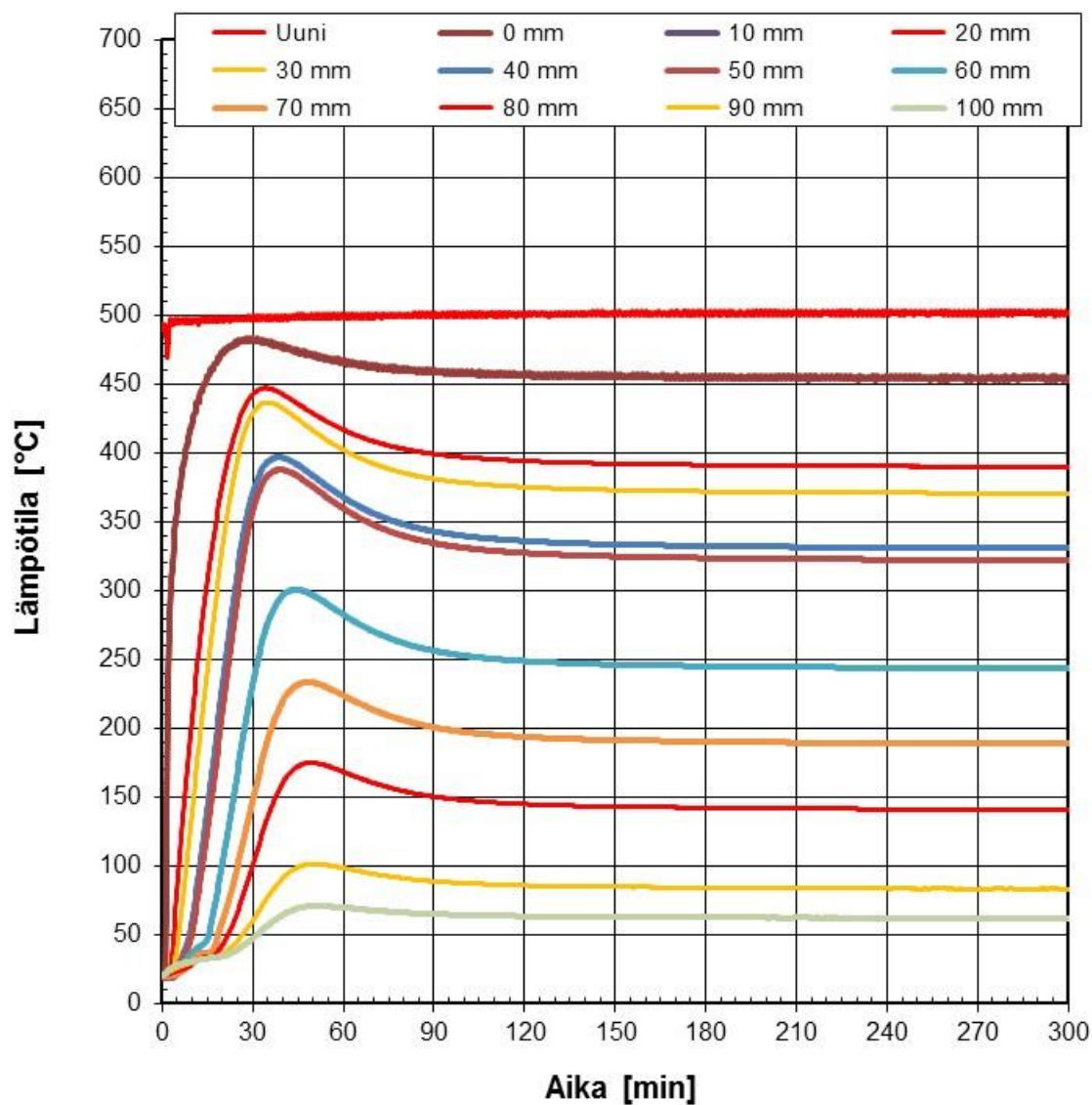
Koekappale a3



Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan

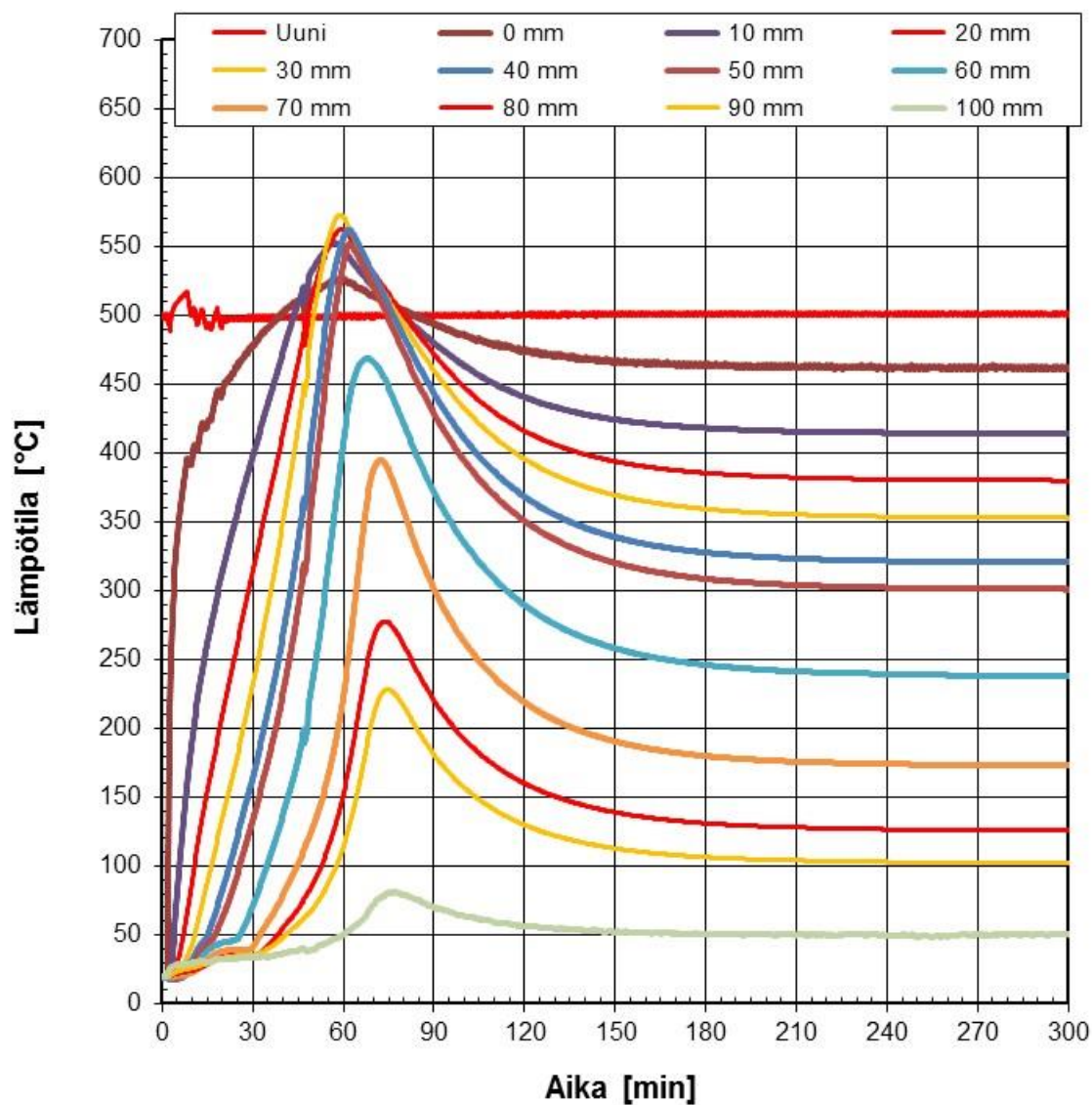


Koekappale a4



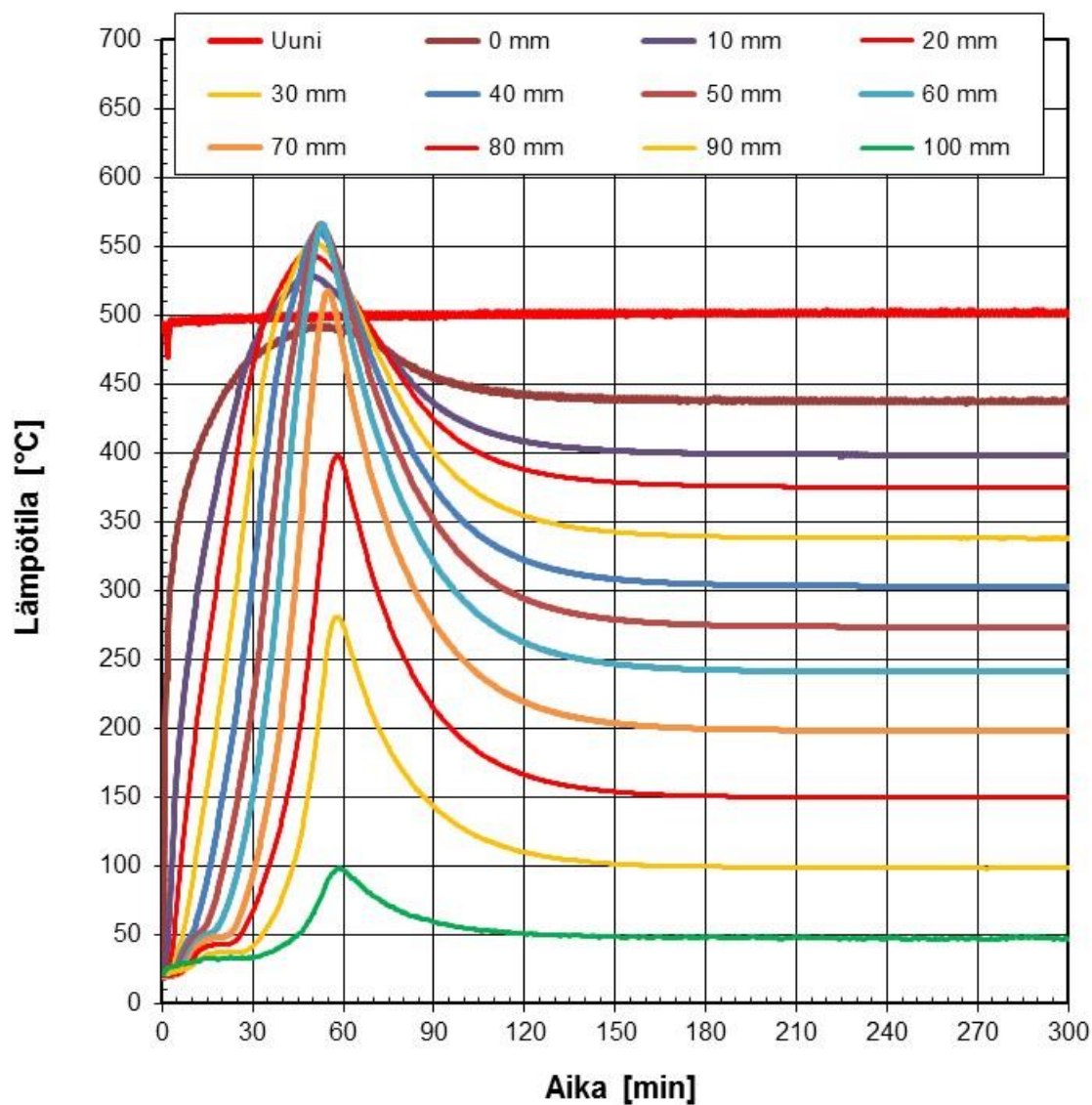


