



SUOMEN SOODAKATTILAYHDISTYS
FINNISH RECOVERY BOILER COMMITTEE

Suomen Soodakattilayhdistys ry

Selvitys soodakattiloiden tulenkestävien massausten kuivumisajoista

**Verner Nurmi
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy**

15.4.2024

Raportti 3/2024

(16A0913-E0235)

ASIAKASRAPORTTI

VTT-CR-00034-24

Selvitys soodakattiloiden tulenkestävien massausten kuivumisajoista

Kirjoittajat: Verner Nurmi
Luottamuksellisuus: VTT Confidential
Versio: 11.3.2024

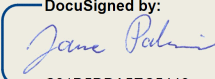


Raportin nimi	
Selvitys soodakattiloiden keraamisten rakenteiden kuivumisajoista	
Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot	Asiakkaan viite
Suomen soodakattilayhdistys ry Katri Hukkanen c/o AFRY Finland Oy PL 4, 01621 Vantaa	Sopimus 16A0913/S171
Projektin nimi	Projektin numero/lyhytnimi
PS_Kuivumisaika	137211
Tiivistelmä	
Projektissa tehtiin soodakattilan tulenkestävien massausten kuivumisajoista kirjallisuusselvitys, haastateltiin kahdeksan eri soodakattilan käyttäjiä massauksista, niiden asennuksesta ja massausten kestävyys haasteista. Lisäksi kerättyjen tietojen pohjalta tehtiin koesuunnitelma massausten kuivumisaikojen tutkimista varten. Haastatteluosuudessa käyttäjiltä kysyttiin heidän käyttämistään tulenkestävistä massauksista eri osissa kattilaa, sekä mahdollisista haasteista massojen suhteen. Lisäksi kysyttiin seisokkikäytännöistä massojen suhteen. Suurinta osaa massauksista korjataan joka seisokissa. Seisokkiväliksi mainittiin tyypillisesti 12-24 kuukautta. Kaikki käyttäjien mainitsevat massat sisältävät merkittävästi alumiinioksidia, suurin osa yli puolet koostumukseltaan. Merkittävimmät seosaineet alumiinioksidin kanssa ovat silika ja kalsiumoksidi, joita on käytetty useimmissa massoissa. Yksittäisissä massoissa on käytetty seosaineina myös magnesiumoksidia, titaanioksidia, piikarbidia ja fosforipentoksidia. Muutamassa massassa on lähinnä alumiinioksidia. Massaukset kattiloissa toteuttaa ulkopuolinen urakoitsija. Massaaja määrittää myös yleensä käytettävän massauserä materiaalin. Massauksien tekijä antaa myös ohjeet massauksien kuivattamiseen. Massauseräohjeiden noudattaminen riippuu kuitenkin tilanteesta. Usein soodakattila vaaditaan hyvin nopeasti käyttöön lyhyen seisokin jälkeen. Yleensä massaukset voidaan kuitenkin tehdä seisokin alkuun, jolloin rungon painekokeen aikaa ja korotettua lämpötilaa pysytään käyttämään hyödyksi massan kuivauksessa, jättäen kuivumisaikaa massalle on yleensä 1-2 vrk. Kattilan alaosa on yläosaa hankalampi massauksien kestävyysdelle. Eniten ongelmia mainittiin ilma- ja poltin aukkojen massausten kanssa. Ilma-aukkojen tapauksessa suunniteltua vähäisempi virtaama on saattanut johtaa suunniteltua korkeampaan lämpötilaan ja massan voimakkaaseen kulumiseen. Tapauksia, joissa massan liiallinen kosteus olisi aiheuttanut varmuudella lohkeamisen mainittiin kahdesti haastatteluissa. Molemmat lohkeamiset tapahtuivat lipeäruiskuaukoilla. Kirjallisuuskatsausosiossa tarkasteltiin lyhyesti massauksen kuivumisen vaiheita, sekä vaurioitumistapaa. Eri materiaaleista tarkasteltiin magnesiumoksidia, kolloidista silikaa, kalsiumalumiinaattisementtiä ja hydrattavaa alumiinioksidia. Lisäksi tarkasteltiin mikroaaltokuivauksen ominaisuuksia massojen kuivattamisessa. Projektissa tehtiin alustava suunnitelma kuivumisaikakokeelle. Koetta varten valittiin alustavasti neljä erilaista massaa testiä varten: Calde Stix PB 85 C/G, Didoflo_K98_3, Calde Sol Spraycast M 74 A ja Spincast ASF822. Suunnitelmana on tehdä näille materiaaleille kolme testiä erilaisilla kuivatusaika ja -lämpötilaprofiileilla, ja näin saada tietoa kuivausajan ja -lämpötilan vaikutuksesta massojen kuivumiseen ja kovettumiseen.	
Espoo, 11.3.2024	Tarkastaja
Laatija	
Verner Nurmi Research Scientist	Pekka Pohjanne Lead, Materials for new energy technologies
Confidentiality	VTT Confidential
VTT:n yhteystiedot	
Jakelu (asiakkaat ja VTT)	
Tilaaja, VTT arkisto	
VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.	



Hyväksyminen

TEKNOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS VTT OY

Päivämäärä:	11.3.2024
Allekirjoitus:	DocuSigned by:  C91D5DDA5EC5446...
Nimi:	Janne Pakarinen
Asema:	Research Team Leader



Sisällysluettelo

1.	Toimeksiannon kuvaus ja tavoitteet	4
2.	Haastattelukierroksen tulokset	4
2.1	Käytetyt materiaalit.....	4
2.2	Kuivumisajat ja seisokikäytännöt.....	6
2.3	Materiaalien kanssa kohdatut ongelmat.....	7
3.	Kirjallisuuskatsaus materiaalien kuivumisajoista	9
3.1	Massan kuivumisen vaiheet	9
3.2	Massan vaurioituminen lämmitettäessä	10
3.3	Kalsiumaluminaattisementti (CAC)	10
3.4	Hydrattava alumiinioksidi (HA)	10
3.5	Magnesiumoksidi	11
3.6	Kolloidinen silika.....	11
3.7	Mikroaaltoihin perustuva lämmitys	12
4.	Koesuunnitelmaehdotus keraamisten massojen kuivauksen optimointiin.....	12
4.1	Materiaalit.....	12
4.2	Koesuunnitelma	12
5.	Johtopäätökset ja yhteenveto.....	13
6.	Lähdeviitteet	14



1. Toimeksiannon kuvaus ja tavoitteet

Projektin tarkoituksena on jatkaa VTT:n selvityksessä VTT-M-00806 tehtyä työtä soodakattilan keraamisten massausten suhteen. Aiemmassa selvityksessä kävi ilmi, että massausprosessi itsessään vaikuttaa massauksen kestävyYTEEN ja prosessi on harvoin optimaalinen.

Tässä selvityksessä keskityttiin massojen kuivausaikoihin ja -käytäntöihin. Soodakattiloiden revisioissa tavoitteena on yleensä saada korjaustyöt tehtyä mahdollisimman nopeasti. Kymmeniä tunteja vievä tulenkestävien massojen kuivuminen ei sovi tähän yhtälöön kovin hyvin, minkä takia massojen kuivumisen optimointi olisi olennainen tavoite. Ensimmäinen osa raporttia käsittää kirjallisuuskatsauksen eri massojen kuivumisajoista. Toisessa osassa raportoidaan soodakattilan käyttäjäkyselyn tulokset. Kolmannessa osassa suunniteltiin koejärjestely massojen kuivauksen optimointiin.

