

LIITE 1
Tuntiseuranta, kassavirta

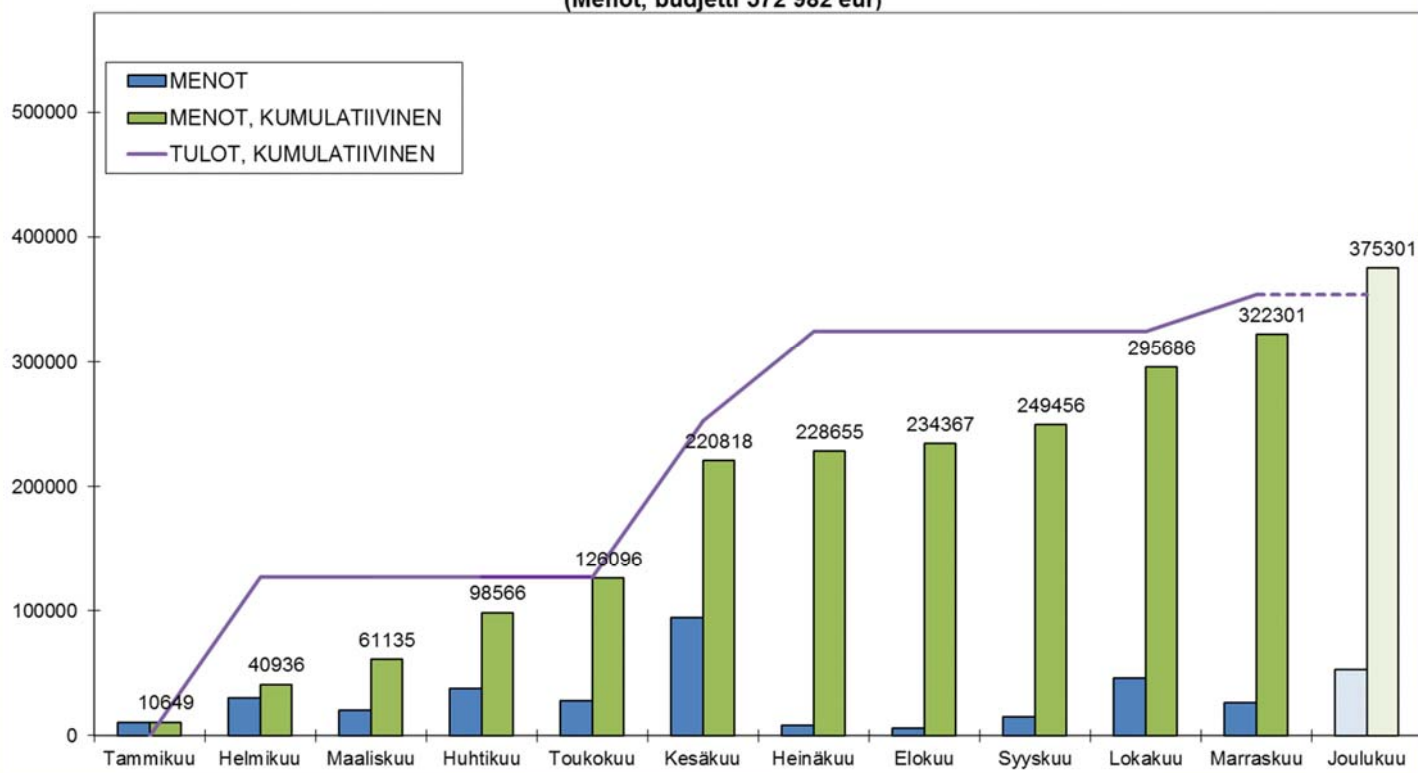


Talousasiat



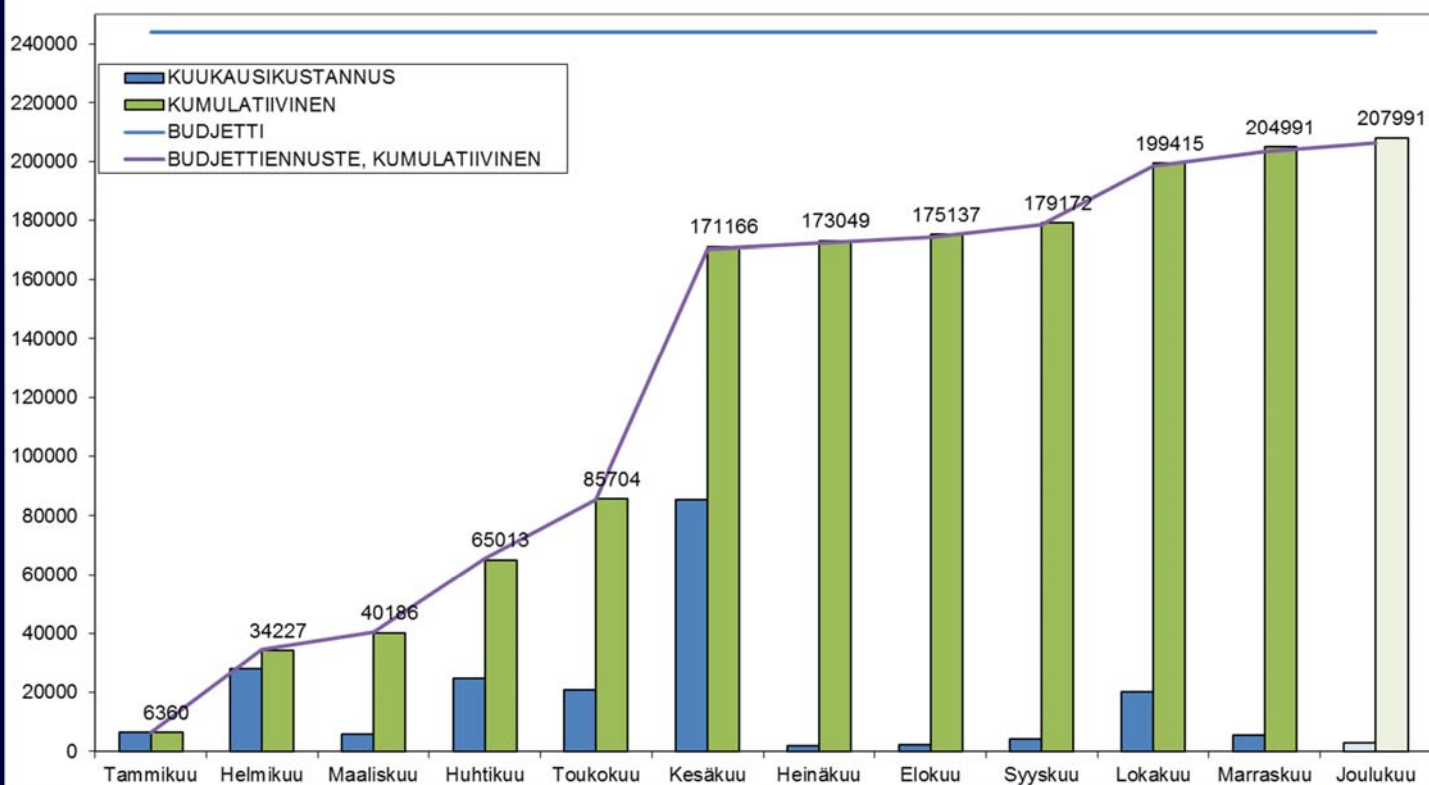
Taloustilanne

Tulot vs. Menot v. 2014 (Tulot, budjetti 404 753 eur) (Menot, budjetti 572 982 eur)