Koekappale b1



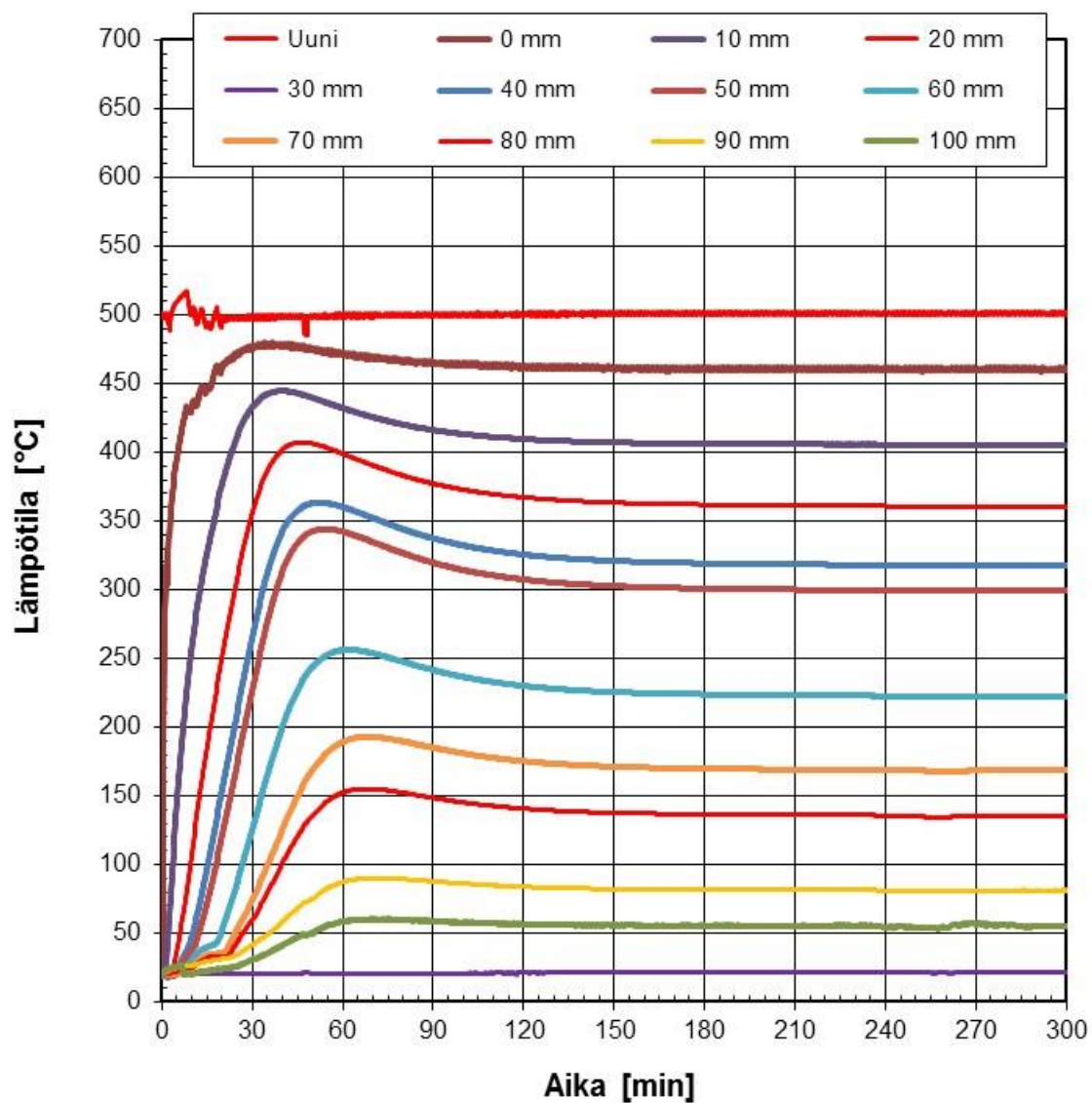


Koekappale b2



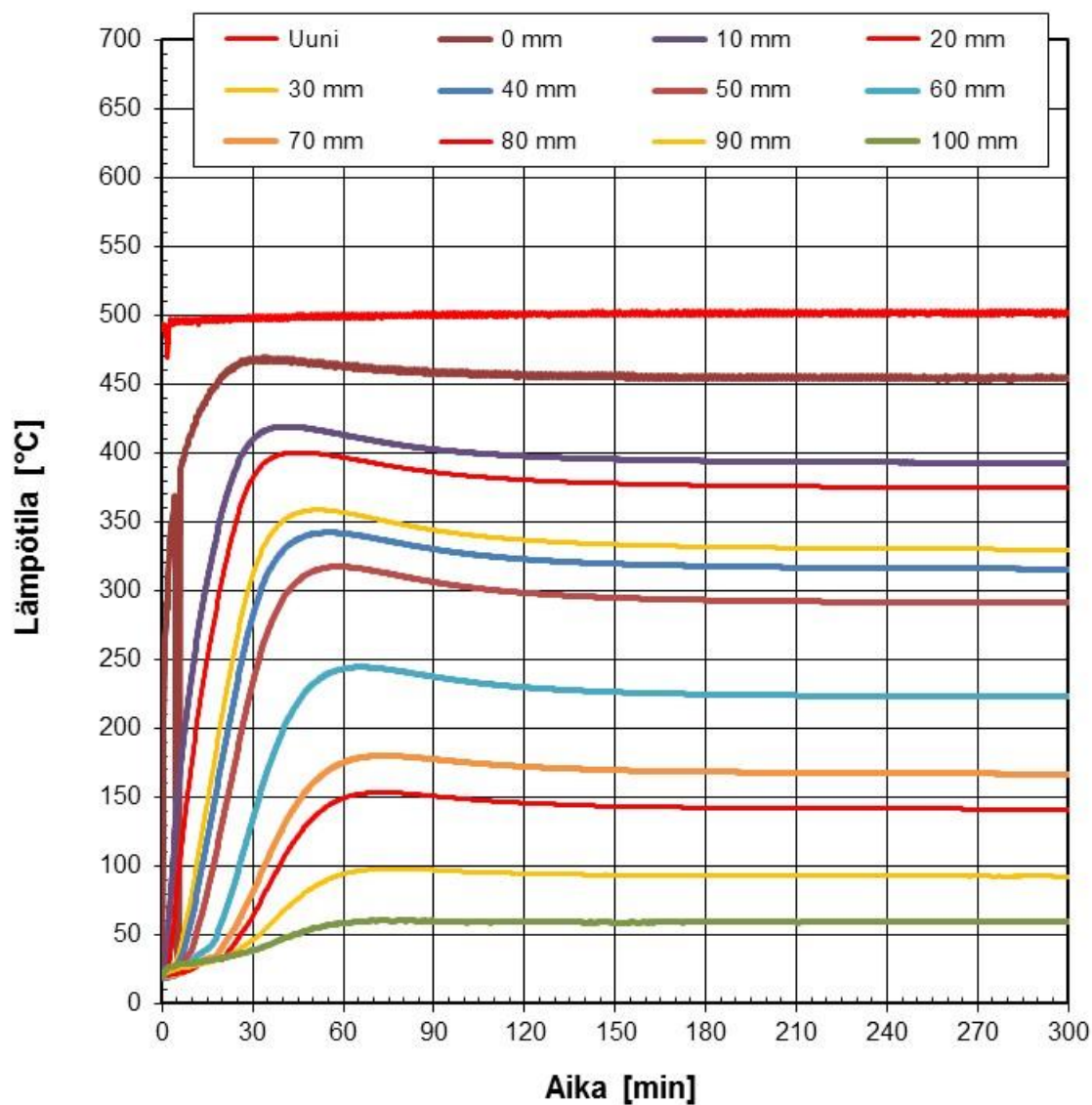


Koekappale c1



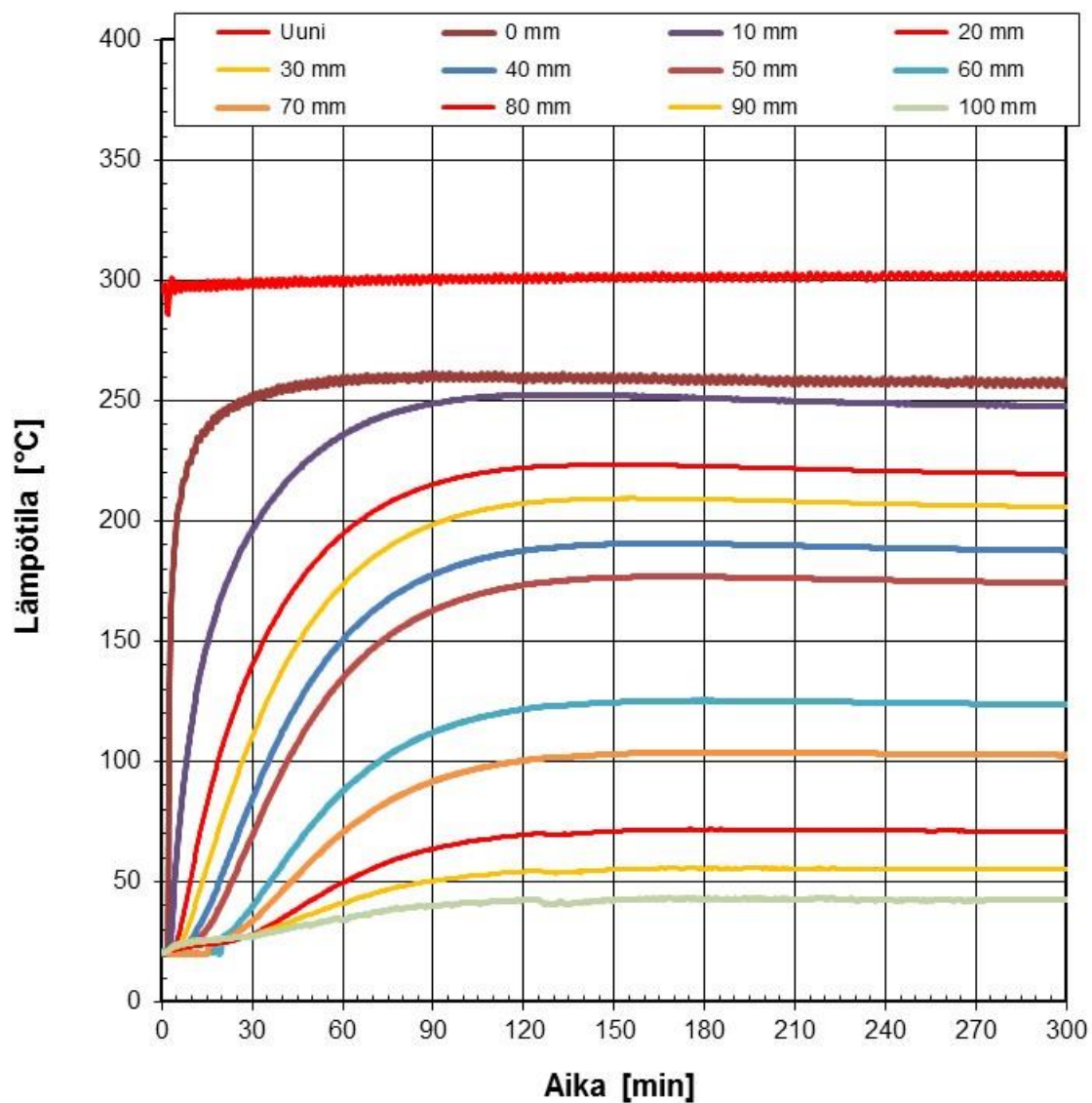