2. Haastattelukierroksen tulokset

Haastatteluita varten VTT kontaktoi kattilankäyttäjiä eri tehtailta. Haastatteluita saatiin kaikkiaan tehtyä 8 kappaletta.

Missään haastatelluissa kohteissa kattilankäyttäjä ei tee itse massauksia. Massauksia tekevät sen sijaan siihen erikoistuneet yritykset: Refrak Oy, Höganäs Børgestad Oy ja Calderys Finland Oy. Massausyritykset antoivat tuote-esitteet massoista käyttöön, jolloin selvityksessä päästiin kiinni massojen kemialliseen koostumukseen ja ominaisuuksiin.

2.1 Käytetyt materiaalit

Käyttäjien kyselyssä mainitsevat massamateriaalit on mainittu taulukoissa 1 ja 2. Taulukko 1 esittelee myös joitain massojen ominaisuuksia, jotka löydettiin tuote-esitteistä. Taulukko 2 esittelee massojen kemialliset koostumukset.

Kaikki massat yhtä lukuun ottamatta ovat veteen sekoitettavia. Kaikki massat sisältävät merkittävän määrän alumiinoksidia (Al_2O_3). Alumiinioksidipitoisuus vaihtelee Duraflo 50 KN:n vajaasta 50 prosentista aina Compac Ram-Ultra 0-3:en, jossa alumiinioksidi pitoisuus on 97,5 %:iin. Massoista BBX-357 ja Duraflo 50 KN ovat samottipohjaisia materiaaleja (Al_2O_3 44 %, SiO_2 46 %) ja muut ovat luettavissa Al_2O_3 – pohjaisiin materiaaleihin (Al_2O_3 58–96,3 %, SiO_2 max. 35 %).



Taulukko 1. Haastattelukierroksella käyttäjien mainitsevat massat, ja joitain niiden ominaisuuksia.

Massa	Pääainesosat	Raekoko (mm)	Sekoitus veteen	Ylin käyttö-lämpötila	Asennus-tapa
Compac Ram-ultra 0-3	Alumiinioksidi	0-3	Kyllä	1350 °C	Tärytys, rapaus, tamppaus
Didoflo_K98_3	Sintrattu alumiinioksidi	0-3	Kyllä	1800 °C	Valu
Refraplast 185	Bauksiitti			1700 °C	Tamppaus
Calde Cast LT95	Alumiinioksidi	<6	Kyllä	1750 °C	Tärytys
Calde Gun F 65	Samotti, Bauksiitti	<6	Kyllä		Ruiskuvalu
Calde Sol Spraycast M 74 A	Alumiinioksidi	<5	Ei	1750 °C	Tärytys, ruiskuvalu
Calde Spraycast C 75 S15	Korundi, Piikarbidi	<6	Kyllä	1600 °C	Tärytys, ruiskuvalu
Calde Stix PB 85 C/G	Bauksiitti	<4	Kyllä	1300 °C	Tärytys, tamppaus
Calde Flow LM 74 A	Alumiinioksidi, Mulliitti	<5	Kyllä	1750 °C	Valu
BBX-357	Samotti	0-5	Kyllä	1600 °C	Muuraus, ruiskuvalu
Duraflo 50 KN	Samotti		Kyllä	1600 °C	Valu
Gorram Boxey	Bauksiitti	<3	Kyllä	1400 °C	Käsin asennus, tamppaus
Spincast ASF822*	Alumiinioksidi-spinelli	<6	Kyllä	1800 °C	Valu
Hasle B1800	Samotti, Bauksiitti	<6	Kyllä	1800 °C	Valu

*Tunnettu aiemmin nimellä Duraflo ASF822, ja sitä ennen nimellä Spinflow ASF822.



Taulukko 2. Haastattelukierroksella käyttäjien mainitsemat massat, ja niiden kemiallinen koostumus.

Massa	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	P ₂ O ₅ (%)	SiC (%)	Na ₂ O+K ₂ O (%)	TiO (%)	MgO (%)	CaO (%)
Didoflo_K98_3	97.5	0.1	0.1						
Compac Ram-ultra 0-3	86	8	0.8	1.6					
Refraplast 185	82-87	7	1						
Calde Cast LT95	93	5	0.1						1.1
Calde Gun F 65	62	27	1.2						7.1
Calde Sol Spraycast M 74 A	73	25	0.5						
Calde Spraycast C 75 S15	75	5.4	0.3		14.7				2
Calde Stix PB 85 C/G	84	8		1					2.3
Calde Flow LM 74 A	72	23	0.5						1.4
RB-C1	>90		<0.5						<5.5
BBX-357	44.5	46	0.7						6.7
Duraflo 50 KN	49.9	46.3	0.7				1.3		1.4
Gorram Boxey	80	13	1.1	<1					3.5
Spincast ASF822	89.2	0.1	0.1			0.2		8.7	1.6
Hassle B1800	93	1	0.1						4.0

2.2 Kuivumisajat ja seisokikäytännöt

Haastatteluiden mukaan kaikilla tehtailla massauksen tekee ulkopuolinen urakoitsija, eli Calderys, Refrak tai Höganäs Börgestad. Kattilan massauksia korjataan joka seisokissa, pois lukien kattilan pohjan urassa oleva massaus, jota keko suojaa prosessissa.

Massaukset pyritään tekemään mahdollisimman aikaisin seisokissa, jotta niiden kuivumiselle jäisi aikaa. Joissain tapauksissa massauksille pystytään antamaan näin toimien kahden vuorokauden kuivumisaika ennen lämmön nostamista. Hyvin yleinen käytäntö on tehdä massaukset ennen rungon painekoetta. Paineekokeessa seinäputket paineistetaan tyypillisesti 80–90 °C vedellä. Lämpötila kattilan alaosan seinäputkissa saattaa kuitenkin olla lämpöhäviöiden takia lähempänä 40 °C. Joka tapauksessa painekokeen tekemistä massauksien jälkeen voidaan pitää massauksien kannalta hyvänä käytäntönä. Tällöin massat saavat lisää kuivumisaikaa lievästi korotetussa lämpötilassa. Lievästi korotettu lämpötila (alle 80 °C) nopeuttaa massan kuivumista hallitusti, mikä vähentää ongelmien todennäköisyyttä, kun kattilan ylösajossa siirrytään 100 °C yläpuolelle. Toisaalta massauksia ei voida aina tehdä ennen painekoetta, jos massattavan alueen tulee olla näkyvissä painekokeen aikana tehtyjen hitsausten takia. Yleisesti ottaen massat saavat kuitenkin kuivua 12–48 h ennen kattilan lämmityksen aloittamista. Poikkeuksena tähän ovat miesluukkujen muuraukset, jotka tehdään tyypillisesti juuri ennen kuin lämmitys aloitetaan. Miesluukkujen muurauksissa ei kuitenkaan yleensä ole havaittu ongelmia, mahdollisesti niiden kattilassa ylempänä olevan sijainnin takia. Tyypillinen suositus kuivausajalle olisi 24 h. Kattilan ylösajolle voidaan antaa suositeltava lämpötilannosto-ohjelma. Eräs esimerkki tästä on 6 tunnissa tapahtuva lämpötilan nosto 150–240 °C asteeseen, jossa lämpötila saisi pysyä 48 tuntia. Tämän jälkeen lämpötila



nostettaisiin käyttölämpötilaan. Haastateltavan mukaan tätä ohjetta ei aivan noudateta, vaan starttipolttimet ajavat täysillä jo 10 tunnin jälkeen, ja 48 h jälkeen ollaan jo lipeäpoltossa.