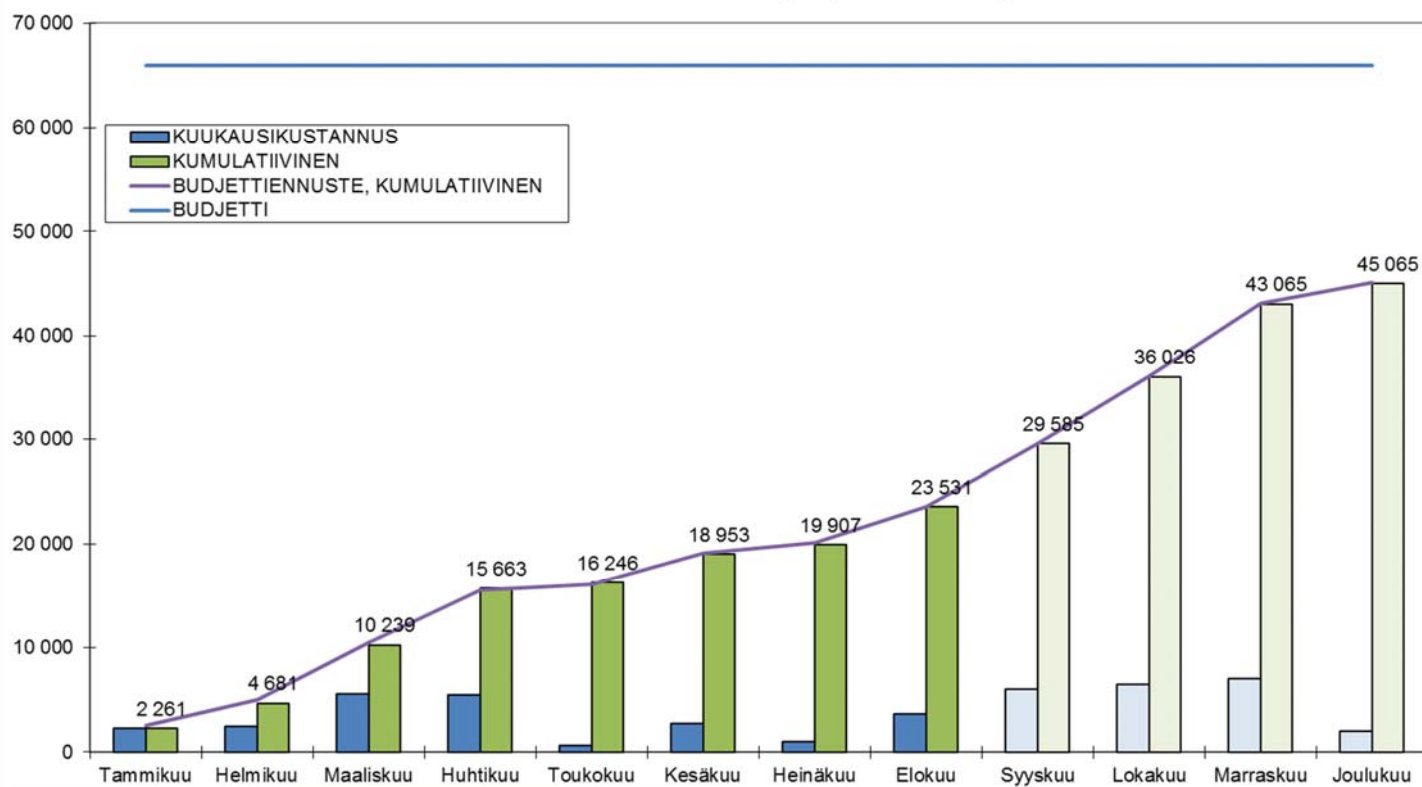


3

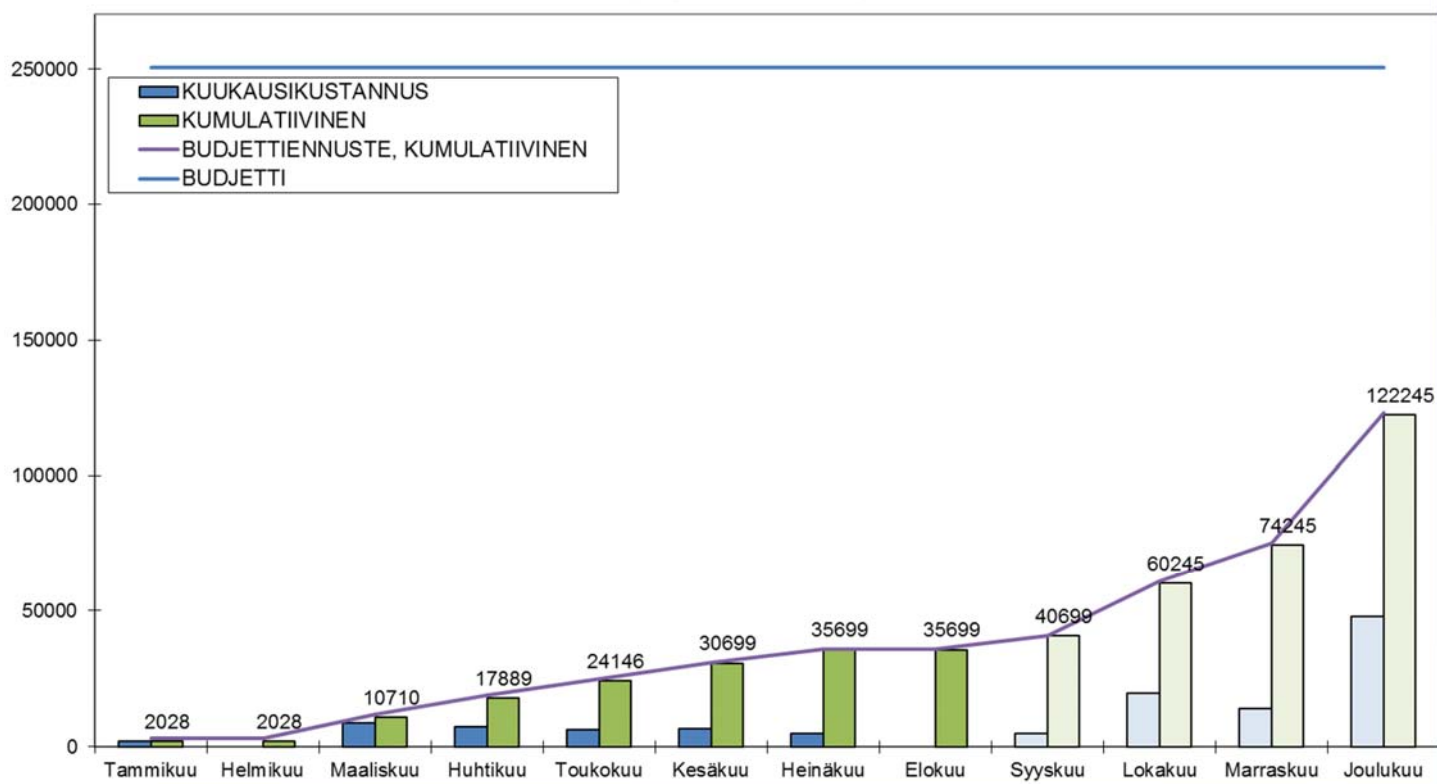
Varsinainen toiminta (seminaarit, talous, vuosikokous) kustannuskehitys v. 2014 (budjetti 244 232 eur)



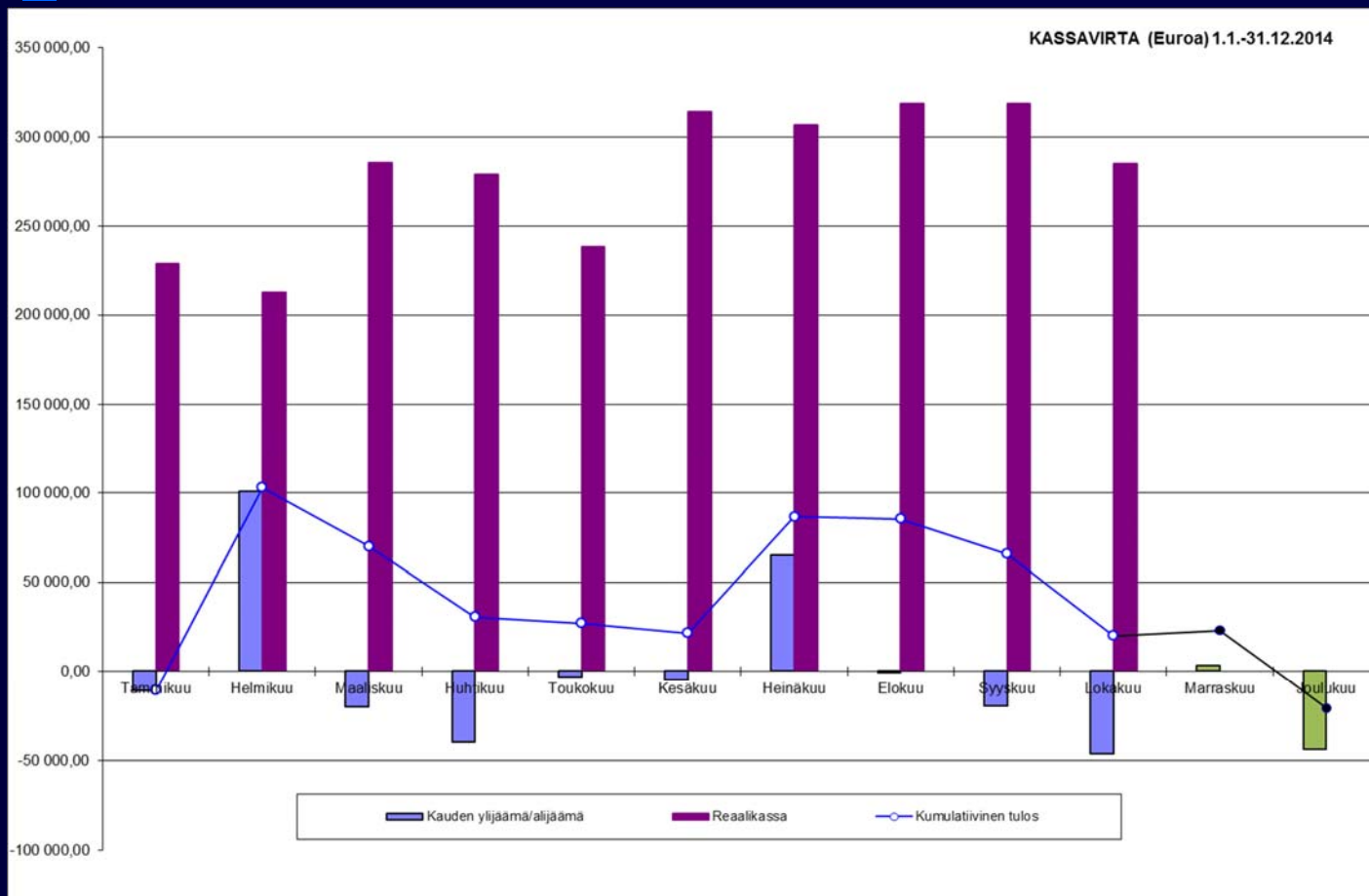
Jatkuvaluonteiset tehtävät (sihteeristö, työryhmät) kustannuskehitys v. 2014
(budjetti 66 000 eur)



Projektit kustannuskehitys v. 2014
(budjetti 250 750 eur)



Kestoisuustyöryhmän tehtäväalue (5700)	Toteutunut	Ennuste	Budjetti
Suojaussuosituksen päivitys	780	780	5 000
TOC-mittaukset MF Kemi	0	0	5 000
Kestoisuustyöryhmän tehtäväalue yhteensä	780	780	10 000
Lipeätyöryhmän tehtäväalue (5710)			
Mustalipeän Ei-newtonilaisuus ja pisaroituminen (Labtium/Aalto)	28 000	46 000	46 000
CFD Modeling of Reduced Lignin Black Liquor Combustion (ÅA)	0	15 000	15 000
Understanding Low Temperature Corrosion in Black Liquor Combustion (ÅA)	0	15 000	15 000
Lipeätyöryhmän tehtäväalue yhteensä	28 000	76 000	76 000
Ympäristötyöryhmän tehtäväalue (5720)			
Hajukaassuosituksen päivitys (ATR/YTR:n kanssa)	6 710	6 710	5 000
Soodakattilan käynnistyksen, alasajon ja häiriöiden määrittely	0	0	15 000
Ympäristötyöryhmän tehtäväalue yhteensä	6 710	6 710	20 000
Automaatiotyöryhmän tehtäväalue (5730)			
Automaatiotyöryhmän tehtäväalue yhteensä	0	0	0
Muut projektit			
SKY-historiikki	38 755	38 755	80 000
Nettisivujen uusinta + siirto	0	0	15 000
Muut projektit yhteensä	38 755	38 755	95 000
Projektiehdotukset (varaus)			
Ääninuohous (KTR)	0	0	10 000
Black Liquor Evaporation Book (LTR)	0	0	14 750
Soodakattilan NOx-päästön riippuvuus puuraaka-aineen typpipitoisuudesta (YTR)	0	0	15 000
Kustannustehokkain tapa poistaa ammoniakia talteenottokierrosta (YTR)	0	0	10 000
Muut projektiehdotukset (varaus)	0	0	0
Projektiehdotukset yhteensä	0	0	49 750
Työryhmien projektit yhteensä	74 245	122 245	250 750



Saamiset 1.12.2014

- 2061,85 eur, Stora Enso Varkaus jäsenmaksu 2014, erä 2

Jäsenmaksun 3.erä periminen

- Hallitus päättää vuoden viimeisessä kokouksessa 3. jäsenmaksu erän perimisestä (15%, 30 300 eur) jos näkee sille tarvetta
- Yhdistyksen tarkoitus ei ole tehdä voittoa -> edellisten vuosien käyttämättä jääneet jäsenmaksut on siirretty 50-vuotisjuhlien mahdollista tappiota varten (195 507 euroa)
- 50-vuotisjuhlien tappio vuodelta 2014: 6237 eur
 - tulot 125 805 eur
 - menot 132 042 eur
- Ennusteen mukaan tappio vuodelta 2014 on 20 000 eur
- 3. jäsenmaksu erää ei tarvitse periä.

LIITE 2
Jäsenistön palaute Soodakattilapäiviltä 2014

MISSÄ ASIOISSA YHDISTYS ON ONNISTUNUT?