Koekappale c1 koe 2



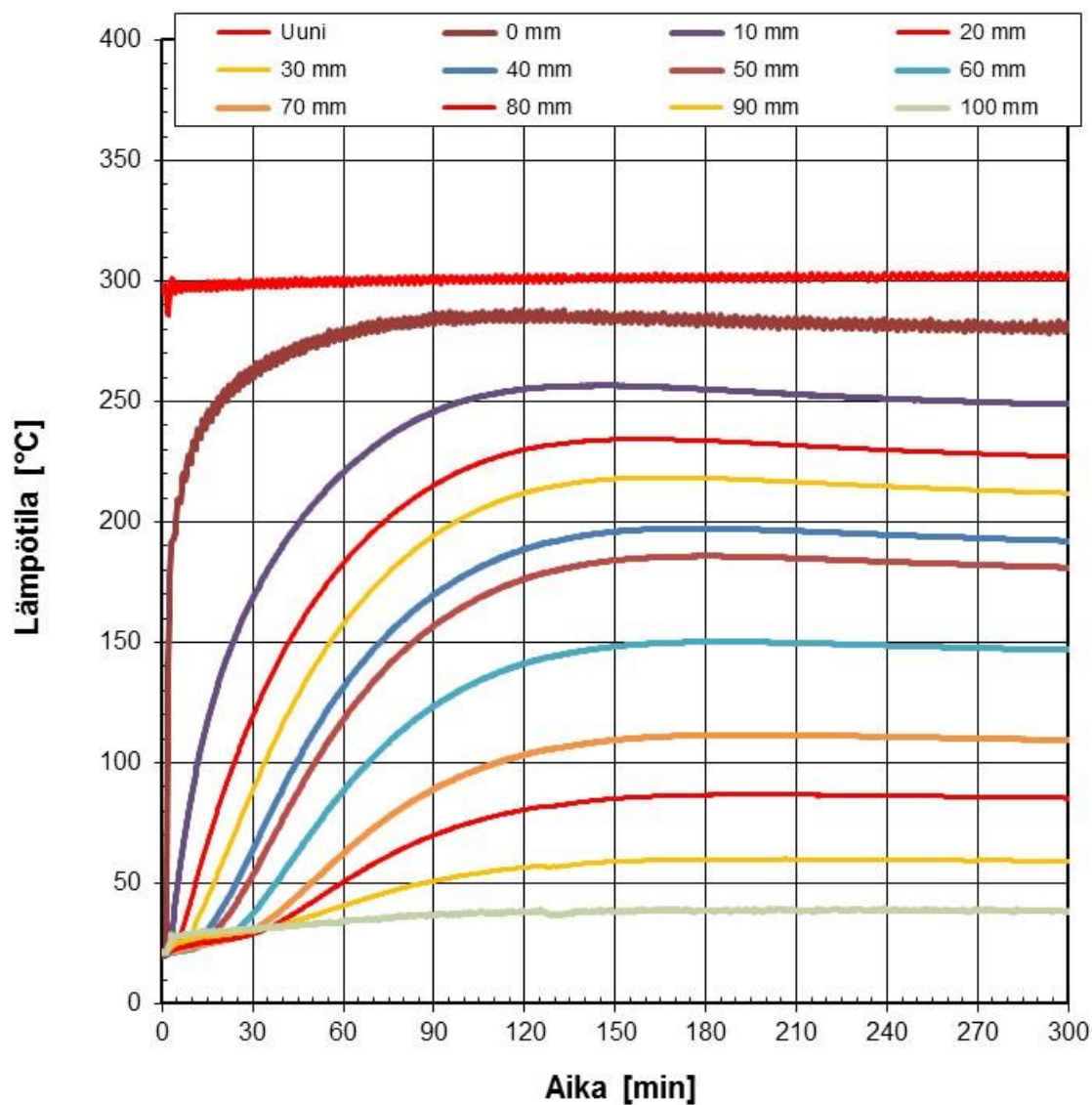


Koekappale a1 (uunin lämpötila 300 °C)





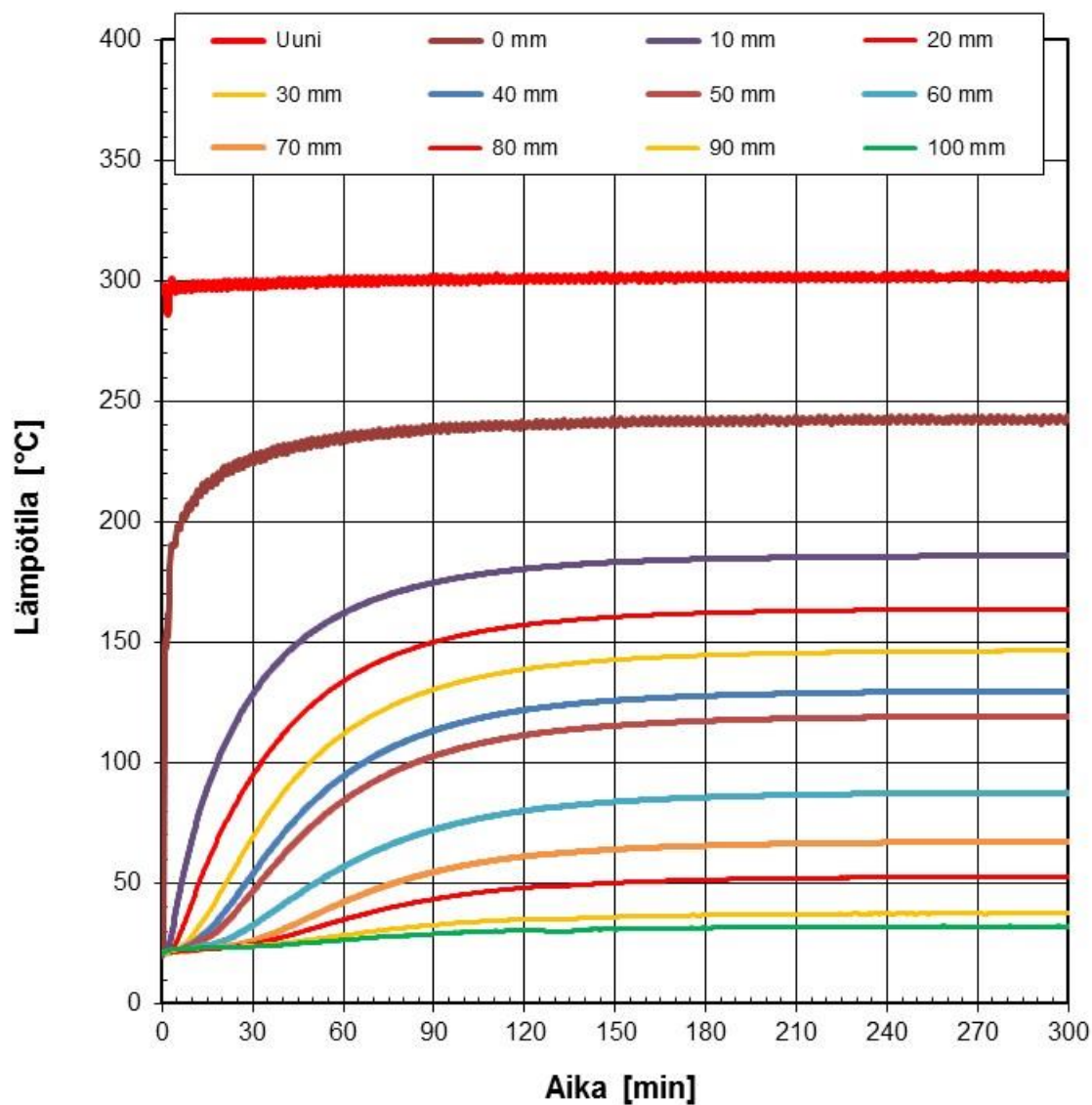
Koekappale a2 (uunin lämpötila 300 °C)



Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan

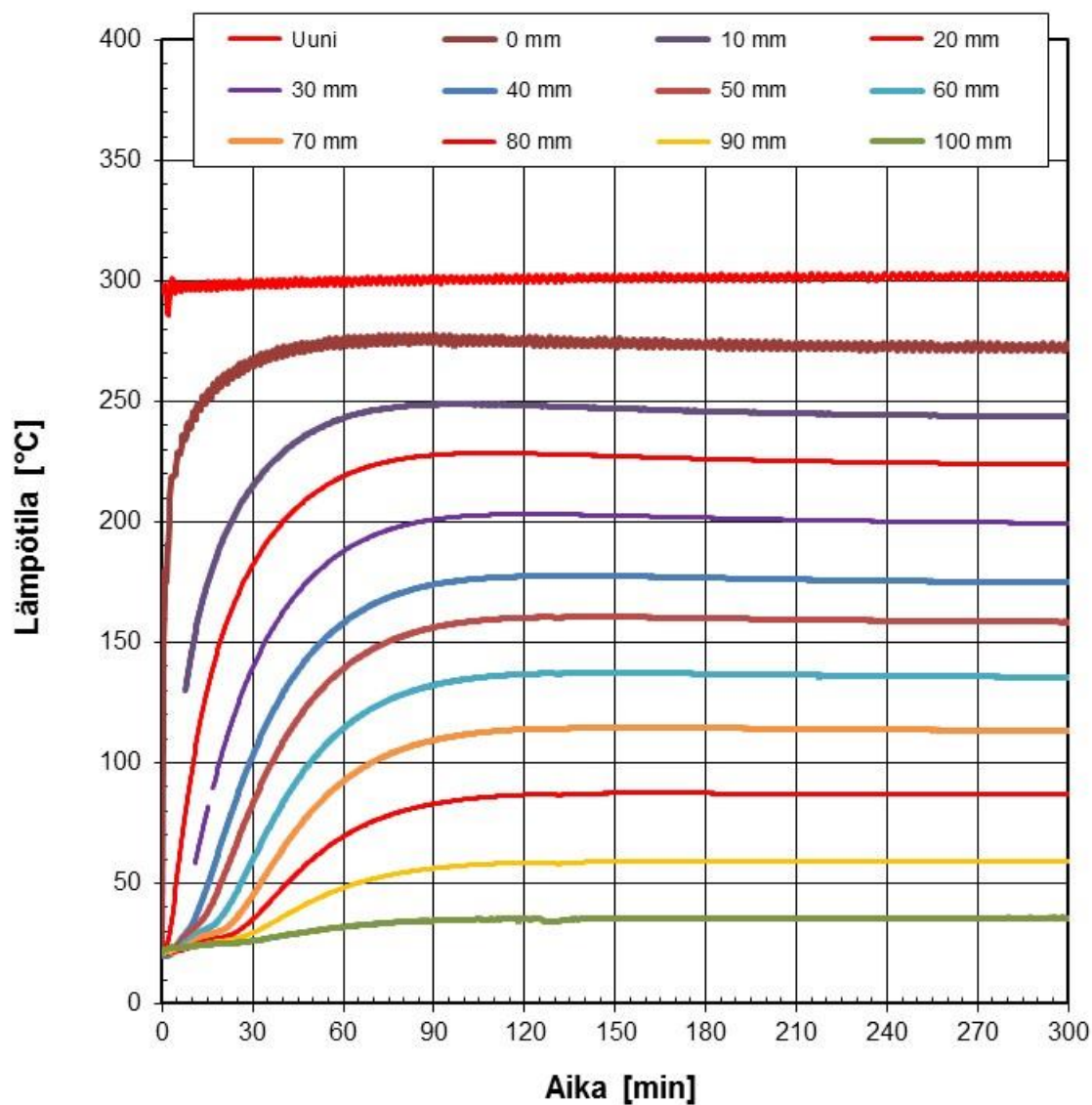


Koekappale b1 (uunin lämpötila 300 °C)





Koekappale b2 (uunin lämpötila 300 °C)