Muuraaja antaa yleensä ohjeet massan kuivatukseen. Kuivausohjeita ei kuitenkaan aina pystytä noudattamaan, johtuen tiukasta aikataulusta kattilan saattamiseksi takaisin käyttöön. Haastatteluaineistossa on havaittavissa, että tehtaissa, joissa voidaan noudattaa kuivausohjeita, ei ole satunut massojen kosteuden poistumisesta johtuvaa lohkeilua kattilan ylösajovaiheessa. Näillä tehtailla on myös ollut vähemmän muita massauksiin liittyviä ongelmia. Toisaalta tässä haastatteluaineisto on hyvin rajallisen kokoinen, joten johtopäätöksiä vetäminen on hankalaa.

Käytännöt vanhan massan poistamisen suhteen vaihtelivat eri kohteissa. Joissain kohteissa vanha massa piikataan aina pois, ainakin sen verran että lipeän selvimät vaikutukset massaan poistetaan. Toisaalta joissain kohteissa vanhasta massauksesta poistetaan vain ”irtonaiset päältä”. Käyttäjät eivät pystyneet arvioimaan, olisivatko massaukset saattaneet haljeta uuden ja vanhan massauksen rajapinnasta.

Seisokkiväliksi oli mainittu 12 kk kahdella tehtaalla, 12–18 kk kahdella tehtaalla, 18 kk kahdella tehtaalla, 18–24 kk yhdellä tehtaalla ja 24 kk yhdellä tehtaalla. Haastatteluiden perusteella on tunnistettavissa, että massojen kulumiseen liittyvät ongelmat kasvavat seisokkivälin mukana. Pidemmällä seisokkivälillä toimivilla kattiloilla massaukset ehtivät useammin kulua kokonaan puhki ajon aikana. Esimerkiksi miesluukut, sekundääri-ilma-aukot ja starttipolttimet kuluvat voimakkaasti seisokkivälillä. Massojen kulumisen ei kuitenkaan ole johtanut ylimääräisiin kattilan alasaajoihin. Massauksen puhkikuluminenkin on voitu paikata ilmajähdytyksellä, millä on saatu sula jähmettymään syntyneeseen aukkoon.

Kuivumisaikoihin liittyviä ongelmia on joissain tehtaissa pyritty hallitsemaan tilaamalla aukkokoelointeja valmiiksi massattuina. Asennettavan kotelointikappaleen koko ja paino voi kuitenkin aiheuttaa suuria haasteita.

Massaukset tarkistetaan visuaalisesti lopputarkastuksessa ennen kattilan käyttöönottoa seisokin jälkeen. Tarkastuksissa tulee satunnaisesti vastaan kohteita, joissa muuraajaa pyydetään korjaamaan muurausta, esimerkiksi kuivumisen aiheuttaman kutistuman takia.

Yhdessä kattilassa on tapana tehdä seisokkien puolivälissä kattilan vesipesu. Tämän on epäilty aiheuttavan massauksien lohkeilua, kun kattila ajetaan vesipesun jälkeen uudelleen ylös.

Refraplast 185 ja Caldeflow LM 74 A massoissa on ollut ongelmia lipeän tunkeutumisen kanssa. Molemmat ovat Al_2O_3 -pohjaisia massoja, joihin on sekoitettu silikaa (SiO_2) mukaan. Silika on huokoinen materiaali, mikä voi aiheuttaa ongelmia lipeän tunkeuman kanssa.

2.3 Materiaalien kanssa kohdatut ongelmat

Yleinen havainto haastatteluista on, että massauksien kestävyys on heikompi kattilan alaosissa kuin yläosissa. Oletus on, että syynä tähän on kattilan alaosan pelkistävien olosuhteiden ja emäksisten suolasulien yhteisvaikutus, joka edesauttaa sulien tunkeutumista massaukseen kattilan yläosan hapettaviin olosuhteisiin verrattuna. Lipeä ruiskutetaan kattilan alaosaan, joten kattilan alaosassa olosuhteet ovat emäksisemmät, ja massat joutuvat sietämään enemmän lipeän tunkeutumista massaan. Poikkeuksena edellä mainittuun on kattilan pohja, jossa on joissakin kattiloissa oja, mikä on täytetty massalla. Kattilan ollessa käytössä tämän ojan päällä on kuitenkin jähmettynyt keko, mikä suojaa kattilan pohjaa sulalta ja lämmöltä.

Taulukko 3 esittelee, missä kohdissa kattiloita haastattelujen mukaan on massauksia, ja mitä massoja kussakin kohdassa käytetään. Lisäksi taulukkoon on merkitty, missä kohdissa käyttäjät ovat kohdanneet eniten ongelmia.



Taulukko 3. Massattavia kohtia ja niissä käytettäviä massoja soodakattiloissa.

Massauskohdat	Ongelmia massan kestävydessä	Käytettäviä massoja kohdassa
Pohjan ura		Didoflo-K98, Duraflo 50KN, Caldeflo LM74
Primääri-ilma-aukot	2 kohdetta	Bailey Bond, Didoflo-K98, Hassle B1800, BBX-357, Caldecstic PB85, , Refraplast 185, Refrajat T-93, Compak Ram Ultra, Gorram Boxey, Spincast ASF822
Sekundääri-ilma-aukot	3 kohdetta	
Tertiääri-ilma-aukot		
Pohjan ja laidan väli		Hassle B1800, Duraflo 50KN, Caldeflo LM74, Compak Ram Ultra
Sula-aukon massakotelot		Hassle B1800, BBX-357
Kuormapoltin	1 kohde	Hassle B1800, Calde Gun F65, Caldecast LT95, BBX-357
Hajukaasupoltin		Hassle B1800, Calde Sol Spraycast M74A, Caldecast LT95
Starttipoltin	3 kohdetta	Hassle B1800, BBX-357, Calde Sol Spraycast M74, Caldecast LT95
Miesluukut	3 kohdetta	Hassle B1800, BBX-357, Refraplast 185, Refrajat T-93, Spincast ASF822
Sularännien ohi-tusputket		Calde Stic PB 85, LT95, Caldecast LT95, Refraplast 185, Refrajat T-93, Compak Ram Ultra, Spincast
Nuohoin		
Lipeäruisku-aukot	2 kohdetta	BBX-357, Caldecast LT95, Didoflo-K98, Gorram boxey, Spincast ASF822

Seuraavassa on esitetty yksittäisiä ongelmia eri kattiloilla, sekä niiden arveltuja syitä.