Yhteistyö

- Luomaan yhteyden yli yritysrajojen kehittämään yhteistä kattilamaailmaa
- Tuomaan soodakattilaihmiset yhteen
- Alan asiantuntijoiden ja käyttökunnan saattaminen yhteen, yhteenkuuluvuuden lisääminen
- Tiivis ryhmä niiden kesken, jotka osallistuvat
- Selluklusterin ylläpidossa: aikaisempaa suurempi osa ko. toiminnasta on Suomessa
- Yhdistänyt alan osaajia
- Yhdistys on onnistunut luomaan yhteisen keskusteluareenan, jossa kaikki alan keskeiset toimijat ovat mukana
- Kokoaan yhteen alan asiantuntijoita ja näin mahdollistaa paremmin verkostoitua
- Luomaan hyvän yhteishengen eri toimittajien kesken ja avoimen foorumin
- Yhteydenpito eri tehtaiden välillä
- Eri yhtiöiden ja tehtaiden välisen yhteistyön ja kokemusten vaihdon lisääminen
- Yhdistämään kaikki alan ihmiset (tekijät) jakamaan tietoa
- Yhteistyö eri toimijoiden (tehtaat, laitetoimittajat, valmistajat, tutkimus jne) kesken on aina ollut hyvää
- Tapahtumien järjestelyt toimivat loistavasti, kiitoksia sihteeristölle
- Kokemusten ja tietojen levittämisessä tehtaiden välillä
- Aidon ammattilpeiden ylläpito
- Vahvan kollegaverkoston ylläpito
- Yhdistää ihmisiä, käyttäjät, laitetoimittajat
- Suomen soodakattiloiden yhteistyössä, tutkimuksessa ja turvallisuudessa.
- Yhdistämään soodakattilaosaaajat
- Yhteishengen luominen
- Verkostoitumisessa
- Avointa keskustelua soodakattiloiden rakenne ongelmista
- On pystynyt luomaan toimintaa, joka vuodesta toiseen jaksaa kiinnostaa niin käyttäjiä kuin yhteistyötahoja
- Tiedonvaihto (mm turvallisuus, materiaalit), verkostautuminen

Tiedottaminen

- Erikoiskysymyksien selvittelyssä
- Tiedonkulussa, kun jotain on tapahtunut, niin tutkitaan ja annetaan lausunto
- Tietojen levittämisessä
- Tiedonjaon kehittämisessä yritysten ja konsernien rajojen ylitse
- Materiaalin saatavuus yhdistyksen sivuilta on hyvä
- Uudet tiedot / ideat tietoisuuteen

Turvallisuus

- Vaurioiden vähentämisessä: 28 vuotoa 1994, nyt 10
- Turvallisuuden kehittäminen
- Turvallisuuskulttuurin vaaliminen ja aito yhdessä oppiminen
- Yhteistyö soodakattilan turvallisuuden suhteen

Tutkimusprojektit, raportit, suositukset

- Suosituksissa
- Ajankohtaiset tutkimusprojektit ovat hyödyllisiä
- Tutkimustyössä
- Hyviä tutkimuksia, joiden tulosten hyödyntäminen kaikille jäsenille avointa
- Erilaiset julkaisut (hajukaasusuositus)
- Tutkimusohjelmissa ja Soodakattilapäivissä
- Vaurioraporttien yhteenvedot
- Laadukkaita julkaisuja
- Yhteisten toimintamallien / turvasuositusten luominen
- Vaurioraportointi, suositukset
- Omat Suomeen sopivat suositukset
- Tehdyt suositukset auttavat/ohjaavat toimintaa
- Tutkimukset lisäävät ymmärrystä ja vievät käyttäjille tärkeitä asioita eteenpäin
- Suositusten aikaansaamisessa
- Vaurioraportointi
- Kokonaisvaltainen regenerointi- ja energiaprosessien kehittäminen ensimmäiset 30 vuotta. Sen jälkeen "hyvien asioiden" vakiinnuttaminen
- Materiaali- ja korroosiotutkimukset
- Soodakattilan käyttöön ja rakenteisiin vaikuttavien asioiden käsittely ja tutkinta
- Hyvä sihteeristö saa aikaan monipuolista tutkimusta

Seminaarit, koulutus, tapaamiset

- Tapaamisfoorumina
- Houkuttelemaan ihmisiä Soodakattila- ja Konemestaripäiville
- Soodakattilapäivät ja ICRC 2014 hienoja!
- Vuosittainen Soodakattilapäivä
- Soodakattilapäivä kerran vuodessa päivällisineen on hyvä
- Soodakattilapäivien järjestämisessä
- Hyvä tapahtumajärjestäjä (ICRC, Soodakattilapäivä)
- Seminaarit, aktiivisuus
- Yhteydenpito, seminaarit
- Soodakattila- ja Konemestaripäivät ovat onnistuneita tapahtumia
- Tapahtumien järjestäminen, ICRC, Soodakattilapäivät
- Konemestari- ja Soodakattilapäivien järjestämisessä
- Kattilapäivien järjestäminen
- Hyvät päivät (Soodakattila- ja Konemestari)
- ICRC2014 / 50 v juhlat, Konemestari- ja Soodakattilapäivät
- ICRC
- Energiamessejen yhteydessä Soodakattilapäivät hyvä asia
- Säännölliset kokouspäivät

MISSÄ ASIOISSA OLISI PARANTAMISEN VARAA?

Yhteistyö

- Yhteistyön tiivistäminen eri työryhmien välillä "poikkitieteellisesti"
- Kattiloiden ulkopuolella olevien henkilöpiirin yhteistyötä olisi laajennettava

Tiedottaminen

- Tehdyistä tutkimuksista ja raporteista voisi tiedottaa sähköpostilla esim puolivuositain
- Tiedotustoiminta
- Mahdollisuus sähköiseen "keskusteluun"
- Tulosten tiedottamisessa yhteisölle
- Julkaisujen julkaisunopeus
- Soodakattilapäivillä olisi hyvä kuulla, mitä työryhmien toiminnassa on tapahtunut vuoden aikana, lyhyt yhteenveto
- Raporttien julkaisunopeus

Vauriotietokanta

- Vaurioiden analysoinnissa
- Lisää tarkkuutta onnettomuusraportointiin
- Vaurioraportoinnin tietokanta

Tutkimusprojektit, raportit, suositukset

- Mustalipeän koostumus korroosio mielessä
- Kattiloiden tarkastusmenetelmien suositus ja laajuus
- Raportointien tarkentaminen eli tapahtumien tarkemmat analysoinnit
- Vesikemian keskustelua
- Uudet tutkimukset, uusia kehitysideoita löydettävä soodakattiloille
- Ruotsin mallin mukaisesti suositusten päivitys esim. 3 vuoden välein
- Materiaaliohje parempi
- Ainakin materiaaliasioita koskevat ohjeet ei ole hyviä, asiantuntemus puuttuu...
- Tilastollista seuranta parannettava

Aktivointi/verkostoituminen ja markkinointi

- Tuoda alaa näkyvämmiin esille
- Tehtaiden edustajien mukaan saamista lisättävä
- Lisää naisia alalle
- Tehtaiden osallitujen aktivoinnissa
- Soodakattiloiden osallistumisprosentti konemestari/soodakattilapäivillä
- Markkinoida toimintaa ja tuloksia, joilla on ollut selvästi positiivisia vaikutuksia & välttytty toisen kokemusten avulla omat vauriot ennen aikaisella tarkastuksella
- Verkostoituminen eri maiden vaurioyhdysinstanssien kanssa voisi olla parempaa.
Esim Itävallan viimeisimmästä, erittäin suuresta kattilavauriosta ei ole tietoa, vaikka tapahtumasta on jo aikaa
- Teollisuuden aktiivisempi osallistuminen työryhmien toimintaan
- Lisää aktiivisuutta, konkreettisuutta, tavoitteellisuutta
- Työryhmien aktiivisuus
- Enemmän yrityksiä osallistumaan (=jäseneksi) ja hyödyntämään yhteistyötä

Toiminnan nykyaikaistaminen

- Toiminta etääntynyt "tehtailta", pitäisi miettiä paluuta aikaisempaan
- Kotisivut kaipaisivat ehkä jo vähän päivitystä
- Ei saa elää menneessä -> vahvempi suuntaus tulevaisuuden tarpeisiin
- Samat aiheet pyörivät vuodesta toiseen

Seminaarit, koulutus, tapaamiset

- Työryhmien vetämät tilaisuudet tehtaille
- Tutustumiskäyntien järjestäminen
- Olisiko kattiloiden ajajille/kiertäjille koulutus/vertaistukipäivää toteutettavissa?
- Vielä enemmän käytännön aiheisiin liittyvät toimet, esim. operaattoreille koulutusta/kokemusten vaihtoa
- Käytännön läheisyyttä ja esimerkkejä, tähän tosin konemestaripäivät kohdistuvat hyvin

MITÄ AIHEPIIRIÄ YHDISTYKSEN TULISI JATKOSSA ERITYISESTI KEHITTÄÄ?

Tulipesä

- Tulipesän ja keittopinnan vuotoja on edelleen, taajuudessa ei merkittävää laskua-> riskit eivät ole poistuneet tai edes laskeneet merkittävästi->selvitettävä a. höyrystinvuotojen perussyt b. miten vuodot estetään
- Soodakattilan tulipesän tapahtumat
- Tulipesän pohjan puhdistus tarkastusta varten

Sularännit

- Sularännien ongelmat
- Sularännien keston parannus jäähdytys/materiaali
- Sularännit ja niiden tarkastus

Talteenotto

- Talteenottokierron kiinteän jätteen vähentäminen esim. osittain poltetun kalkin palautus prosessiin
- Miten mustalipeä ja sen poltto/kemikaalien talteenotto muuttuu, kun uusia biorefinery prosesseja liitetään sellutehtaaseen

Ligniini

- Ligniinin talteenotto laajemmin ymmärrettynä (vaikutukset, tehtaalla, käyttömahdollisuudet, markkinat jne.)
- Ligniinin poiston vaikutuksia haihduttamo -> soodakattila -> valkolipeälaitos
- Ligniiniköyhän lipeän vaikutus haihdutukseen ja polttoon

Hajukaasut

- Hajukaasujen käsittelyä (tämä olikin päivitetty)
- Hajukaasukattilan tukkeutumisen aiheuttajat
- Käytännönläheinen tsekkilista hajuhaittojen minimoimiseksi

Vesikemia, kemikaalit

- Vesikemia
- Mitä tapahtuu vesikemialle, kun T ja P oleellisesti nousevat?

Materiaalit

- Parempaa infoa nykysuuntausten mukaisista soodakattilaratkaisusta, materiaalisuuntauksista ja komponenttien valmistustavoista
- Edelleen pitäisi tutkia pitkien ajanjaksojen esim 2 vuotta edellyttämiä materiaaliratkaisuja (jos niitä on)
- Materiaalit, sähköntuotannon tehostaminen, tutkimustulosten hyödynnettävyys

Puhdistus, nuohous

- Kattiloiden puhdistustarpeet ja puhdistuksen toteutus
- Pölynhallinta kattilalla ja meesauunilla
- Käyttökustannusten vähentäminen, esim nuohoushöyryn määrää vähentämällä

Tuotteet

- Soodakattila osana kemikaalikiertoa: jokaisen osaprosessin tuote = seuraavan osaprosessin raaka-aine
- Mitä uusia tuotteita sellunkeitosta saadaan ja miten?