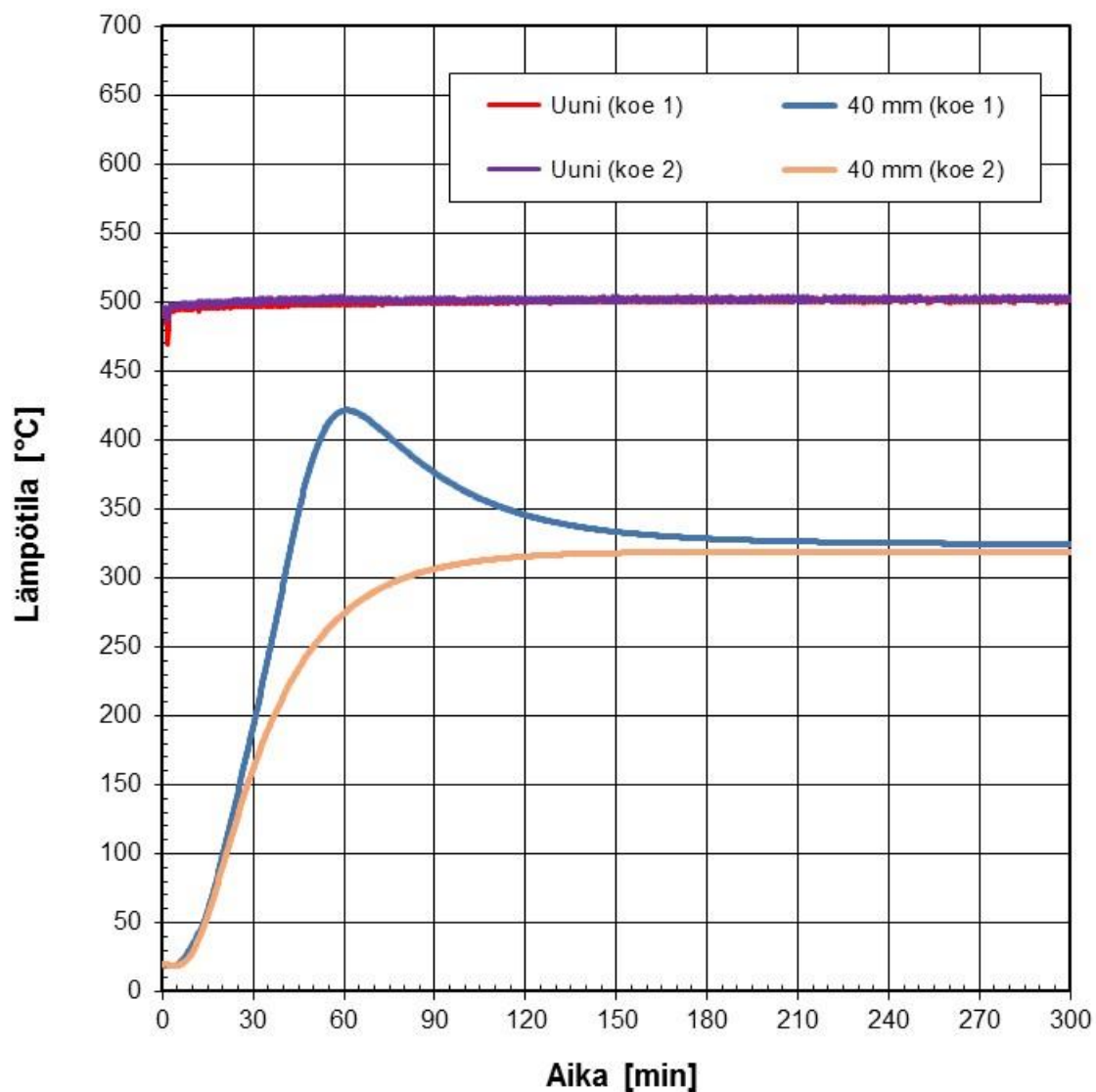


Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan



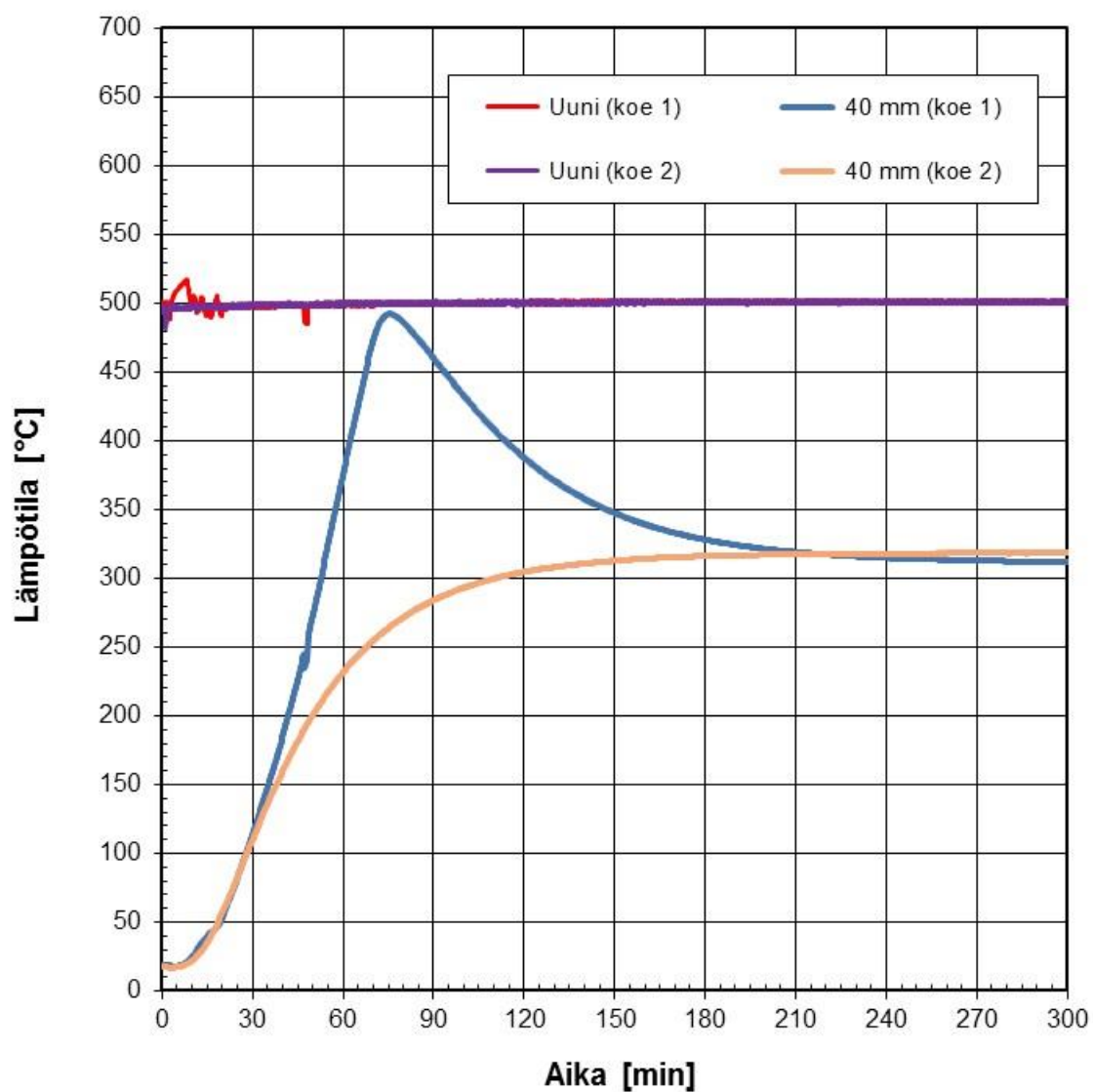
Liite 2: Ensimmäisen ja toisen lämmityskerran lämpötilat 40 mm etäisyydellä uunista