Eräällä vastaajalla oli ollut primääri-ilma-aukon massauksien kanssa kestävyysongelmia. Tämä ongelma saatiin ratkaistua paksuntamalla massausta, jolloin se kestää 2 vuoden seisokkivälin. Sama ongelma on ollut lipeäruiskuaukoissa, joista massa palaa yleensä käytön aikana puhki. Ilmajäähdytys on toiminut näissä kohdissa vuodon viilentäjänä ja sulan kiinteittäjänä, jolloin kattilaa ei ole tarvinnut ajaa alas ennen suunniteltua seisokkia. Massana on ollut Hassle B1800. Samaa massauksen paksuuden lisäämistä oli sovellettu myös miesluukkuihin, jotka eivät kestäneet hyvin 2 vuoden seisokkiväliä. Miesluukun tiilet käännettiin toisinpäin, ja näin massauksesta/muurauksesta tuli selvästi paksumpi. Itse massauksen kulumista ratkaisu ei poistanut, vaan nämä kohdat pitää massata joka seisokissa.

Yhdessä kohteessa sekundääri-ilma-aukot oli mitoitettu korkeammalle ilmamäärälle, kuin mitä ajossa oli todella käytetty. Tämä oli johtanut aukon alueen korkeampaan lämpötilaan sekä Bailey Bond ja Didoflo massojen huonoon keston. Sekundääri-ilma-aukkoja on nyt muutettu, ja ongelman odotetaan poistuvan ilman muutosta massassa.

Yhdellä vastaajalla oli ongelmia kuormapolttimien massauksien kanssa. Erityisesti vähiten ajettu kuormapoltin on ollut ongelma.



Eräässä kohteessa primääriaukkojen massaukset kuluivat merkittävästi seisokkivälin aikana, ilmeisesti lipeän tunkeuman takia, sillä massan pinta on vihertävää ajon jälkeen. Sekundääriaukoissa massausten kanssa kohdataan vielä suurempia ongelmia. Massat lohkeilevat tai kuluvat niin nopeasti, että sulaa pääsee joskus villoihin saakka. Ongelman arvellaan johtuvan huonosta massan tuennasta, kuivauksesta ja putkien tärinästä. Massana kohteessa on ollut Refrajat T-93R tai Refraplast 185.

Yhdessä kohteessa lipeäruiskaukkojen massa Hassle B1800 oli yllättäen lohjennut kokonaan irti. Tässä tapauksessa epäiltiin massauksen jääneen liian kosteaksi lohkeilleen lämmitettäessä. Lipeäruiskaukolla oli käynyt vastaava massan lohkeaminen toisellakin kattilalla. Tässä tapauksessa epäiltiin suoraan, että massa oli sekoitettu ylimäärin vettä työskentelyn helpottamiseksi. Kyseinen massa oli ilmeisesti Didoflo-K98.

Kuormapolttimien kestävyys on aiemmin ollut yhdessä kohteessa iso ongelma. Massa irtoaa 18 kk seisokkivälin aikana lähes kokonaan. Massan pinta on vihertävä ajon jälkeen, joten ongelmana lienee lipeän tunkeuma massaun. Aiemmin massana on ollut Calde Gun F65. Massa on nyt vaihdettu uuteen Calde Sol Spraycast M74 massaun, ja tuloksia odotetaan seuraavassa seisokissa. Myös starttipolttimien massaukset kuluivat kohteessa käytännössä loppuun 18 kk seisokkivälin aikana. Jäljellä olevat pinnat ovat olleet vihreitä, joten lipeän tunkeuma on todennäköisesti aiheuttanut vauriot. Aiemmin massana on ollut Calde Flow LM 74 A, mikä on nyt vaihdettu uuteen Calde Sol Spraycast M74 massaun ja tuloksia odotetaan.

Kahdessa tapauksessa massan vauriomuodoksi oli varmuudella tunnistettu lämmitykseen liittyvä lohkeilu, ja molemmat tapaukset ovat olleet lipeäruiskaukoilla. Näissä tapauksissa materiaaleina olivat Didoflo K98 3 ja Hassle B1800. Molemmissa massoissa alumiinioksidi pitoisuus on hyvin korkea. Alumiinioksidi on sangen tiivis materiaali, mikä hidastaa veden poistumista sen rakenteesta, aiheuttaen ongelmia lämmityksen aikaisessa lohkeilussa¹. Toisaalta ilmiö ei toistunut joka seisokissa, vaan vaurioiden epäiltiin johtuvan ylimääräisen veden käytöstä tai huonosta kuivauksesta.

Haastattelujen tuloksista täytyy todeta, että käyttäjät eivät ole dokumentoineet tai tutkineet massojen kulumisen ja vaurioitumisen syitä. Massaukset ovat voineet kulua käytössä esimerkiksi lipeän tunkeutumisen aiheuttamana halkeiluna tai eroosion takia.

3. Kirjallisuuskatsaus materiaalien kuivumisajoista

3.1 Massan kuivumisen vaiheet

Massan sekoittamisen jälkeen massan kovettuminen alkaa välittömästi. Kovettumisen loputtua veteen sekoitettaviin massoihin jää vielä rakenteessa vapaana olevaa vettä sekä kemiallisesti sitoutunutta kidevettä. Veden poistaminen massasta on tarpeellista ennen mustalipeän polton aloitusta, sillä lämpötilan noustessa vesi höyrystyy, ja voi poistua massasta rikkoen massauksen rakenteen. Kuivuminen on massan asennuksen vaiheista pisin¹. Nykyään käytössä on myös fenolihartsiin sekoitettavia tulenkestäviä massoja, joiden kuivuminen ei ole yhtä hidasta. Hartsien huono puoli on kuitenkin niiden hinta ja myrkyllisyys.

Tiiviiden tulenkestävien massojen kuivuminen tapahtuu pääsääntöisesti veden liikkeessä avoimien huokosten läpi matriisissa, sekä matriisin ja aggregaattien rajapinnoissa.¹

Matalissa lämpötiloissa massa kuivuu pinnalta tapahtuvan haihtumisen myötä. Kapillaarivoimat vetävät massan sisältä kosteutta tasaiseen tahtiin massan pinnalle haihtuvan kosteuden tilalle. Tässä vaiheessa kuivumisnopeus riippuu lähinnä lämpötilasta ja ilman kosteudesta.¹



Lähestyttäessä 100 °C lämpötilaa, massan pinnalla veden haihtumisnopeus ylittää nopeuden, jolla vesi pystyy siirtymään massan sisältä pinnalle, jolloin massan pinta kuivuu. Epäjatkuvuus kuivan pinnan ja kostean sisäosan välillä johtaa veden siirtymistavan muuttumiseen kapillaarisesta höyrydiffuusioksi.¹

Ylitettäessä 100 °C lämpötila, kuivumisnopeus alkaa taas kasvaa. Tällöin massa kuivuu voimakkaasti pinnasta, veden kiehuessa massasta pois. Massa kuivuu pinnasta syvemmälle tasaisesti lämpötilagradientin edetessä syvemmälle massaun. Tämä vaihe on kaikkein kriittisin kuivauksen vaihe, sillä tällöin veden kiehumisesta johtuva paineen nousu aiheuttaa helpommin vaurioita massaun. Kiehumisvaiheessa veden poistumisnopeus on korkeimmillaan. Kiehumisvaihe kestää tyypillisesti 250–300 °C saakka¹.