Turvallisuus ja koulutus

- Operoinnin muutokset/haasteet vs ennen
- Turvallisuuteen liittyvien asioiden esiintuominen
- Ottaa kantaa ja selvittää vanhojen määräysten järkevyyttä esim. höyrykäyttöisten syve-pumppujen tarve
- Käytönvalvojien, kunnossapidosta vastaavien työkentät laajentuneet -> pitääkö ottaa toiminnassa huomioon?
- Tehtaille tehtyjä investointeja/parannuksia voisi presentoida Soodakattila- ja Konemestaripäivillä
- Yhteisvierailuja myös eri jäsenille, laitetoimittajille ulkomaisten organisaatioiden kanssa
- Koota varoittavia/opettavia esimerkkejä
- Kansainvälinen yhteistyö
- Koulutuspaketti operaattoreille
- Kansainvälisten suhteiden ja yhteistyön kehittäminen
- Laatuvaatimukset
- Myös käyttäjien / laitosten palautetta
- Kaustisointiryhmä, sellunkeitonryhmä?
- Päästömittausrakennusten toimivuussuositukset

Kunnossapito

- Toimitusrajapintoja
- Vaurioraporttien läpikäynti yleisellä tasolla
- Pitkät ajoajat/seisokkityöt
- Pitkien ajoaikojen haasteita
- Pidentyvät ajoajat, pidentyvät seisokkiajat
- Haihduttamon tukkeutuminen ja miten selvittää pitkistä ajoajoista?
- Kunnossapidolliset asiat seisokkivälien pidentyessä

Sekalaista??

- Haihduttamon, kaustisoinnin ja meesauunin prosessien tutkimus
- Keon hallinta
- Ilmajärjestelmän, keon ja reduktion vuorovaikutukset soodakattilassa, vertailua eri soodakattiloissa
- Lipeän pisarakoon säätö ja monitorointi
- Na/S taseen hallintamahdollisuudet
- Liuotinsäiliön tase (energia, lämpötila, hönkämäärät, kemikaalitase)
- Sellutehdas->biojalostamo muutos (miten etenee, mitä se vaatiiin recoverilta)
- Kattilan dynamiikka
- Kattilan käyttäytyminen ja polttoaine

LIITE 3
Budjettisuunnitelma 2015

Budjettisuunitelma 2015

	Toteuma vuodelle 2 013	Budjetti vuodelle 2013	Toteuma Vuodelle 2014	Budjetti vuodelle 2014	Budjetti- suunnitelma 2015
TULOT					
Jäsenmaksut ja muu säännöllinen tuki					
Kattilan käyttäjät	110 500	130 000	110 500	130 000	130 000
Kattilan valmistajat	24 650	29 000	24 650	29 000	29 000
If Vahinkovakuutus	5 950	7 000	5 950	7 000	7 000
Pohjola	3 825	4 500	3 825	4 500	4 500
YIT	7 650	9 000	7 650	9 000	9 000
Pöyry Finland	7 650	9 000	7 650	9 000	9 000
Labtium	3 825	4 500	3 825	4 500	4 500
Inspecta	7 650	9 000	7 650	9 000	9 000
Ulkojäsenet	3 600	3 600	3 600	3 600	3 600
Yhteensä	175 300	205 600	175 300	205 600	205 600
Ennakkojäsenmaksut					
		0		0	0
Kokousten osallistumismaksut					
Konemestaripäivä	25 115	25 000	23 725	25 000	25 000
Soodakattilapäivä	34 920	35 000	29 790	35 000	35 000
Yhteensä	60 035	60 000	53 515	60 000	60 000
Ulkopuolinen rahoitus					
Ulkopuolinen rahoitus yhteensä	0	0	0	0	0
Korkotuotot					
	2 382	1 500	?	1 500	1 500
TULOT YHTEENSÄ	237 717	267 100	228 815	267 100	267 100

Budjettisuunitelma 2015

	Toteuma vuodelle 2 013	Budjetti vuodelle 2013	Toteuma Vuodelle 2014	Budjetti vuodelle 2014	Budjetti- suunnitelma 2015
MENOT					
VARSINAINEN TOIMINTA					
Seminaarikulut					
Konemestaripäivä	21 093	25 000	25 664	25 000	25 000
Soodakattilapäivä	28 567	35 000	25 337	35 000	35 000
Seminaarikulut yhteensä	49 660	60 000	51 001	60 000	60 000
MUU VARSINAINEN TOIMINTA					
Taloushallinto	11 778	14 000	4 148	8 000	6 000
Vuosikokous	10 601	15 000	9 218	12 000	12 000
Pankin palvelumaksut	145	200	140	150	150
Opinnäytetyöapuraha	2 000	2 000	2000	2 000	2 000
Kotisivun ylläpito	156	2 000	1 394	1 000	1 000
Muut ostokulut	188	2 000	571	500	500
MUU VARSINAINEN TOIMINTA YHTEENSÄ	25 180	35 200	19 430	23 650	23 650
VARSINAINEN TOIMINTA YHTEENSÄ	94 978	115 200	79 431	83 650	81 650



Budjettisuunnitelma 2015

	Toteuma vuodelle 2 013	Budjetti vuodelle 2013	Toteuma vuodelle 2014	Budjetti vuodelle 2014	Budjetti- suunnitelma 2015
JATKUVALUONTEISET TEHTÄVÄT					
Sihteeristötyö					
Sihteeristön työ	19 838	25 000	20 881	22 000	22 000
Kansainvälinen toiminta	7 657	10 000	2 340	8 000	6 000
Sihteeristötyö yhteensä	22 726	35 000	23 221	30 000	28 000
Hallitus ja työryhmät					
Hallitus	6 241	8 000	6 998	8 000	8 000
Kestoisuustyöryhmä	3 510	6 000	3 354	6 000	6 000
Vaurioraportointi	702	1 000	702	1 000	1 000
Lipeätyöryhmä	1 404	6 000	3 432	6 000	6 000
Ympäristötyöryhmä	5 945	6 000	2 184	6 000	6 000
Automaatiotyöryhmä	2 033	6 000	1 805	6 000	6 000
Ohjelmatyöryhmä	1 784	3 000	1 369	3 000	3 000
Hallitus ja työryhmät yhteensä	21 619	36 000	19 884	36 000	36 000
JATKUVALUONTEISET TEHTÄVÄT YHTEENSÄ	49 114	71 000	43 065	66 000	64 000
VARSINAINEN + JATKUVA TOIMINTA	144 055	186 200	122 496	149 650	145 650



Budjettisuunnitelma 2015

PROJEKTIT	
Kestoisuustyöryhmän tehtäväalue	
Suojaussuosituksen päivitys	2 000
Ääninuohous	0
Kestoisuustyöryhmä yhteensä	2 000
Lipeätyöryhmän tehtäväalue	
Black Liquor Evaporation Book (Åbo Akademi)	14 750
Single Droplet Combustion and Single Particle Modeling of Reduced Lignin Black Liquor	15 000
Understanding Low Temperature Corrosion in Black Liquor Combustion, part 2	0
Lipeätyöryhmä yhteensä	29 750
Ympäristötyöryhmän tehtäväalue	
Soodakattilan käynnistyksen, alasajon ja häiriöiden määrittely	0
Ilmapäästöjen tunti- ja päiväkeskiarvo selvitys	0
POPE, jatkotutkimus	0
Ympäristötyöryhmä yhteensä	0
Automaatiotyöryhmän tehtäväalue	
Soodakattilan päästömittausten menetelmät (2007) raportin päivitys	0
Valvomohälytykset	0
Automaatiotyöryhmä yhteensä	0
Ohjelmatyöryhmän tehtäväalue	
-	0
Ohjelmatyöryhmä yhteensä	0
Muut projektit	
SKY historiikki	41 245
Nettisivujen uusinta + siirto	15 000
Muut projektit yhteensä	56 245
YHTEENSÄ	87 995



Budjetti 2014-2016 (5/5)

	Toteuma Vuodelle 2013	Budjetti Vuodelle 2013	Toteuma vuodelle 2014	Budjetti vuodelle 2014	Budjetti Suunnitelma 2015
TYÖRYHMIEN PROJEKTIT	59 505	144 233	83 490	155 750	31 750
MUUT PROJEKTIT			38 755	95 000	56 245
PROJEKTIT YHTEENSÄ	59 505	144 233	122 245	250 750	87 995
MENOT YHTEENSÄ	203 606	330 433	244 741	400 400	233 645
TULOS					
Tulot	237 717	267 100	228 815	267 100	267 100
Menot	203 606	330 433	244 741	400 400	233 645
Tilikauden yli/alijäämä	34 110	-63 333	-15 926	-133 300	33 455
Tuleville vuosille kerätyt jäsenmaksutulot					175 507
Projekteihin käytettävissä					208 962

LIITE 4
Soodakattilapäivien 2014 palaute



Soodakattilapäivä 30.10.2014

Palaute



Palaute

- *Ilmoittautuneita*
 - 80
- *Palautettuja lomakkeita yhteensä*
 - 40 kpl
- *Vastausprosentti 50 %*

Kuinka arvioisit luennoitsijaa ja esityksen sisältöä?

Asteikko 1-5

Nikolai DeMartini, CFD modeling of reduced lignin black liquor combustion	3,6
Ari Kankkunen ja Mika Järvinen, Mustalipeän viskositeetin ja reologian merkitys soodakattilan toiminnassa	3,6
Eevi Smolander, Tavoitteena hajuton sulfaattisellutehdas	4,0
Petri Pynnönen, Safety aspects in large high energy recovery boilers	3,7
Timo Oja, Viherlipeälinjan kerrostumanesto	3,3
Risto Valkeapää, Suomen Soodakattilayhdistyksen historiikki	3,2
Kajsa Fougner, Sodahuskommittén – Ruotsalais-norjalainen soodakattilakomitea vuosikatsaus 2013	3,4
Markus Nieminen, Suomen, Pohjois-Amerikan ja Brasilian soodakattilayhdistyksien kuulumiset	3,6
Antti Kokkonen, opinnäytetyöpalkinnon esittely: "Influence of kraft recovery boiler's main control parameters on reduction degree"	4,2

Mielipiteesi tilaisuuden muista järjestelyistä

Asteikko 1-5

	Keskiarvo
Salijärjestelyt (pöytäjärjestys, kuuluvuus, näkyvyys)	3,8
Ilmoittautumis- ja vastaanottopalvelut	4,5
Tilat	3,9
Tarjoilut	4,2
Yleisvaikutelma tilaisuudesta	4,2

Toivottuja luentoaiheita

- Polton hallinta / säätö
- Soodakattilan ja haihduttamon yhteiskäyttö ja sen tuomat haasteet
- Soodakattilan säädöt, ylätaso
- Kunnossapito
- Suunnittelun probleemat
- Pölynhallinta meesauunilla
- Suovan laadunhallinta (suupauskäytännöt)
- Soodakattilayhdistyksen piiriin myös muut talteenoton yksiköt, vanhojen haihduttamojen laajennus yms.
- NPE ja niiden vaikutukset soodakattilalalla ja talteenotossa
- Soodakattilan tulipesän tapahtumat
- Lipeän pisarakoon säätö ja monitorointi

Muuta palautetta

- Salin pylvää edessä, kun näytettiin asioita
- Salin pilarit näköeste
- Pylväät tilan keskellä hankaloittivat hieman esitysten seuraamista
- Soodakattilayhdistyksen ATR voisi järjestää tapaamistilaisuuden yritysten automaatio- ja prosessiosaajien kesken/vuosi
- Soodakattilayhdistyksen aihepiirin voisi laajentaa muihin talteenoton osastoihin
- Saisiko paketin halvemmalla, jos pullia ja kahvileipiä olisi vähemmän
- Osallistujat alkavat olla etupäässä toimittajia?