Koekappale a1





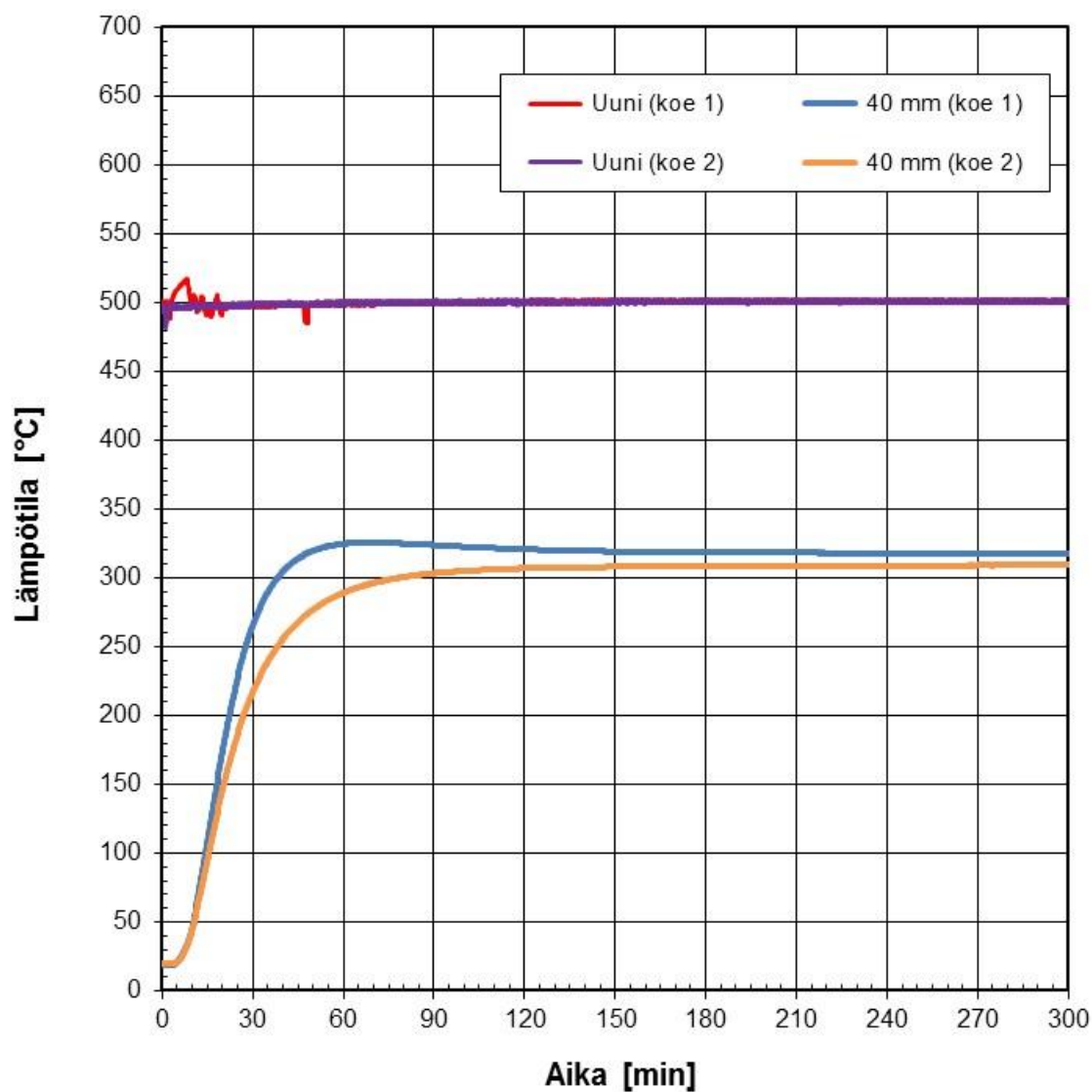
Koekappale a2



Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan

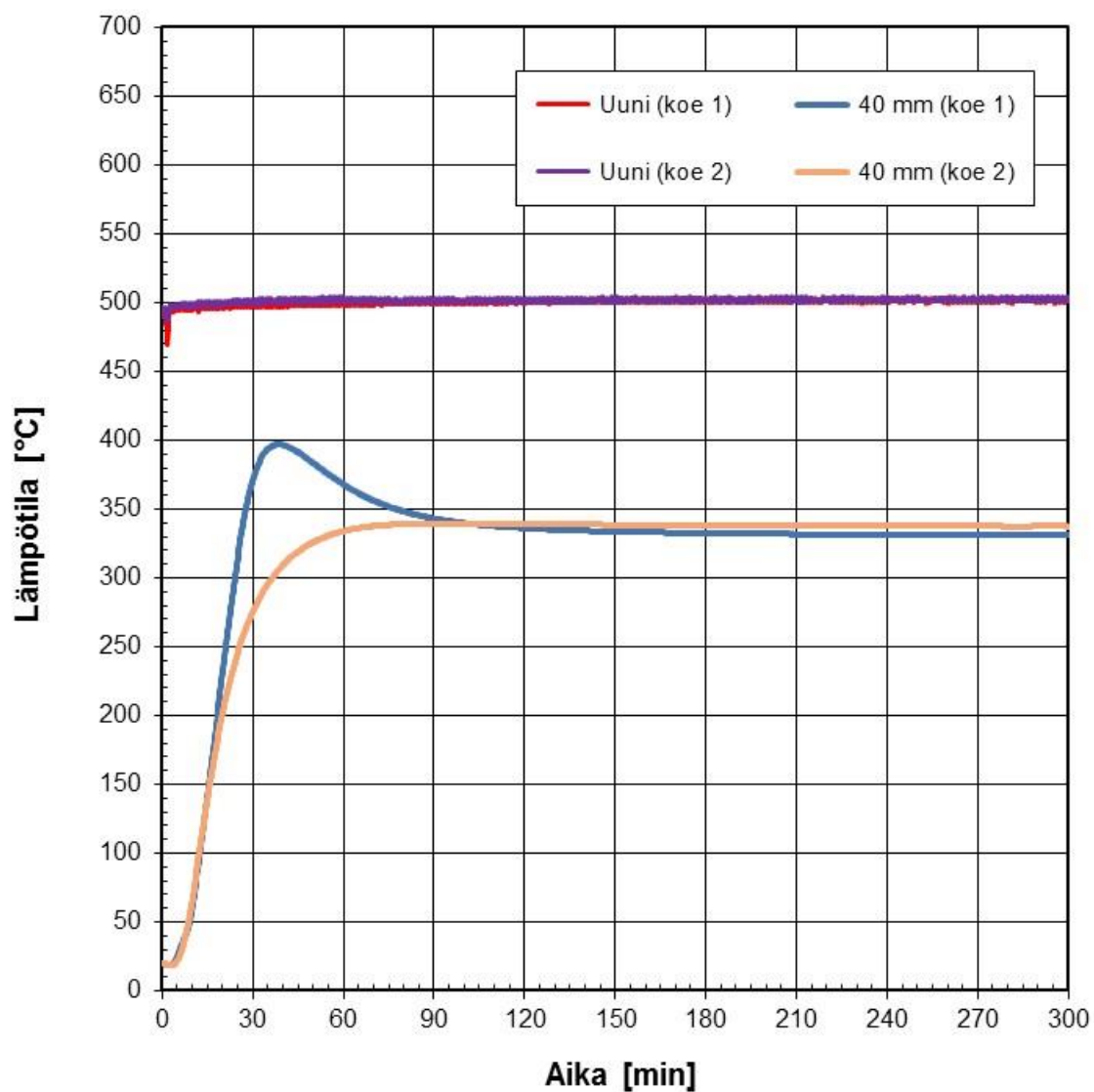


Koekappale a3



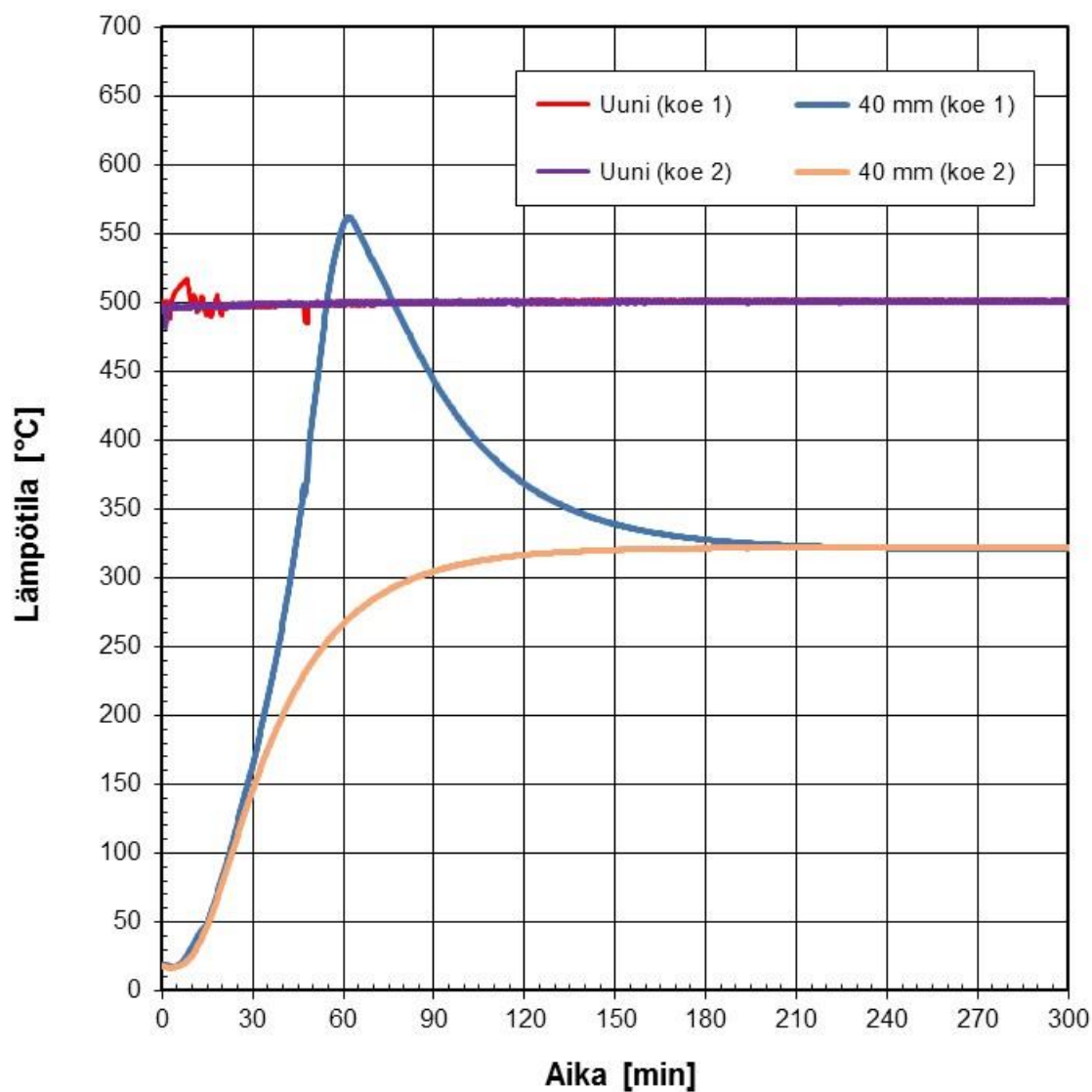


Koekappale a4



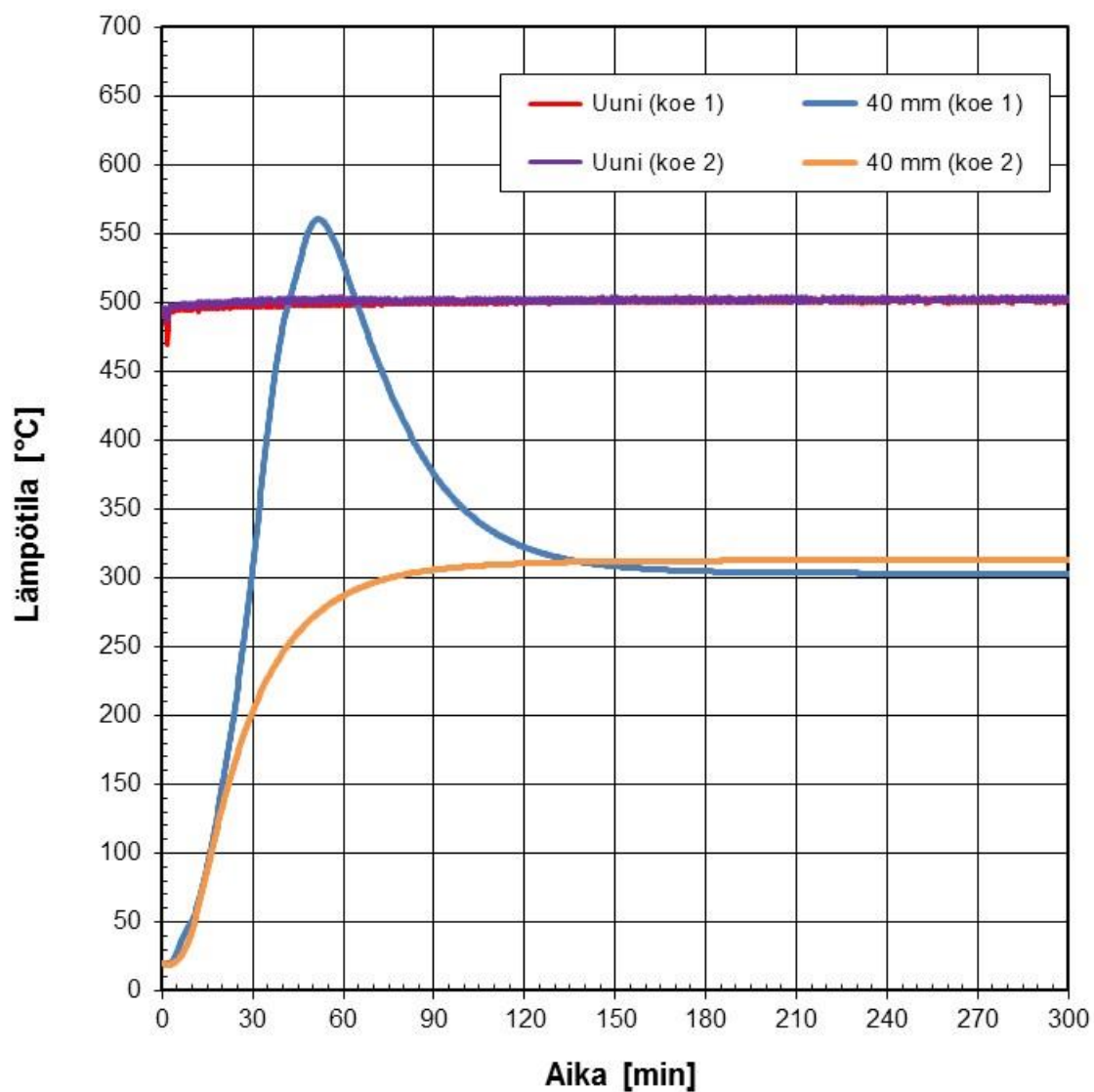


Koekappale b1