Viimeinen kuivumisvaihe on kemiallisen veden poistuminen tai hydraattien hajoaminen, mikä tapahtuu 180–600 °C lämpötilavälillä, riippuen käytetyistä materiaaleista ja kovettamislämpötilasta^{1,2}. Tyypillisesti kuivumisnopeus on huomattavasti hitaampaa tässä vaiheessa verrattuna kiehumisvaiheeseen.

3.2 Massan vaurioituminen lämmitettäessä

Massan lohkeilu ja murtuminen (spalling) lämmitysvaiheessa johtuu kahdesta syystä. Lämpötilagradientti massassa aiheuttaa jännitystiloihin massaun, ja samalla veden poistuminen aiheuttaa sisäistä painetta. Paine kasvaa etenkin alueella, jossa vesi kiehuu rakenteen sisällä.^{1,3}

Lämpötilagradienttiin massan eri osien välillä voidaan vaikuttaa lähinnä lämmitysnopeudella. Kuivumiseen voidaan vaikuttaa kuitenkin myös massan veden läpäisevyyttä parantamalla.

Jotta massan kuivaus voidaan tehdä käytännöllisessä ajassa, tulee veden läpäisevyyden massassa olla riittävän suuri. Huokoisuus lisää massan läpäisevyyttä. Samoin kuitujen lisääminen massaun voi parantaa läpäisevyyttä. Esimerkiksi polypropeeni- ja selluloosakuitujen todettiin parantavan veden läpäisyä, joista selluloosakuidut toimivat paremmin myös matalissa lämpötiloissa⁴.

3.3 Kalsiumaluminaattisementti (CAC)

Kalsiumaluminaattisementin (CAC) hyviin ominaisuuksiin kuuluu sen nopea kovettuminen ja kyky vastustaa kemiallisesti aggressiivisia olosuhteita, minkä takia kalsiumaluminaattisementti on laajasti käytössä tulenkestävissä massoissa. Tätä sideainetta valmistetaan kalkin (CaCO_3) ja alumiinioksidin (Al_2O_3) reaktiolla korkeassa lämpötilassa. Sekä lähtöaineiden välinen suhde että reaktiolämpötila vaikuttavat lopputuotteiden (CaO ja Al_2O_3) väliseen suhteeseen sementissä. Tyypillisesti korkea CaO pitoisuus johtaa lyhyempään kovettumisaikaan ja korkeampaan polttamattoman massan lujuteen, kun taas korkea Al_2O_3 pitoisuus johtaa parempiin tulenkestävyysominaisuuksiin.^{1,5} Kovettumislämpötilan tulisi kuitenkin olla yli 20 °C, sillä matalammissa lämpötiloissa reaktiokinetiikka hydraattifaasien muodostumisessa on selvästi hitaampi. Kalsiumaluminaattisementin hydraattifaasit hajoavat jo 100–370 °C lämpötiloissa. Tämän vuoksi lämmönnostamisvaiheessa kalsiumaluminaattisementillä on hyvä käyttää riittävää pitoaikaa 100–150 °C lämpötilassa, veden hallitun poiston varmistamiseksi.⁶

3.4 Hydrattava alumiinioksidi (HA)

Hydrattava alumiinioksidi valmistetaan kalsinoimalla alumiinihydroksidia ($\text{Al}(\text{OH})_3$). Sekoitettaessa veden kanssa hydrattava alumiinioksidi hydratoituu ensin alumiinioksidigeeliksi. Kovettumisen päätteeksi geelin sekaan muodostuu myös kiteistä bayeriittia, mikä nostaa polttamattoman



massan lujuutta. Geelifaasi saattaa myös täyttää rakenteeseen jääneitä huokosia. Kalsiumalumiinaattisementtiin verrattuna hydrattavalla alumiinioksidilla on joitain huonoja puolia, kuten pidempi sekoitus aika ja matalampi vedenläpäisevyys, mikä johtuu hydratoituessa muodostuvan alumiinioksidigeelin huokosia tukkivasta vaikutuksesta. Niinpä HA vaatii pidemmän kuivausajan kuin CAC. Hydrattavan alumiinioksidi lämmityksessä on myös syytä kiinnittää huomiota lämpötila-alueisiin 80–120 °C ja 210–300 °C.¹

Cardoso et al. vertasivat hydrattavan alumiinioksidi ja kalsiumalumiinaattisementin kuivumista. Kalsiumalumiinaattisementti kuivui lämpötilaa nostettaessa nopeammin, ja hydraattifaasien hajoamiseen liittyvät piikit olivat näkyvissä. Hydrattavan alumiinioksidi tapauksessa hydrauspiikit eivät näkyneet yhtä selvästi, mikä tarkoittaa vedenläpäisevyyden vaikuttavan enemmän veden poistumiseen rakenteesta, kuin hydraattifaasien hajoamisen.⁷

3.5 Magnesiumoksidi

Kuten VTT:n raportissa "Selvitys soodakattiloiden keraamisista rakenteista" on esitetty, magnesiumoksidi on kemiallisesti vakaa sideaine mustalipeäympäristössä⁸. Magnesiumoksidin haasteena on sen sijaan halkeamisherkyys kuivatusvaiheessa. Magnesiumoksidi hydratoituu sekoitettaessa veden kanssa nopeasti brusiitiksi ($\text{Mg}(\text{OH})_2$). Tiheys magnesiumoksidin ($\rho = 3.5 \text{ g/cm}^3$) ja brusiitin ($\rho = 2.4 \text{ g/cm}^3$) on melko suuri, mikä aiheuttaa helposti säröytymistä faasimuutoksissa.¹

Raekoolla on merkittävä vaikutus magnesiumoksidin hydratoitumisominaisuuksiin. Liian pieni raekoko johtaa suureen reaktiopinta-alaan ja näin korkeaan hydratoitumisasteeseen, mikä voi aiheuttaa ongelmia veden poistumisessa kuivauksen aikana. Toisaalta raekoko ei voi olla liian suuri, jolloin reaktiopinta-ala on liian pieni.¹ Brusiitti myös hajoaa suhteellisen korkeassa lämpötilassa (380–420 °C)⁹, mikä yhdistettynä matalaan läpäisevyyteen voi johtaa korkeaan höyryn paineeseen materiaalin sisällä ja jopa rakenteen lohkeiluun. Toisaalta läpäisevyyttä parantavien lisäaineiden avulla magnesiumoksidia voitiin lämmittää jopa 20 °C/min ilman rakenteen lohkeilua. Ilman lisäaineita magnesiumoksidi voi lohkeilla jo 5 °C/min nopeudella.¹⁰

3.6 Kolloidinen silika

Kolloidinen silika on tulenkestävä materiaalina nopeasti sekoitettava ja kuivattava. Perinteinen kolloidinen silika muodostaa huokoisen ja hyvin vettä läpäisevän rakenteen, mutta sen polttamattoman rakenteen lujuus on matala. Tutkimuksissa on havaittu, että optimoimalla silikan raekokoa, lopullisen rakenteen lujuutta pystytään parantamaan, läpäisevyyden pysyessä korkealla tasolla.^{1,11}