LIITE 5

LTR: Syöttövesipumppujen säätö, LTY – yhteenveto 1.12.2014



Open your mind. LUT.
Lappeenranta University of Technology



Open your mind. LUT.
Lappeenranta University of Technology

Syöttövesipumppujen optimaalinen valinta

Lappeenranta University of Technology
Prof. Esa Vakkilainen

Tarkasteltavat tapaukset

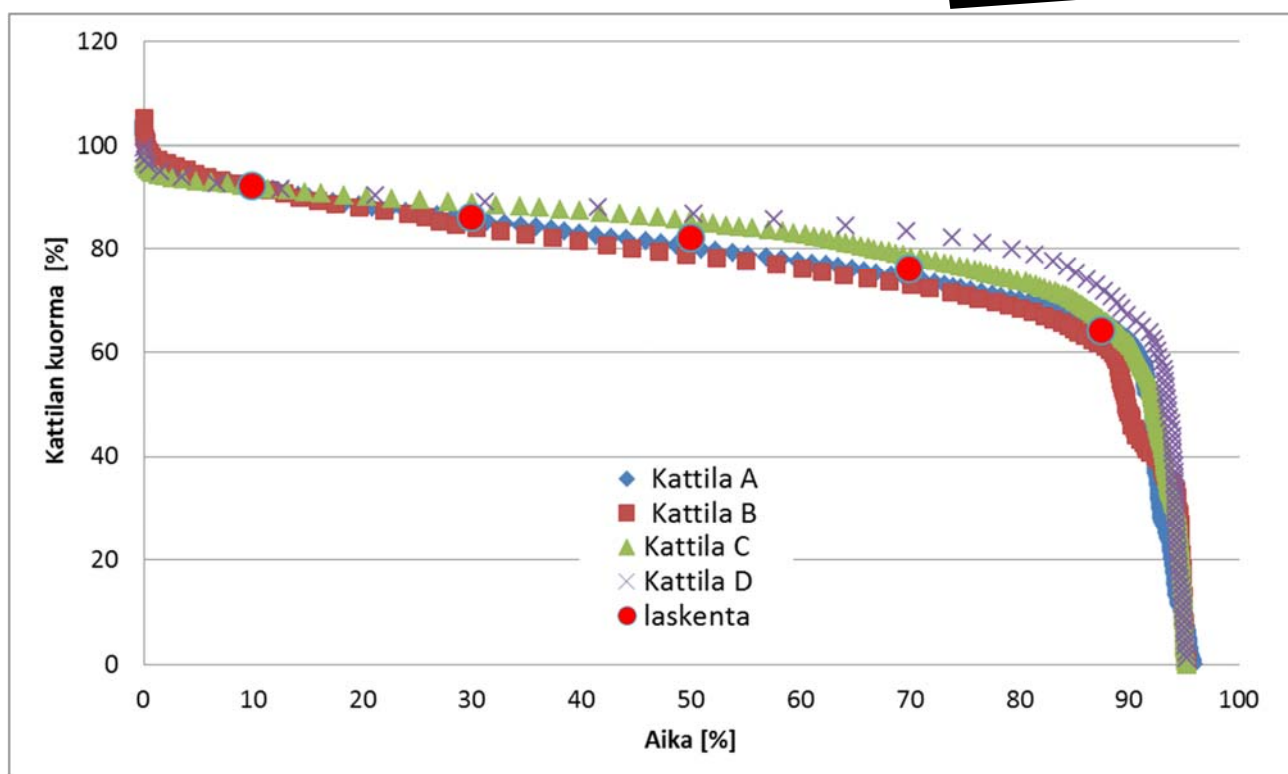
- Saatu dataa Suomesta neljästä kattilasta
 - Kaukopää SK6
 - Kaukopää SK5
 - Joutseno
 - Kymi
- Jokaisesta kattilasta kerätty vähintään vuoden ajalta tuntidata syöttövesivirtauksesta ja paineesta
- Kattiloiden toiminnan perusteella valittu tyypilliset toimintapisteet
- Saatujen SV-pumppujen datojen perusteella saatiin tyypillinen pumpun hyötysuhdekäyrä
- Investointikustannus perustuu saatuihin kustannuksiin (Wisa, Kymi-projektit)
- Pumppauskustannus perustuu kussakin toimintapisteessä pumppaustehon minimointiin valitsemalla sopiva määrä pumppuja

18.8.2013

LUT SVPUMP

3

Tarkasteltavissa tapauksissa pysyvyyskäyrät samanlaisia



18.8.2013

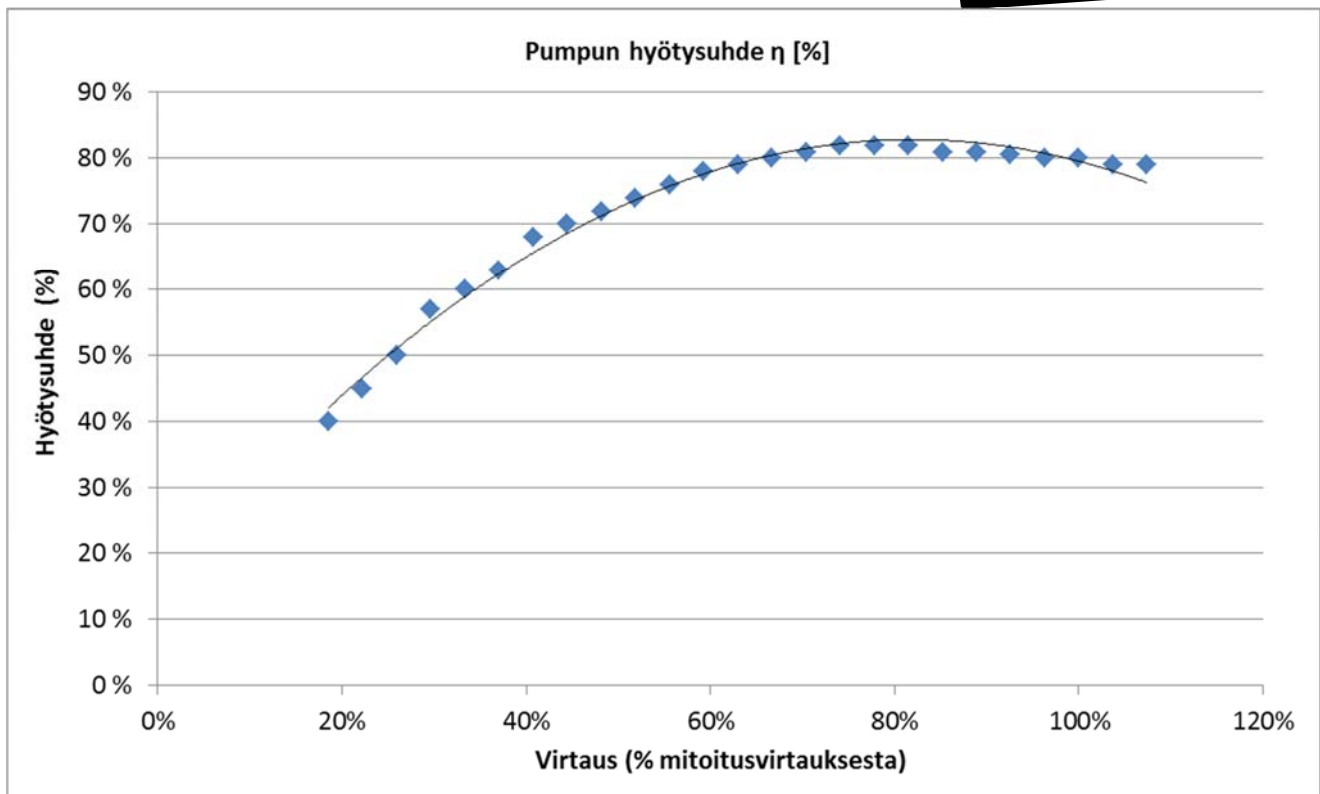
LUT SVPUMP

4

Tyypillinen pumpun hyötysuhdekäyrä



Open your mind. LUT.
Lappeenranta University of Technology



18.8.2013

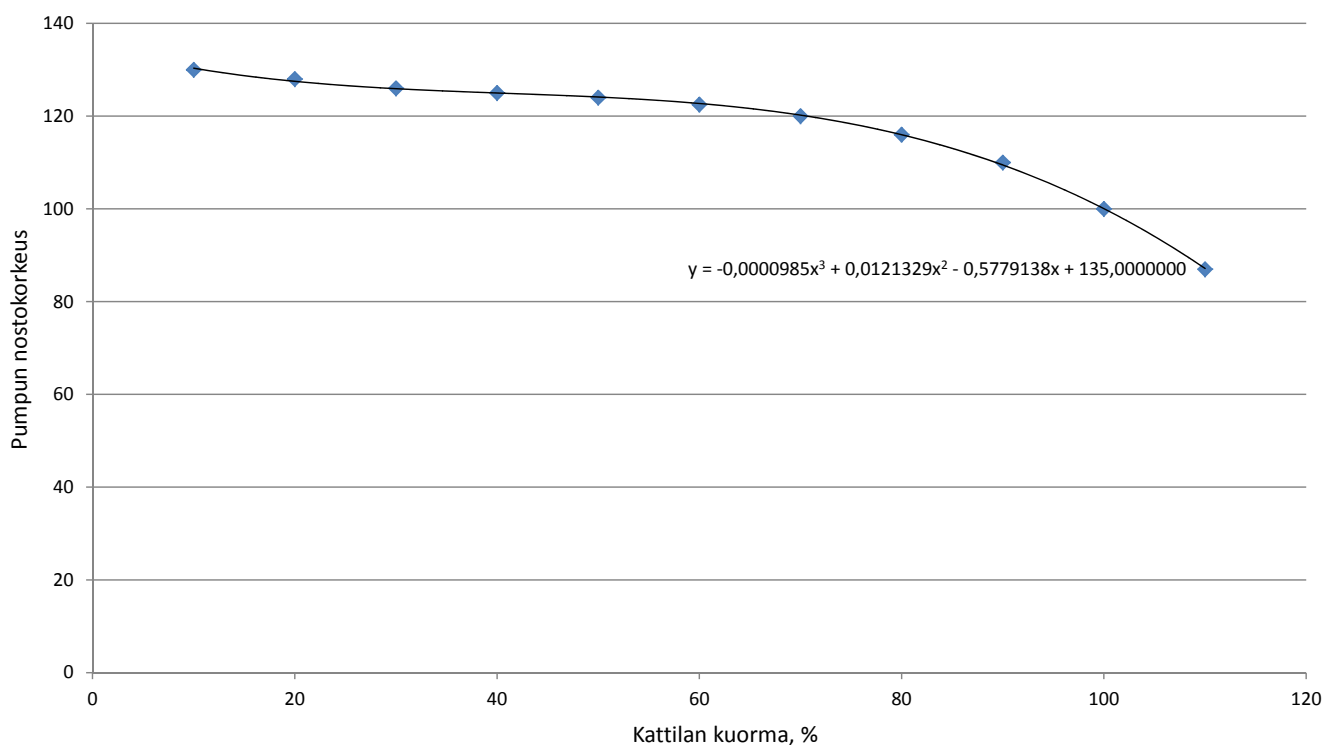
LUT SVPUMP

5

Tyypillinen pumpun nostokorkeus (kuristussäätö)