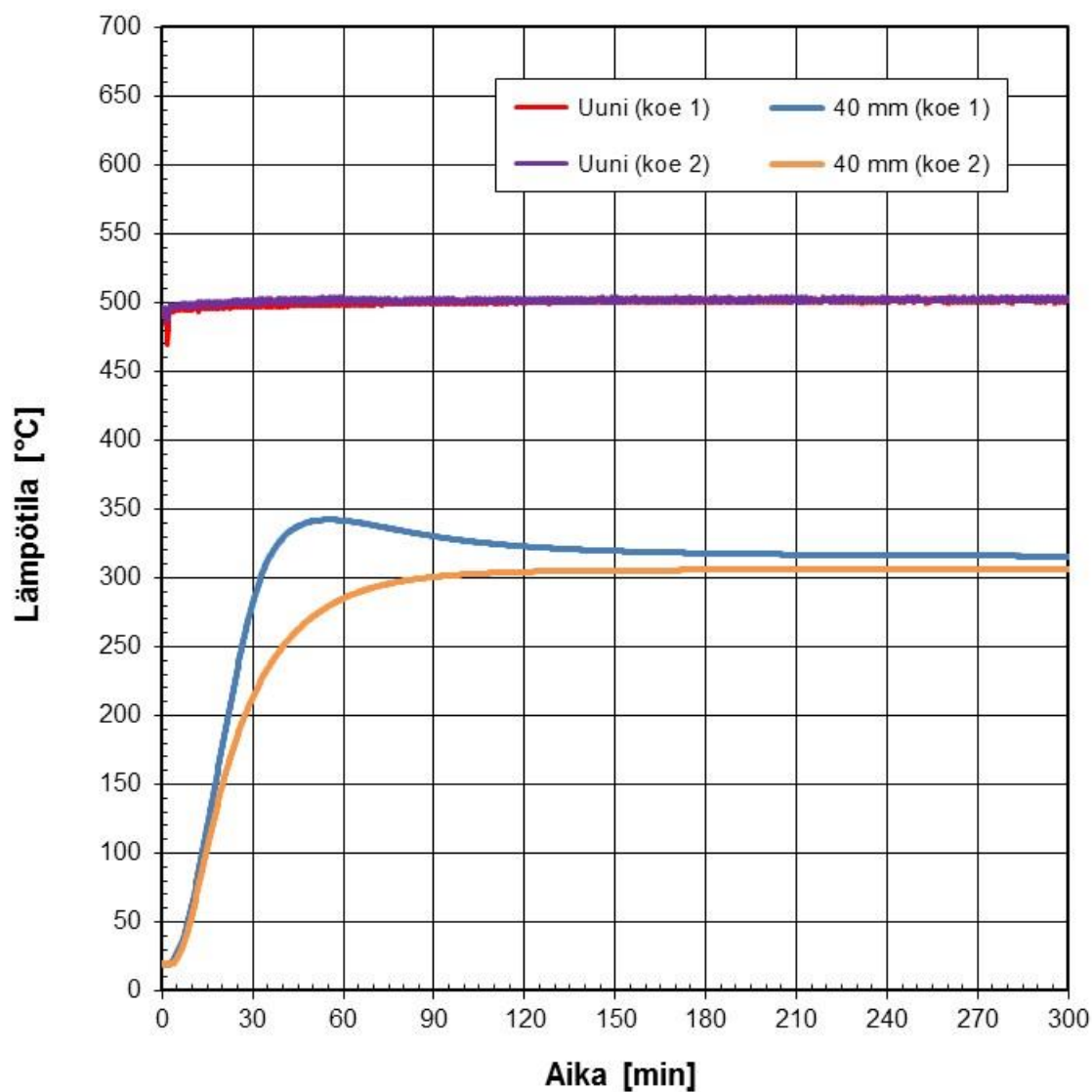


Koekappale b2



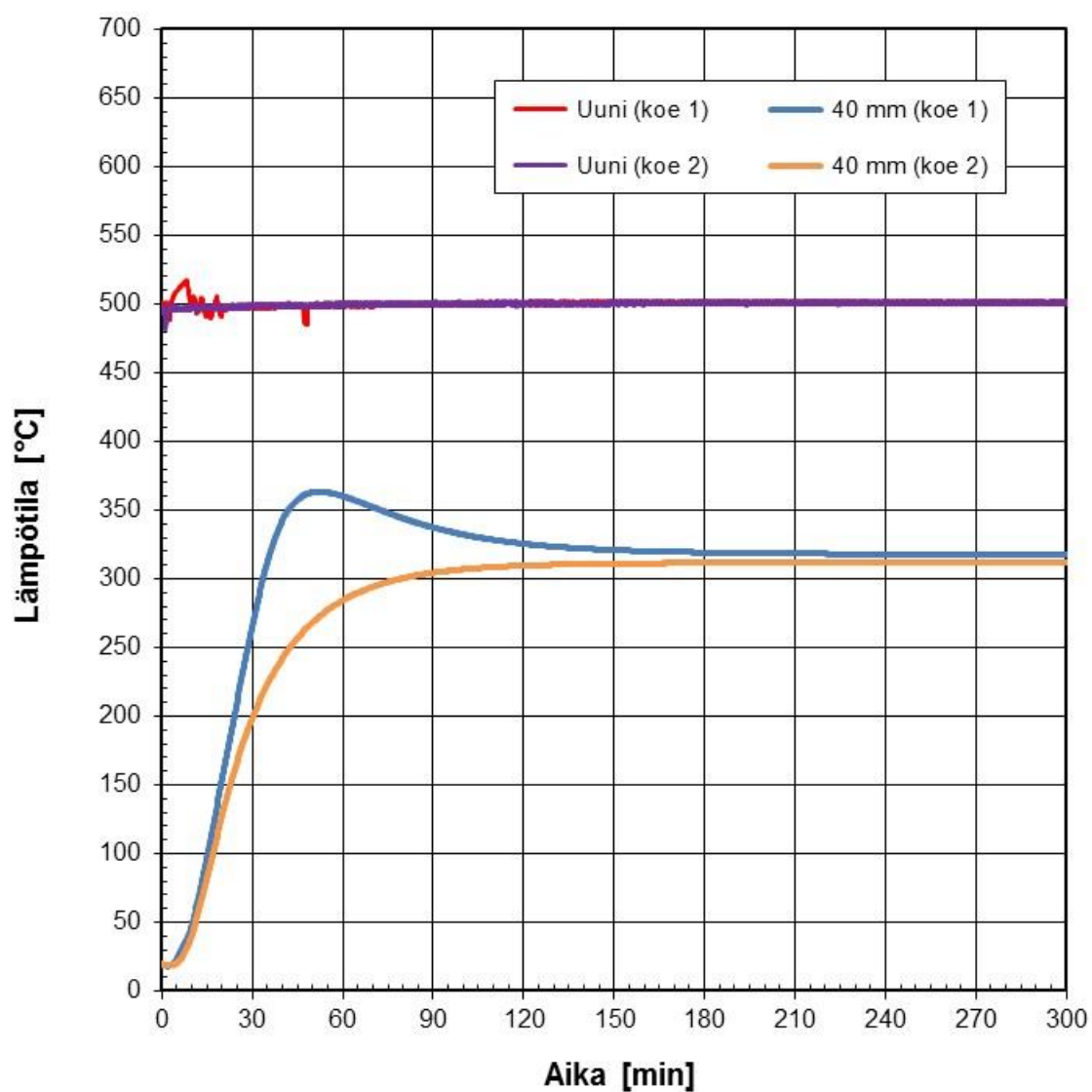


Koekappale c1



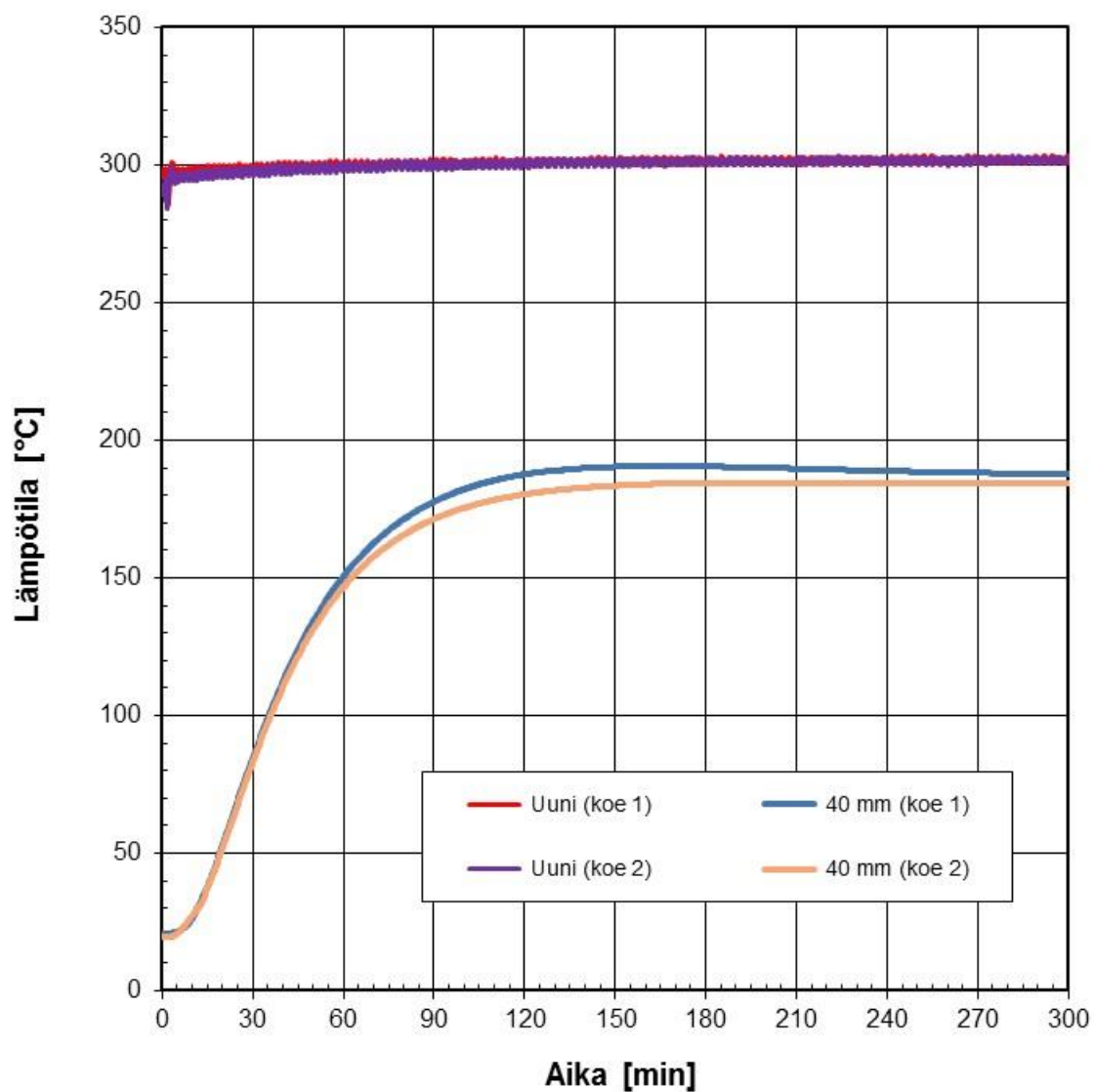


Koekappale c1 koe 2



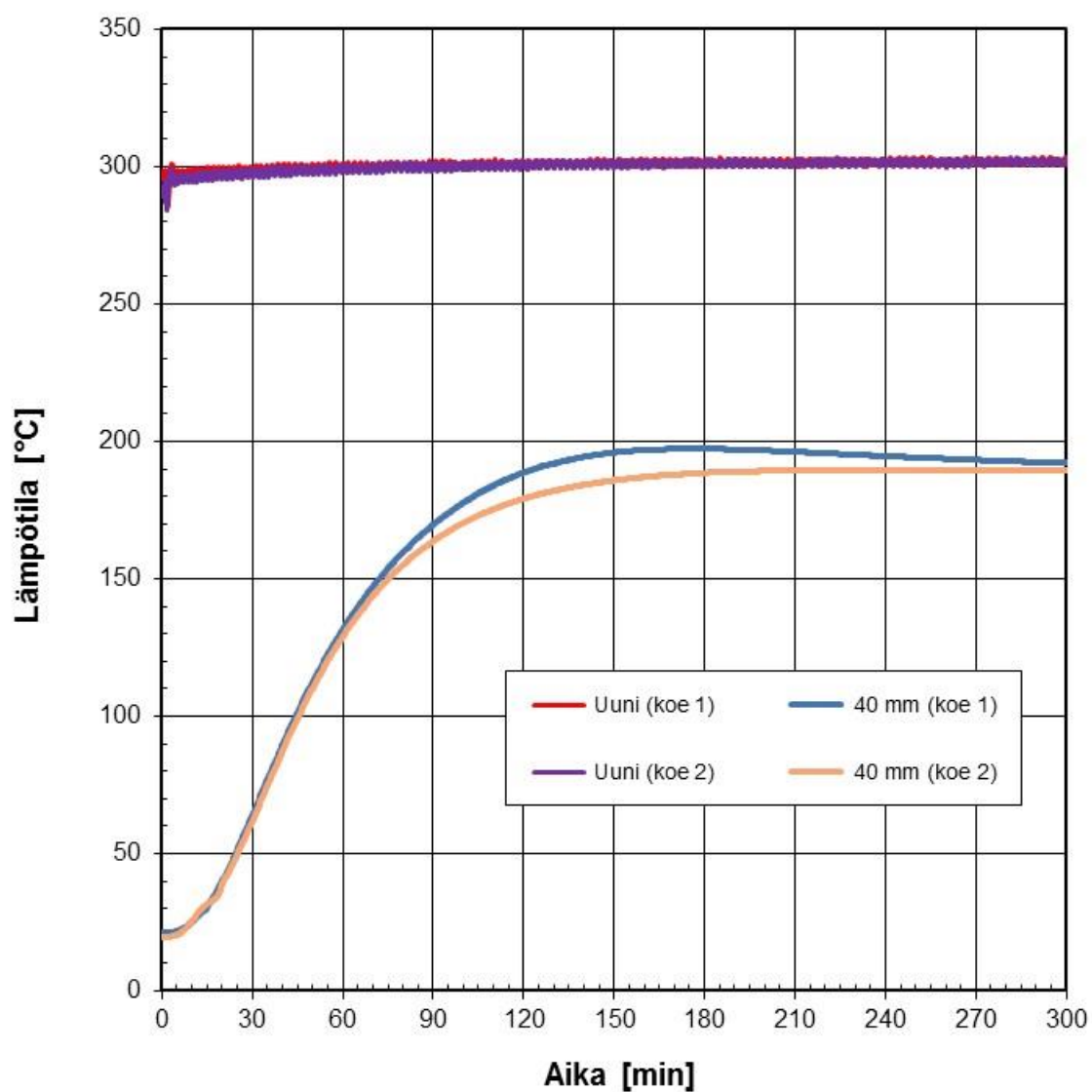


Koekappale a1 (uunin lämpötila 300 °C)





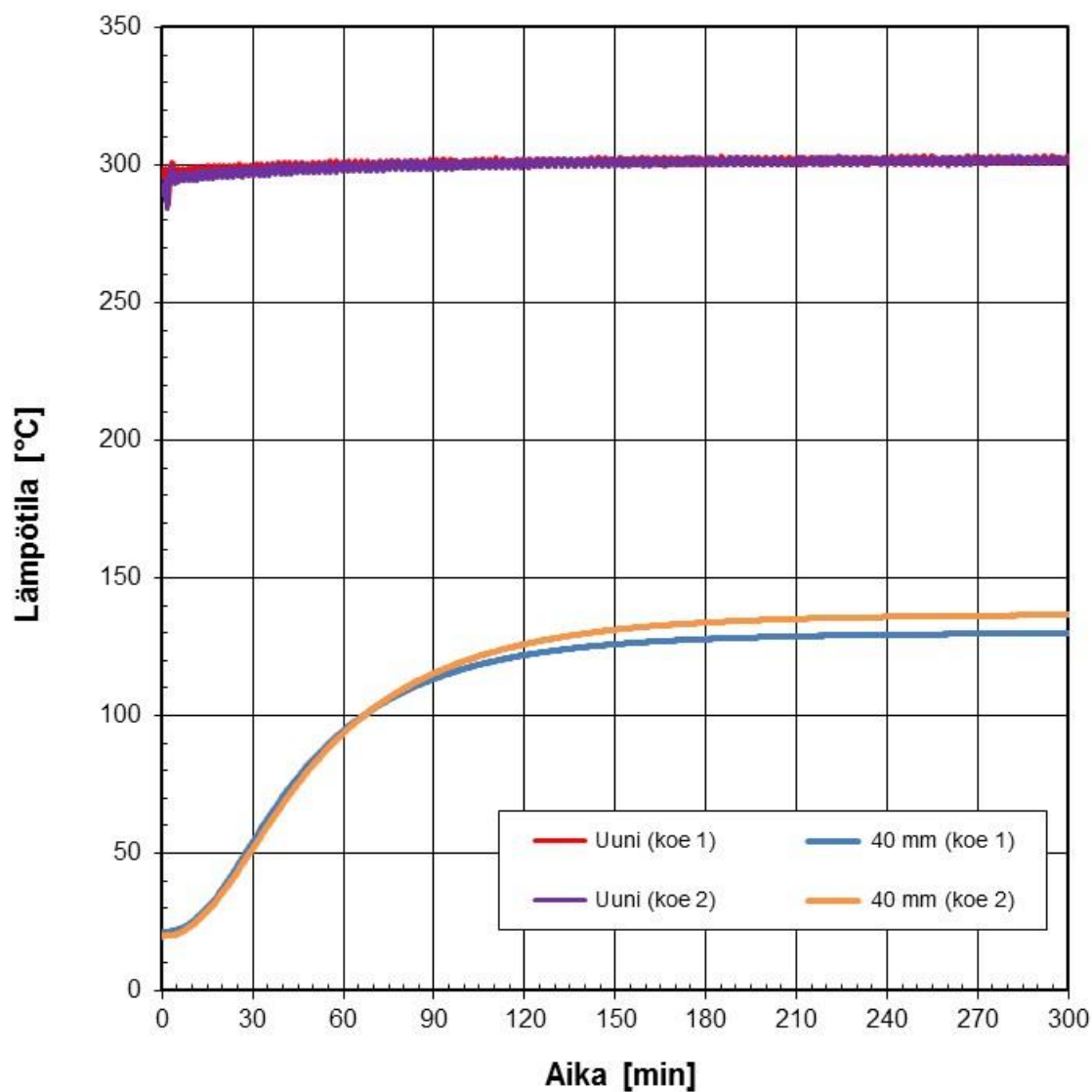