Kolloidinen silika sideaineena ei muodosta hydroksideja, joten rakenteesta ei erity vettä enää korkeissa yli 200 °C lämpötiloissa. Korkean läpäisevyyden takia vesi pääsee rakenteesta helposti pois, joten kolloidisesta silikasta vesi poistuu nopeasti, kun kiehumisvaihe alkaa 100 °C jälkeen.¹¹

Kolloidisen silikan ja hydrattavan alumiinioksidin sekoituksesta on saatu lupaavia tuloksia tutkimuksissa. Hydrattava alumiinioksidi on läpäisevyydeltään haastava materiaali, mutta sillä on hyvä polttamattoman rakenteen lujuus. Silikan käyttäminen alumiinioksidin kanssa mahdollistaa puolestaan lyhyemmät kuivumisajat kuin pelkällä alumiinioksidilla.¹²



3.7 Mikroaaltoihin perustuva lämmitys

Konventionaaliset massauksien lämmitystekniikat lämmittävät massauksia pinnalta lähtien. Mikroaaltojen etuna keraamisten massojen lämmityksessä on niiden tunkeutuminen syvälle massaukseen ja lämmityksen tapahtuminen koko massauksen tilavuudessa¹. Mikroaaltojen lämmittävä vaikutus perustuu materiaalin kykyyn absorboida energiaa korkeataajuisessa sähkökentässä. Poolisista molekyyleistä muodostuvat materiaalit, joilla on positiiviset ja negatiiviset navat, kuten vesi tai keraamit, alkavat värähdellä korkeataajuisessa sähkökentässä. Värähtely johtaa lämmön tuottoon molekylaarisen kitkan takia^{1,13}.

Taira ja Nakamura tutkivat alumiinioksidi-magnesiumoksidi ja alumiinioksidispinellin käyttöä teräksen valmistuksessa. Heidän testissään käytettiin mikroaaltojen ja kuumailmapuhalluksen yhdistelmää, minkä avulla lämpötilaerot massassa saatiin pysymään vähäisinä.¹⁴

4. Koesuunnitelmaehdotus keraamisten massojen kuivauksen optimointiin

Tavoitteena on selvittää miten kuivausaika vaikuttaa erityyppisten tulenkestävien massojen kestävyteen ja sitä kautta saada tietoa massojen valintaan soodakattilasovelluksiin. Ensimmäisessä vaiheessa keskitytään siihen, miten kuivausaika ja lämpötila vaikuttavat massojen rakenteeseen ja mekaanisiin ominaisuuksiin. Myöhemmässä vaiheessa, ensimmäisen vaiheen tulosten perusteella, tutkimusta voidaan täydentää korkean lämpötilan suolasulakokeilla, jolloin saadaan tietoa massojen kemiallisesta kestävydestä soodakattilan todellisia käyttöolosuhteita vastaavissa lämpötiloissa.

4.1 Materiaalit

Kuivumisaikakokeisiin ehdotetaan valittavaksi neljä erityyppistä materiaalia. Esimerkiksi seuraavat:

- Nykyisin käytössä olevia tampausmassoja edustamaan voitaisiin valita Calde Stix PB 85 C/G, joka on alumiinioksidipohjainen materiaali silikaattiseostuksella.
- Nykyisin käytössä olevia valumassoja edustamaan voitaisiin valita Didoflo_K98_3, joka on matalasementtinen ja jolla on korkea alumiinioksidipitoisuus.
- Vertailumateriaalina voisi olla vedetön Calde Sol Spraycast M 74 A.
- Neljäs potentiaalinen erityyppinen materiaali voisi olla Spincast ASF822. Al_2O_3 -MgO spinellit nousivat esiin edellisessä raportissa⁸ mielenkiintoisina tulevaisuuden materiaaleina.

Lisäksi on mahdollista tutkia esimerkiksi kuitulisäysten tai kiihdyttimen vaikutusta massojen kuivumiseen, jos se katsotaan hyödylliseksi.

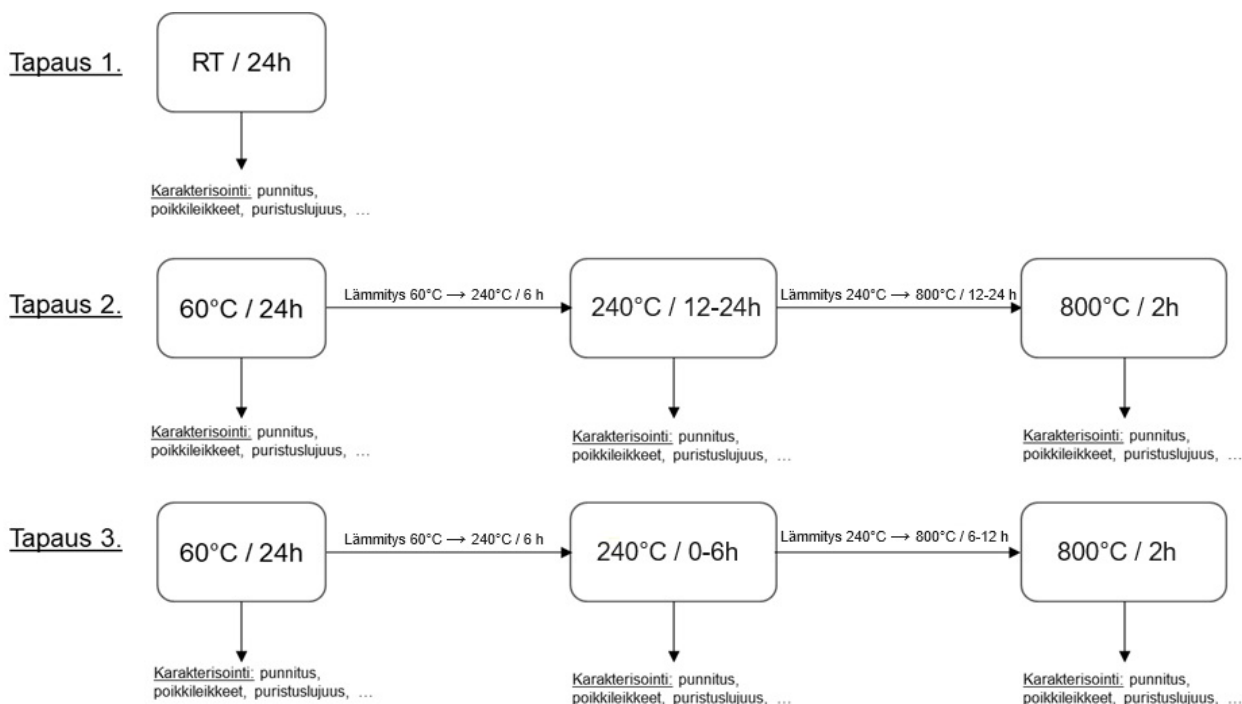
4.2 Koesuunnitelma

Laboratoriokokeissa joudutaan käyttämään pienempiä ja ohuempia massanäytteitä, kuin mitä soodakattilan massaukset ovat. Näytesuunnittelussa hyödynnetään VTT:n aikaisempaa kokemusta keraamisten massojen tutkimuksesta sekä huomioiden massojen valmistajien ohjeistus massauksista.