Open your mind. LUT.
Lappeenranta University of Technology



18.8.2013

LUT SVPUMP

6

Laskennassa käytetyt arvot (valittiin tyypillinen tapaus)

virtaus[MCR]	100 kg/s
paine sisään	0.5 MPa
paine ulos	10.3 MPa
SV-paineennousu	9.8 MPa
josta virtaushäviöt	1.2 MPa
tiheys	922 kg/m ³
sähkön hinta	40 €/MWh
ajoaika	8313 h/a
Moottorin η	92 %

18.8.2013

LUT SVPUMP

7

Laskentatapaukset (varalla turbopumppu)

	1					
Käytössä olevat pumput	1*140					
Pumpun mitoitusvirtaus [kg/s]	168					
	2	1				
Käytössä olevat pumput	2*70	1*70				
Pumpun mitoitusvirtaus [kg/s]	84	84				
	3	2	1			
Käytössä olevat pumput	3*45	2*45	1*45			
Pumpun mitoitusvirtaus [kg/s]	54	54	54			
	4	3	2	1		
Käytössä olevat pumput	4*33	3*33	2*33	1*33		
Pumpun mitoitusvirtaus [kg/s]	40	40	40	40		
	5	4	3	2	1	
Käytössä olevat pumput	5*25	4*25	3*25	2*25	1*25	
Pumpun mitoitusvirtaus [kg/s]	30	30	30	30	30	
	6	5	4	3	2	1
Käytössä olevat pumput	6*20	5*20	4*20	3*20	2*20	1*20
Pumpun mitoitusvirtaus [kg/s]	24	24	24	24	24	24

18.8.2013

LUT SVPUMP

8

Laskentaesimerkki



Open your mind. LUT.
Lappeenranta University of Technology

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
käytössä olevat pumput	1*140	2*70	1*70	3*45	2*45	1*45	4*33	3*33	2*33	1*33	5*25	4*25	3*25	2*25	1*25	6*20	5*20	4*20	3*20	2*20	1*20									
Pumpun suunnittelu %MCR	168	84	84	54	54	54	40	40	40	40	30	30	30	30	30	24	24	24	24	24	24									
0-1750 0-20 %	168			162			158.4				150					144														
Apistepiste mcr/pumppu	92.0	46.0	92.0	30.7	46.0	92.0	23.0	30.7	46.0	92.0	18.4	23.0	30.7	46.0	92.0	15.3	18.4	23.0	30.7	46.0	92.0									
mcr/mcr_design	0.55	0.55	1.10	0.57	0.85	1.70	0.58	0.77	1.16	2.32	0.61	0.77	1.02	1.53	3.07	0.64	0.77	0.96	1.28	1.92	3.83									
η [%]	75 %	75 %	75 %	76 %	83 %	31 %	77 %	83 %	71 %	31 %	79 %	83 %	79 %	31 %	31 %	80 %	83 %	81 %	62 %	31 %	31 %									
Paine MCR	98 %	90 %	98 %	89 %	90 %	98 %	88 %	89 %	90 %	98 %	88 %	88 %	89 %	90 %	98 %	88 %	88 %	88 %	89 %	90 %	98 %									
η_paine	95 %	95 %	92 %	95 %	99 %	78 %	97 %	99 %	96 %	66 %	97 %	99 %	90 %	67 %	45 %	98 %	99 %	90 %	85 %	48 %	32 %									
kust. [k€]	102	94	106	91	82	302	88	81	99	357	86	80	93	320	523	84	80	90	126	452	736									
1750-3500 20-40%																														
Apistepiste mcr/pumppu	86.0	43.0	86.0	28.7	43.0	86.0	21.5	28.7	43.0	86.0	17.2	21.5	28.7	43.0	86.0	14.3	17.2	21.5	28.7	43.0	86.0									
mcr/mcr_design	0.51	0.51	1.02	0.53	0.80	1.59	0.54	0.72	1.09	2.17	0.57	0.72	0.96	1.43	2.87	0.60	0.72	0.90	1.19	1.79	3.58									
η [%]	73 %	73 %	79 %	74 %	83 %	31 %	75 %	82 %	76 %	31 %	77 %	82 %	81 %	45 %	31 %	78 %	82 %	82 %	69 %	31 %	31 %									
Paine max [%]	97 %	90 %	97 %	89 %	90 %	97 %	88 %	89 %	90 %	97 %	88 %	88 %	89 %	90 %	97 %	88 %	88 %	88 %	89 %	90 %	97 %									
η_paine [%]	92 %	90 %	85 %	92 %	99 %	82 %	94 %	98 %	92 %	68 %	95 %	98 %	90 %	76 %	48 %	92 %	97 %	95 %	92 %	77 %	34 %									
kust. [k€]	100	95	101	90	76	265	87	77	90	319	84	77	85	184	453	85	77	79	98	262	639									
3500-5250 40-60 %																														
Apistepiste mcr/pumppu	82.0	41.0	82.0	27.3	41.0	82.0	20.5	27.3	41.0	82.0	16.4	20.5	27.3	41.0	82.0	13.7	16.4	20.5	27.3	41.0	82.0									
mcr/mcr_design	0.49	0.49	0.98	0.51	0.76	1.52	0.52	0.69	1.04	2.07	0.55	0.68	0.91	1.37	2.73	0.57	0.68	0.85	1.14	1.71	3.42									
η [%]	72 %	72 %	80 %	73 %	82 %	33 %	74 %	81 %	78 %	31 %	75 %	81 %	82 %	53 %	31 %	77 %	81 %	83 %	73 %	31 %	31 %									
Paine max [%]	96 %	90 %	96 %	89 %	90 %	96 %	88 %	89 %	90 %	96 %	88 %	88 %	89 %	90 %	96 %	88 %	88 %	88 %	89 %	90 %	96 %									
η_paine [%]	90 %	90 %	90 %	89 %	98 %	84 %	95 %	98 %	92 %	70 %	95 %	98 %	97 %	82 %	51 %	97 %	98 %	98 %	96 %	89 %	38 %									
kust. [k€]	99	92	88	90	74	227	84	74	83	293	82	74	74	138	403	79	74	72	84	216	540									
5250-7000 60-80 %																														
Apistepiste mcr/pumppu	76.0	38.0	76.0	25.3	38.0	76.0	19.0	25.3	38.0	76.0	15.2	19.0	25.3	38.0	76.0	12.7	15.2	19.0	25.3	38.0	76.0									
mcr/mcr_design	0.45	0.45	0.90	0.47	0.70	1.41	0.48	0.64	0.96	1.92	0.51	0.63	0.84	1.27	2.53	0.53	0.63	0.79	1.06	1.58	3.17									
η [%]	69 %	69 %	82 %	70 %	81 %	48 %	71 %	80 %	81 %	31 %	73 %	79 %	83 %	63 %	31 %	74 %	79 %	83 %	77 %	31 %	31 %									
Paine max [%]	95 %	90 %	95 %	89 %	90 %	95 %	88 %	89 %	90 %	95 %	88 %	88 %	89 %	90 %	95 %	88 %	88 %	88 %	89 %	90 %	95 %									
η_paine [%]	90 %	90 %	98 %	90 %	95 %	88 %	90 %	95 %	94 %	72 %	90 %	94 %	98 %	34 %	56 %	91 %	93 %	98 %	88 %	74 %	40 %									
kust. [k€]	94	88	72	86	71	138	85	72	72	261	82	73	67	258	336	80	73	67	80	240	470									
7000-8313 80-95 %																														
Apistepiste mcr/pumppu	64.0	32.0	64.0	21.3	32.0	64.0	16.0	21.3	32.0	64.0	12.8	16.0	21.3	32.0	64.0	10.7	12.8	16.0	21.3	32.0	64.0									
mcr/mcr_design	0.38	0.38	0.76	0.40	0.59	1.19	0.40	0.54	0.81	1.62	0.43	0.53	0.71	1.07	2.13	0.44	0.53	0.67	0.89	1.33	2.67									
η [%]	63 %	63 %	83 %	65 %	78 %	69 %	65 %	75 %	83 %	31 %	67 %	75 %	82 %	77 %	31 %	69 %	75 %	80 %	82 %	56 %	31 %									
Paine max [%]	93 %	89 %	93 %	88 %	89 %	93 %	88 %	88 %	89 %	93 %	88 %	88 %	88 %	89 %	93 %	88 %	88 %	88 %	88 %	89 %	93 %									
η_paine [%]	87 %	87 %	96 %	88 %	93 %	90 %	88 %	88 %	89 %	82 %	88 %	90 %	95 %	93 %	78 %	89 %	90 %	93 %	97 %	85 %	54 %									
kust. [k€]	87	84	61	80	64	77	79	66	57	189	77	68	59	65	199	75	68	61	57	97	287									
KUST. YHT [k€]/a	481	410		367			360				357					354														

18.8.2013

LUT SVPUMP

9

Laskentatulokset kuristussäätö (edullisimman pumppumäärän ajon mukaan)



Open your mind. LUT.
Lappeenranta University of Technology

Käyttöaika 7 vuotta						
Pumppu [kpl]	1	2	3	4	5	6
Mit. virtaus/pumppu [kg/s]	168	84	54	40	30	24
Nostokorkeus [MPa]	11.27	11.27	11.27	11.27	11.27	11.27
Sähkömoottorit [kW]	3100	1500	1000	700	600	400
Turbopumppu	2567	1283	825	605	458	367
Kustannukset [k€]						
- Pumput	202	249	274	294	303	311
- Sähkömoottorit	272	245	246	240	258	227
- Turbopumppu	506	312	229	184	152	130
- Asennus ym.	142	197	244	286	325	362
YHTEENSÄ [k€]	1122	1003	993	1005	1038	1030
INV. KUST. YHT [k€]/a	184	143	142	144	148	147
PUMPPAUS [k€]/a	684	609	593	593	588	586
KOKONAISKUST. [k€]/a	844	752	735	736	737	733