Koekappale a2 (uunin lämpötila 300 °C)



Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan



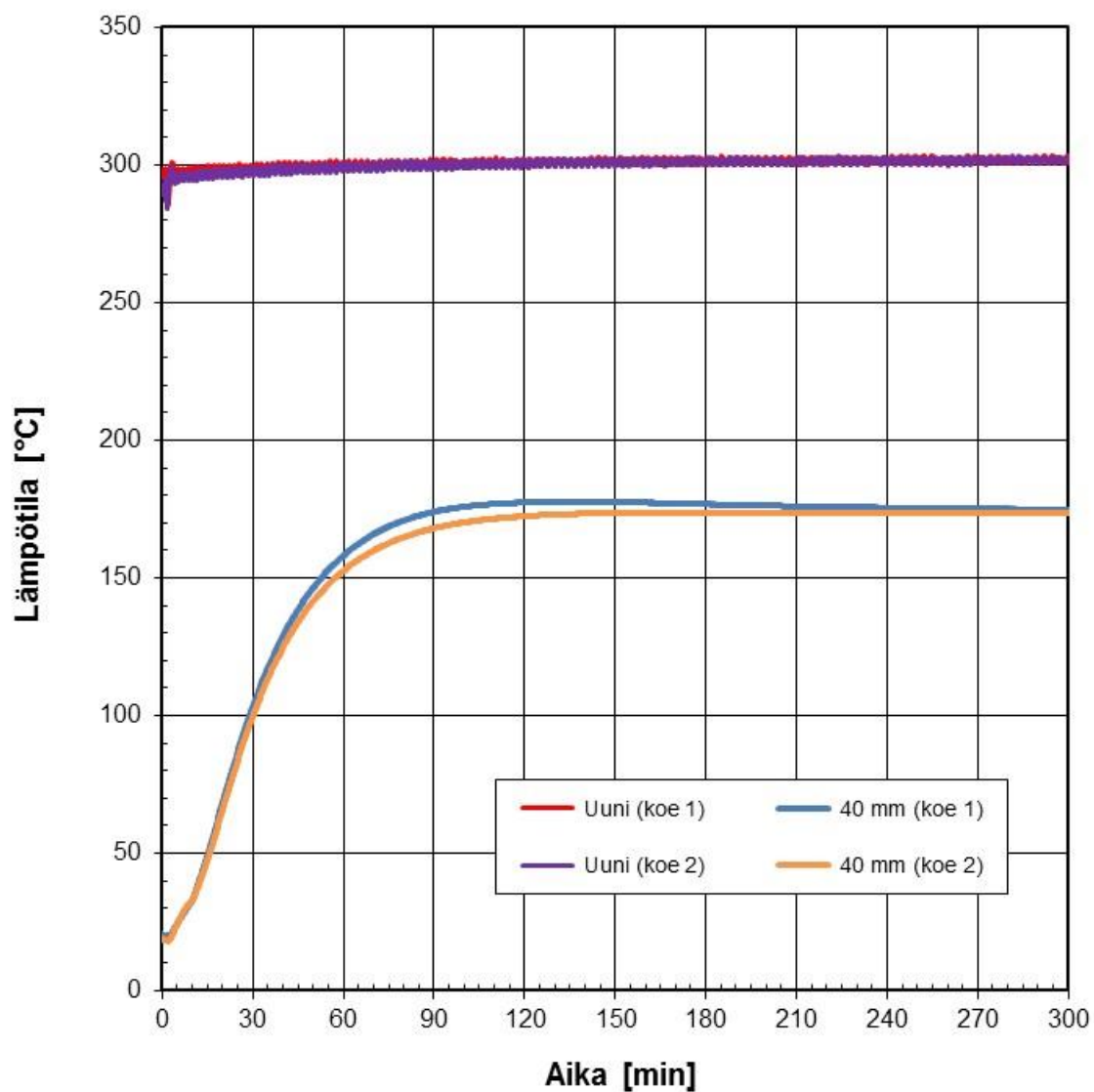
Koekappale b1 (uunin lämpötila 300 °C)



Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan



Koekappale b2 (uunin lämpötila 300 °C)



Tutkimusselostuksen saa kopioida vain kokonaisuudessaan