Kuivumisaikakokeet – Koeparametrit (lämpötilat ja ajat) valitaan haastattelututkimuksesta saatujen tietojen perusteella vastaamaan tyypillisiä soodakattilan operointitilanteita. Kuva 1 näyttää esimerkin kuivumisaikakokeessa käytettävistä prosessiparametreista.

- Tapaus 1: 24h kuivaus huoneenlämpötilassa (massanvalmistajien suosittama minimi kuivumisaika).
- Tapaus 2: Optimi nykytilanne, jossa 24h kuivaus korotetussa lämpötilassa esim. 60 °C vastaten kattilan painekoetilannetta, jonka jälkeen hallittu vaihteittainen ylösajo ja lipeänpoltto aloitus.
- Tapaus 3: Todellinen nykytilanne, jossa optimista joudutaan tinkimään tiukan seisokkai-kataulun takia.

Karakterisointi – Massanäytteet karakterisoidaan joka vaiheessa, jotta saadaan ymmärrys siitä, miten kattilan eri operointitavat vaikuttavat massojen ominaisuuksiin, ja mitkä niistä ovat massojen kestävyys kannalta kriittisimmät. Karakterisoitavia ominaisuuksia ovat näytteiden massan muutokset, mikroskopia poikkileikkeistä ja puristuslujuuden mittaukset.



Kuva 1. Kolmen kuivumiskokeen alustavat suunnitelmat.

5. Johtopäätökset ja yhteenveto

Selvityksessä haastateltiin kahdeksan eri soodakattilan käyttäjiä. Käyttäjiltä kysyttiin heidän käyttämistään tulenkestävistä massauksista eri osissa kattilaa, sekä mahdollisista haasteista massojen suhteen. Lisäksi kysyttiin seisokkikäytännöistä massojen suhteen.

Suurinta osaa massauksista korjataan joka seisokissa. Poikkeuksen tekee esimerkiksi kattilan pohjan ojan massaus, joka on keon alla suojassa lämmöltä ja kulumiselta. Seisokkiväliksi mainittiin tyypillisesti 12–24 kuukautta.



Kaikki käyttäjien mainitsemat massat sisältävät merkittävästi alumiinioksidia, suurin osa yli puolet koostumuksestaan. Merkittävimmät seosaineet alumiinioksidin kanssa ovat silika ja kalsiumoksidi, joita on käytetty useimmissa massoissa. Yksittäisissä massoissa on käytetty seosaineina myös magnesiumoksidia, titaanioksidia, piikarbidia ja fosforipentoksidia. Muutamassa massassa on lähinnä alumiinioksidia.

Massaukset kattiloissa toteuttaa ulkopuolinen urakoitsija. Massaaja määrittää myös yleensä käytettävän massausmateriaalin. Massauksien tekijä antaa myös ohjeet massauksien kuivattamiseen. Massausohjeiden noudattaminen riippuu kuitenkin tilanteesta. Usein soodakattila vaaditaan hyvin nopeasti käyttöön lyhyen seisokin jälkeen. Yleensä massaukset voidaan kuitenkin tehdä seisokin alkuun, jolloin rungon painekokeen aikaa ja korotettua lämpötilaa voidaan hyödyntää massan kuivauksessa, jättäen kuivumisaikaa massalle on yleensä 1–2 vrk. Käytäntöä voidaan pitää hyvänä massauksien kestävyyskannalta. Jollei massauksien pitkä kuivaaminen ole mahdollista, voisi olla hyödyllistä nostaa kuivauslämpötilaa 60 °C lämpötilaan kuivumisen nopeuttamiseksi.

Kattilan alaosa on yläosaa hankalampi massauksien kestävyydelle. Eniten ongelmia mainittiin ilma- ja poltin aukkojen massausten kanssa. Ilma-aukkojen tapauksessa suunniteltua vähäisempi virtaama on saattanut johtaa suunniteltua korkeampaan lämpötilaan ja massan voimakkaaseen kulumiseen.

Tapauksia, joissa massan liiallinen kosteus olisi aiheuttanut varmuudella lohkeamisen mainittiin kahdesti haastatteluissa. Molemmat lohkeamiset tapahtuivat lipeäruiskuaukoilla. Näissä tapauksissa asennusvirhettä pidettiin syynä vaurioon. Toisaalta kattilan käyttäjät eivät välttämättä pystyneet tunnistamaan vauriomekanismeja massauksissa, joita korjattiin joka seisokissa. Joissain tapauksissa lipeän tunkeutuminen tunnistettiin varmasti vauriosyyksi, mutta paikoin myös eroosio voi olla merkittävin massauksen kulumiseen vaikuttava syy.

Kattiloissa, joiden käyttäjät pystyivät seuraamaan muuraajan ohjeita massauksien kuivauksen ja lämmityksen suhteen, massaukset kestivät seisokivälän paremmin kuin kattiloissa, joissa kuivaus- ja lämmitysohjeita ei pystytty noudattamaan.

Kirjallisuuskatsausosiossa tarkasteltiin lyhyesti massauksen kuivumisen vaiheita, sekä vaurioitumistapaa. Eri materiaaleista tarkasteltiin magnesiumoksidia, kolloidista silikaa, kalsiumaluminaattisementtiä ja hydrattavaa alumiinioksidia. Lisäksi tarkasteltiin mikroaaltokuivauksen ominaisuuksia massojen kuivattamisessa.

Kuivumisaikakoetta varten valittiin alustavasti neljä erilaista massaa: Calde Stix PB 85 C/G, Didoflo_K98_3, Calde Sol Spraycast M 74 A ja Spincast ASF822. Suunnitelmana on tehdä näille materiaaleille kolme testiä erilaisilla kuivatusaika ja -lämpötilaprofiileilla, ja näin saada tietoa kuivausajan ja -lämpötilan vaikutuksesta massojen kuivumiseen ja kovettumiseen.

6. Lähdeviitteet

1. Luz, A. P., Moreira, M. H., Braulio, M. A. L., Parr, C. & Pandolfelli, V. C. Drying behavior of dense refractory ceramic castables. Part 1 – General aspects and experimental techniques used to assess water removal. *Ceram Int* **47**, 22246–22268 (2021).
2. Nouri-Khezrabad, M. *et al.* Developing nano-bonded refractory castables with enhanced green mechanical properties. *Ceram Int* **41**, 3051–3057 (2015).
3. Dauti, D., Pont, S. D. & Weber, B. A combined experimental and numerical approach to spalling of high-performance concrete due to fire. (2018).
4. Salomão, R., Isaac, C. S. & Pandolfelli, V. C. Natural fibers as drying additives for refractory castables. *American Ceramic Society Bulletin* **83**, 9201–9205 (2004).