18.8.2013

LUT SVPUMP

10

Laskentatulokset nestekytkinsäätö (edullisimman pumppumäärän ajon mukaan)



Open your mind. LUT.
Lappeenranta University of Technology

Käyttöaika 7 vuotta						
Pumppu [kpl]	1	2	3	4	5	6
Mit. virtaus/pumppu [kg/s]	168	84	54	40	30	24
Nostokorkeus [MPa]	11.27	11.27	11.27	11.27	11.27	11.27
Sähkömoottorit [kW]	3100	1500	1000	700	600	400
Nestekytkin [kW]	3400	1700	1100	800	700	400
Turbopumppu	2567	1283	825	605	458	367
Kustannukset [k€]						
- Pumput	202	249	274	294	303	311
- Sähkömoottorit	272	245	246	240	258	227
- Nestekytkin	290	357	395	421	480	389
- Turbopumppu	506	312	229	184	152	130
- Asennus ym.	112	148	179	207	233	257
YHTEENSÄ [k€]	1382	1311	1323	1347	1425	1314
INV. KUST. YHT [k€]/a	197	187	189	192	204	188
PUMPPAUS [k€]/a	543	420	404	404	381	377
KOKONAISKUST. [k€]/a	740	607	593	597	585	564

18.8.2013

LUT SVPUMP

11

Laskentatulokset invertterisäätö (edullisimman pumppumäärän ajon mukaan)



Open your mind. LUT.
Lappeenranta University of Technology

Käyttöaika 7 vuotta						
Pumppu [kpl]	1	2	3	4	5	6
Mit. virtaus/pumppu [kg/s]	168	84	54	40	30	24
Nostokorkeus [MPa]	11.27	11.27	11.27	11.27	11.27	11.27
Sähkömoottorit [kW]	3100	1500	1000	700	600	400
Invertteri [kW]	3400	3300	3300	3200	3100	2700
Turbopumppu	2567	1283	825	605	458	367
Kustannukset [k€]						
- Pumput	202	249	274	294	303	311
- Sähkömoottorit	272	245	246	240	258	227
- Invertterit	304	367	415	433	483	444
- Turbopumppu	506	312	229	184	152	130
- Asennus ym.	142	197	244	286	325	362
YHTEENSÄ [k€]	1427	1370	1408	1437	1522	1474
INV. KUST. YHT [k€]/a	204	196	201	208	217	211
PUMPPAUS [k€]/a	481	410	367	360	357	354
KOKONAISKUST. [k€]/a	685	606	568	566	574	564

18.8.2013

LUT SVPUMP

12

Pumppu [kpl]	1	2	3	4	5	6
Kuristussäätö						
YHTEENSÄ [k€]	1122	1003	993	1005	1038	1030
INV. KUST. YHT [k€]/a	160	143	142	144	148	147
PUMPPAUS [k€]/a	684	609	593	593	588	586
KOKONAISKUST. [k€]/a	844	752	735	736	737	733
Nestekytöksäätö						
YHTEENSÄ [k€]	1382	1311	1323	1347	1425	1314
INV. KUST. YHT [k€]/a	197	187	189	192	204	188
PUMPPAUS [k€]/a	543	420	404	404	381	377
KOKONAISKUST. [k€]/a	740	607	593	597	585	564
Invertterisäätö						
YHTEENSÄ [k€]	1427	1370	1408	1437	1522	1474
INV. KUST. YHT [k€]/a	204	196	201	208	217	211
PUMPPAUS [k€]/a	481	410	367	360	357	354
KOKONAISKUST. [k€]/a	685	606	568	566	574	564

Tulokset

- Näyttää siltä että **kolme pumppua ja turbopumppu** on kaikissa tapauksissa edullisin tai ainakaan eroa neljä pumppua ja turbopumppu on pieni.
- Kaksi pumppua ja turbopumppu on aina kallis vaihtoehto
- Yksi pumppu ja turbopumppu on aina kallein vaihtoehto
- Syöttövesipumppujen teho on ylimitoitettu osittain standardin vaatimuksesta
 - Syöttövesipumppuilla pitää pystyä pumppaamaan 115 %kattilan höyrystys kaikilla kattilan painehäviöillä ja toisaalta 100 %:n kapasiteetti niin, että paine vastaa lieriön varojen aukeamispainetta (= 10 % yli vastuksista lasketun painetarpeen).
- Turbopumpun tarve on kyseenalainen koska soodakattila on suunniteltu siten että se voidaan tarvittaessa tyhjentää vaurioittamatta kattilaa. Tällöin veden pinta lasketaan pari metriä pohjan alinta tasoa korkeammalle. Varapumpun tarvetta taas perustellaan sillä että veden pintaa pitää lieriössä näkyvillä, koska muutoin kattila vaurioituu. Tässä on ristiriita.

LIITE 6

**KTR: Aktiivihiihden mitoituksen varmistus ja optimointi sekä
TOC-reduktion varmistaminen, 1.12.2014**



SUOMEN SOODAKATTILAYHDISTYS
FINNISH RECOVERY BOILER COMMITTEE

Suomen Soodakattilayhdistys ry

**Aktiivihiihden mitoituksen varmistus
ja optimointi sekä TOC-reduktion
varmistaminen**

20.11.2014

Jaakko Pellinen, JP-analysis

1 TAUSTAA

Soodakattilayhdistyksen SKYREC-projektissa on tutkittu aktiivihiihen käyttöä soodakattilalaitoksen lisäveden orgaanisen aineen poistossa vuosina 2009 – 2013. Aiheesta on valmistunut pro gradu-työ: [Soodakattilalaitoksen lisäveden orgaanisen aineen vähentäminen](#), jatkotutkimusraportti [Aktiivihiihisiuodatuksen ja UV-käsittelyn soveltaminen suolanpoistolaitokseen lisäveden TOC-tason alentamisessa](#) sekä selvitys aktiivihiihen eroista: [Aktiivihiihen vertailu ja aktiivihiihen toimintamekanismin selvittäminen ionivaihdetuissa vesissä](#)

Yhteenvedo aiempien projektien tuloksista:

- Kaikkien aktiivihiihen, myös happopesemättömän, TOC-reduktiot vaikuttaisivat asettuvan samalle tasolle n. 40 %. Tulos tukee aiempaatutkimusta, jossa osoitettiin aktiivihiihisiuodatuksen alentavan noin 40-50 % lisäveden orgaanisen hiilen (TOC) pitoisuutta.
- JP-Analysiksen uudella TOC-laitteella (Tekmar Phoenix 8000) mitatut tulokset ovat suuruusluokaltaan lähempänä LC-OCD (Huber laboratorio) tuloksia kuin Oulun Yliopiston laitteella mitatut tulokset, reduktio 50-60%. Laitetta ei kuitenkaan ole validoitu ja tuloksissa esiintyy vaihtelua rinnakkaisnäytteiden kanssa
- Eri kaupallisten aktiivihiihen välillä ei juurikaan saatu eroja TOC-, johtokyky- ja LC-OCD-analyysillä. Kokeiden perusteella voitaisiinkin käyttää puolet halvempaa happopesemättömää aktiivihiihiltä happopestyn aktiivihiihen sijaan.
- Tehtyjen hapetuskokeiden tulosten perusteella otsonilla, vetyperoksidilla tai otsonilla ja vetyperoksidilla yhdessä aktiivihiihisiuodatuksen kanssa ei saatu tehostettua orgaanisen aineksen poistoa TSP-vedestä verrattuna pelkkään aktiivihiihisiuodatukseen.
- Tehtyjen kokeiden tulosten perusteella impregnoitunut aktiivihiihiltä (hopea/rauta) eivät toimineet impregnoimattomia aktiivihiihiltä paremmin orgaanisen aineksen poistossa TSP-vedestä.

2 TAVOITE

Projektin tavoitteena oli varmistaa aktiivihiihisiuodattimen mitoitus sekä kustannukset mahdollista hankintaa varten. Aktiivihiihisiuodattimien mitoitus tutkittiin nostamalla suodattimen virtaussuhdetta alhaisista arvoista käytännön suodattimissa käytettäviin arvoihin. Lisäksi on vertailtu eri TOC-mittalaitteiden välisiä eroja TOC-reduktion varmistamiseksi.

2.1 Suodattimien mitoituksesta

Suolanpoistolaitoksen suodattimet mitoitetään käyttämällä kahta tunnuslukua virtaussuhde ja suodatusnopeus. Virtaussuhteella BV/h tarkoitetaan tunnissa suodatetun vesimäärän ja suodatinmateriaalin tilavuuksien suhdetta. Anionivaihtimessa A1 käytetään mitoitus virtaussuhdetta 30–35 BV/h (Bed volume/h). Anionivaihtimien A1 ja A2 yhteenlasketusta tilavuudesta laskettu virtaussuhde on 25–30 BV/h. Suodatus nopeudella m/h tarkoitetaan näennäistä virtausnopeutta suodattimessa. Anioninvaihtimessa käytetään mitoitus 10–50 m/h. suuri vaihtelu johtuu siitä että petivahvuuden tulisi olla aina vähintään 700mm. Koesuodattimissa petivahvuus oli kuitenkin vain 400–500, mm. tämä huononsi tuloksia käytännön suodattimiin verrattuna.

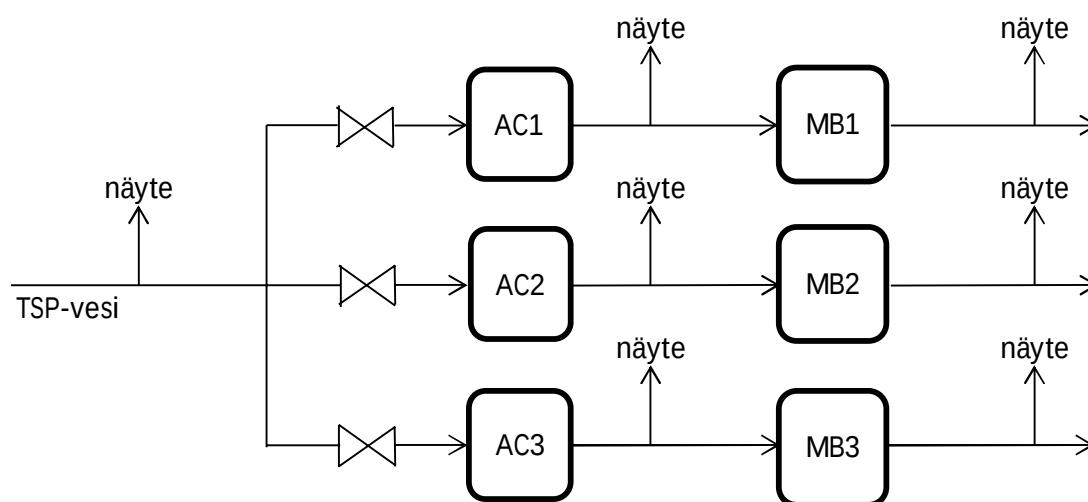
3

TOTEUTUS

Aktiivihiihien mitoituksen optimointi toteutettiin olemassa olevilla suodatin kolonneilla Stora Enson Oulun tehtaalla, koejärjestely esitetty kuvassa 1. Kolonneja on kahta eri mallia.