5. Lee, W. E. *et al.* Castable refractory concretes. *International Materials Reviews* **46**, 145–167 (2001).
6. Cardoso, F. A., Innocentini, M. D. M., Akiyoshi, M. M. & Pandolfelli, V. C. Effect of curing time on the properties of CAC bonded refractory castables. *J Eur Ceram Soc* **24**, 2073–2078 (2004).
7. Cardoso, F. A., Innocentini, M. D. M., Miranda, M. F. S., Valenzuela, F. A. O. & Pandolfelli, V. C. Drying behavior of hydratable alumina-bonded refractory castables. *J Eur Ceram Soc* **24**, 797–802 (2004).
8. Söyrinki, S., Pohjanne, P. & Lintunen, P. *Selvitys Soodakattiloiden Keraamisista Raken-teista*. (2022).
9. Wang, J. A. *et al.* Characterizations of the thermal decomposition of brucite prepared by sol–gel technique for synthesis of nanocrystalline MgO. *Mater Lett* **35**, 317–323 (1998).
10. Pinto, V. S. *et al.* Fast drying of high-alumina MgO-bonded refractory castables. *Ceram Int* **46**, 11137–11148 (2020).
11. Ismael, M. R., Salomao, R. & Pandolfelli, V. C. Optimization of the particle size distribu-tion of colloidal silica containing refractory castables. *Interceram. Refractories Manual* 34–39 (2007).
12. Ismael, M. R., Salomão, R. & Pandolfelli, V. C. Refractory castables based on colloidal silica and hydratable alumina. *American Ceramic Society Bulletin* **86**, 58 (2007).
13. Makul, N., Rattanadecho, P. & Agrawal, D. K. Applications of microwave energy in ce-ment and concrete—a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **37**, 715–733 (2014).
14. Taira, H. & Nakamura, H. Microwave drying of monolithic refractories. *SHINNITTETSU GIHO* **388**, 69 (2008).

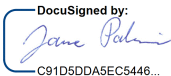
Certificate Of Completion

Envelope Id: AD1B6A750BBD466B93A9A160962B4704	Status: Completed
Subject: Complete with DocuSign: VTT-CR-00034-24	
Source Envelope:	
Document Pages: 16	Signatures: 1
Certificate Pages: 1	Initials: 0
AutoNav: Enabled	Envelope Originator:
Envelopeld Stamping: Enabled	Christina Vähävaara
Time Zone: (UTC+02:00) Helsinki, Kyiv, Riga, Sofia, Tallinn, Vilnius	Tekniikantie 21, Espoo
	.., . P.O Box1000, FI-0204
	Christina.Vahavaara@vtt.fi
	IP Address: 130.188.17.16

Record Tracking

Status: Original	Holder: Christina Vähävaara	Location: DocuSign
11 March 2024 15:51	Christina.Vahavaara@vtt.fi	

Signer Events	Signature	Timestamp
---------------	-----------	-----------

Janne Pakarinen	DocuSigned by:  C91D5DDA5EC5446...	Sent: 11 March 2024 15:53
janne.pakarinen@vtt.fi		Viewed: 11 March 2024 15:55
Research Team Leader		Signed: 11 March 2024 15:56
24.11.2022		
Security Level: Email, Account Authentication (None), Authentication	Signature Adoption: Uploaded Signature Image	
	Using IP Address: 130.188.40.159	

Authentication Details

SMS Auth:
Transaction: 5e968e50-8a53-41b2-a00c-bab839b79d4f
Result: passed
Vendor ID: TeleSign
Type: SMSAuth
Performed: 11 March 2024 | 15:55
Phone: +358 50 4412608

Electronic Record and Signature Disclosure:
Not Offered via DocuSign

In Person Signer Events	Signature	Timestamp
-------------------------	-----------	-----------

Editor Delivery Events	Status	Timestamp
------------------------	--------	-----------

Agent Delivery Events	Status	Timestamp
-----------------------	--------	-----------

Intermediary Delivery Events	Status	Timestamp
------------------------------	--------	-----------

Certified Delivery Events	Status	Timestamp
---------------------------	--------	-----------

Carbon Copy Events	Status	Timestamp
--------------------	--------	-----------

Witness Events	Signature	Timestamp
----------------	-----------	-----------

Notary Events	Signature	Timestamp
---------------	-----------	-----------

Envelope Summary Events	Status	Timestamps
-------------------------	--------	------------

Envelope Sent	Hashed/Encrypted	11 March 2024 15:53
Certified Delivered	Security Checked	11 March 2024 15:55
Signing Complete	Security Checked	11 March 2024 15:56
Completed	Security Checked	11 March 2024 15:56

Payment Events	Status	Timestamps
----------------	--------	------------

SUOMEN SOODAKATTILAYHDISTYS RY, RAPORTTISARJA

- 1/2023 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Konemestaripäivä 9.2.2023, esitelmät
Sokos hotelli Seurahuone, Kotka, MM Kotkamills
(16A0913-E0222) 9.2.2023
- 2/2023 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattila-alan yhteistoiminta
Toimintakertomus 2022
(16A0913-E0223) 20.4.2023
- 3/2023 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Kattilalaitoksen sähkötekniset turvajärjestelmät
Riku Kilpivuori ja Otto Laakkonen
Savonia Ammattikorkeakoulu
(16A0913-E0224) 4.5.2023
- 4/2023 Finnish Recovery Boiler Committee
Recommendation for glad welding penetration of wall and floor composite tubes in black liquor
recovery boiler furnace
Andritz Oy, Inspecta Tarkastus Oy, Replico Oy, Valmet Technologies Oy, Durability sub-committee
(16A0913-E0225) 8.6.2023
- 5/2023 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Viherlipesakan POP-yhdistetutkimus
Ympäristötyöryhmä
(16A0913-E0226) 19.6.2023
- 6/2023 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Towards carbon-negative future of the pulp and paper industry
Kasper Heikkilä, LUT-yliopisto
(16A0913-E0227) 19.6.2023
- 7/2023 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Tulistimien maksimipintalämpötilalisan muutos kattilan koon funktiona
Tulistinprojekti Osat I & II
Jussi Saari, Esa Vakkilainen, LUT-yliopisto
(16A0913-E0228) 19.6.2023
- 8/2023 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattilapäivä 2.11.2023
Helsinki Congress Paasitorni
(16A0913-E0229) 2.11.2023
- 9/2023 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattilan tuhkan suolojen erotus ja hyötykäyttömahdollisuudet
Jenna Ylimäki, Oulun yliopisto, Prosessitekniiikan tutkinto-ohjelma
(16A0913-E0230) 22.12.2023
- 10/2023 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Polttolipeän jatkuvatoimisten mittalaitteiden luotettavuus
Tuuliina Petrelius, Jyväskylän ammattikorkeakoulu, Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
(16A0913-E0231) 22.12.2023
- 11/2023 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Järjestelmien välinen tiedonsiirto soodakattilalla – esimerkkinä OPC UA
Jan Lehmusvirta, Tampereen ammattikorkeakoulu, Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
(16A0913-E0232) 22.12.2023

SUOMEN SOODAKATTILAYHDISTYS RY, RAPORTTISARJA

- 1/2024 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Konemestaripäivä 25.1.2024, esitelmät
Hotelli Oscar Varkaus / Stora Enso Oyj, Varkauden tehdas
(16A0913-E0233) 25.1.2024
- 2/2024 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattila-alan yhteistoiminta
Toimintakertomus 2023
(16A0913-E0234) 18.4.2024
- 3/2024 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Selvitys soodakattiloiden tulenkestävien massausten kuivumisajoista
Verner Nurmi, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
(16A0913-E0235) 15.4.2024