Kokeissa virtaussuhde aloitettiin alhaisista arvoista ja yhden hiilisuodattimen (AC3) virtaussuhde nostettiin vaiheittain käytännön arvoon (n. 30 BV/h). Aktiivihiihisuodattimien AC1 ja AC2 virtaussuhteet pidettiin vakioina. Suodattimiin käytettiin tulovetenä suolanpoistosarjan jälkeistä ionivaihdettua vettä. Aktiivihiihisuodattimien jälkeen koesuodatuksissa oli MB suodattimet.

TOC reduktiot määritettiin sekä aktiivihiihisuodattimen että MB-suodattimen jälkeen. TOC-reduktiot määritettiin TEKMAR Phoenix 3000 analysaattorilla (JP-analysis-yrityksen laite). Lisäksi tuloksia vertailtiin aikaisemmissa tutkimuksissa käytettyyn TOC-laitteistoon (Oulun yliopiston laite). Johtokykyä seurattiin jokaisen aktiivihiihisuodattimen jälkeen reaaliaikaisella mittauksella.

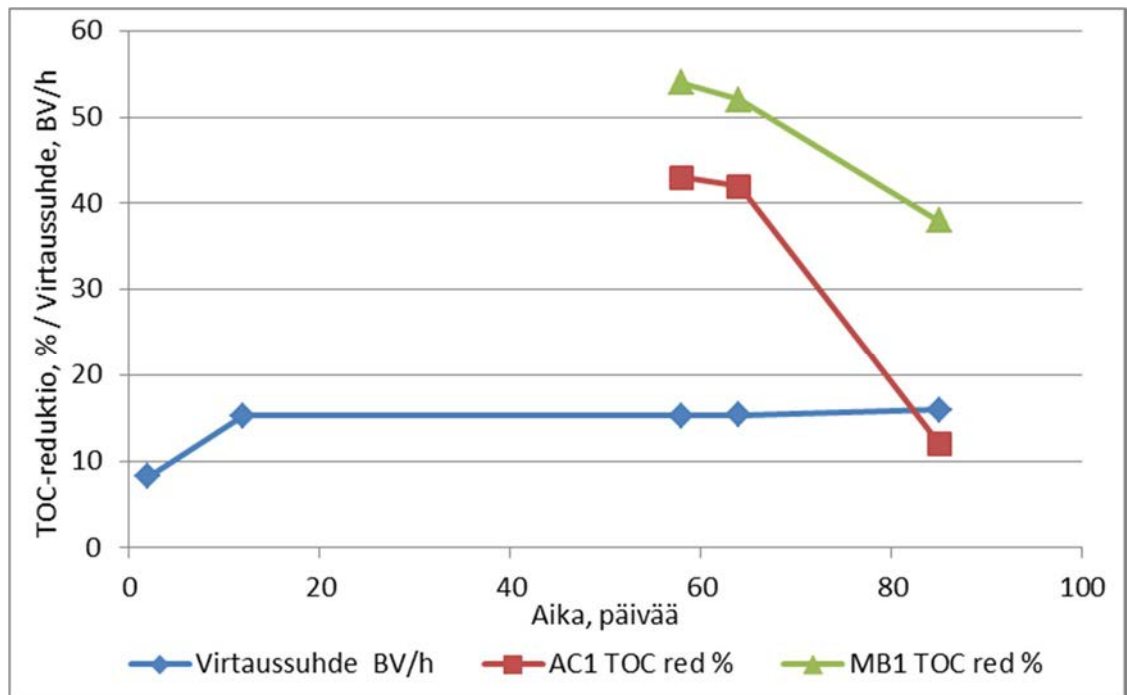


Kuva 1.Koejärjestely

4 TULOKSET

4.1 Aktiivihiihi AC1:

Suotimena halkaisijaltaan 220 mm näytekolonni jossa veden jako huono (pistemäinen ja hiili patjan vahvuus 400 mm. Lisäksi kolonnien virtaussuunta oli aluksi väärä (vastavirtaan) Ensimmäisiä tuloksia ei raportoida ja lisäksi kolonnin tehokkuus romahti ennenaikaisesti, Kuva 2 sekä taulukko 1.



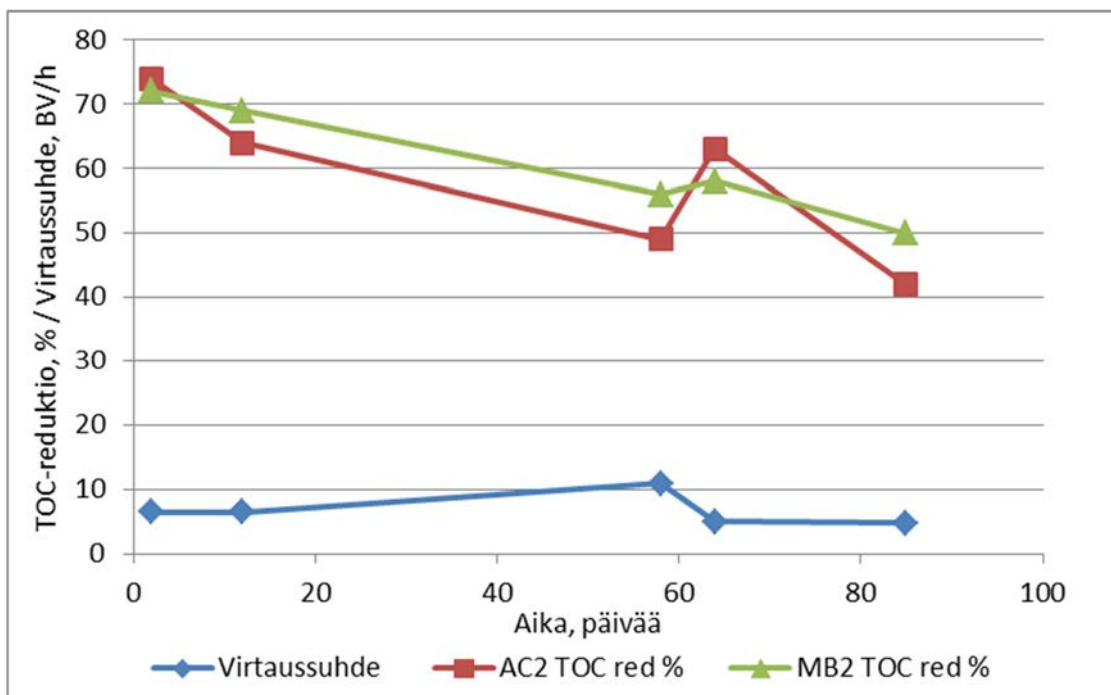
Kuva 2. Aktiivihiihen AC1:n TOC-reduktiot virtaussuhteen ja ajan funktiona.

Taulukko 1. Kolonni AC1:n, TOC-reduktiot ja käytetyt virtaussuhteet

Koejakso päivää	Virtaussuhde BV/h	AC1 TOC Reduktio, %	MB1 TOC reductio, %
2	8,2	-	-
12	15,2	-	-
58	15,2	43	54
64	15,3	42	52
85	15,9	12	38

4.2 Aktiivihiihi AC2:

AC2 aktiivihiihikolonnin halkaisija 110 mm ja hiilipetin paksuus 500 mm. Vesi jaettu suuttimilla. Kuvassa 3 sekä taulukossa 2 on esitettyä aktiivihiihisiuodatin AC2:n TOC-reduktiot virtaussuhteen ja ajan funktiona. TOC-reduktio on vaihdellut 64 % ja 42 % välillä.



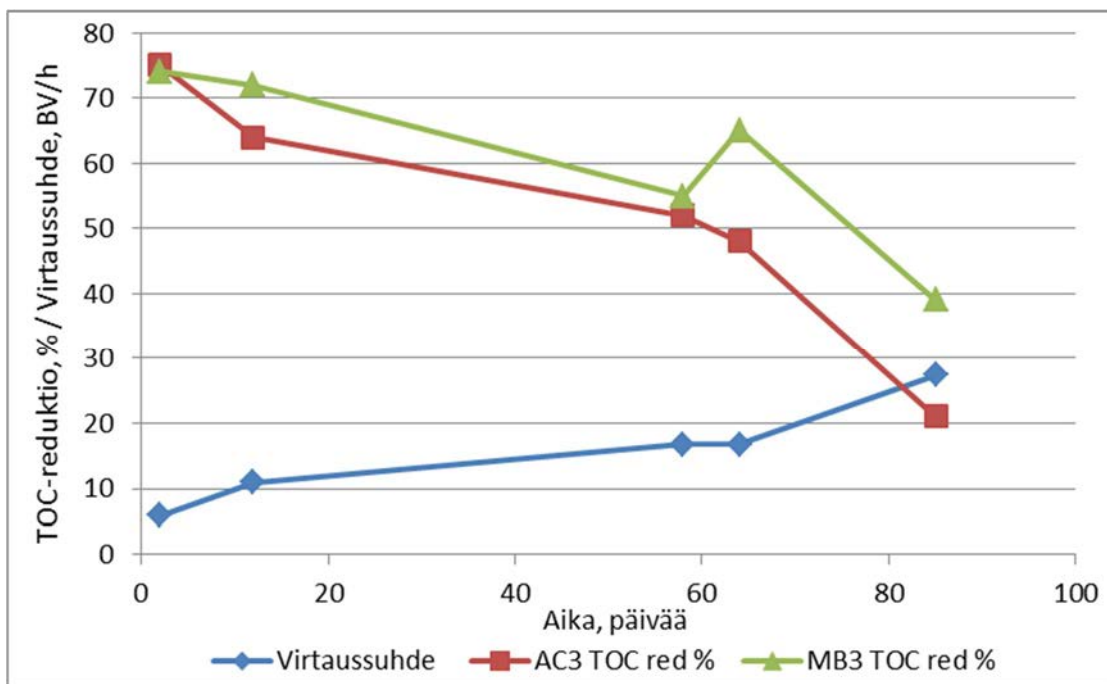
Kuva 3. Aktiivihiihen AC2:n TOC-reduktiot virtaussuhteen ja ajan funktiona.

Taulukko 2. Kolonni AC2:n, TOC-reduktiot ja käytetyt virtaussuhteet

Koejakso päivää	Virtaussuhde BV/h	AC2 TOC Reduktio, %	MB2 TOC reductio, %
2	6,5	74	72
12	6,5	64	69
58	10,9	49	56
64	5,03	63	58
85	4,74	42	50

4.3 Akviivihiihi AC3:

AC3 aktiivihiihikolonnin halkaisija 110 mm ja hiilipetin paksuus 500 mm. Vesi jaettu suuttimilla. Kuvassa 4 sekä taulukossa 3 on esitettyä aktiivihiihisiuodatin AC3:n TOC-reduktiot virtaussuhteen ja ajan funktiona. TOC-reduktio on vähentynyt virtaussuhteen ja ajan funktiona.



Kuva 4. Aktiivihiihi AC3:n TOC-reduktiot virtaussuhteen ja ajan funktiona.

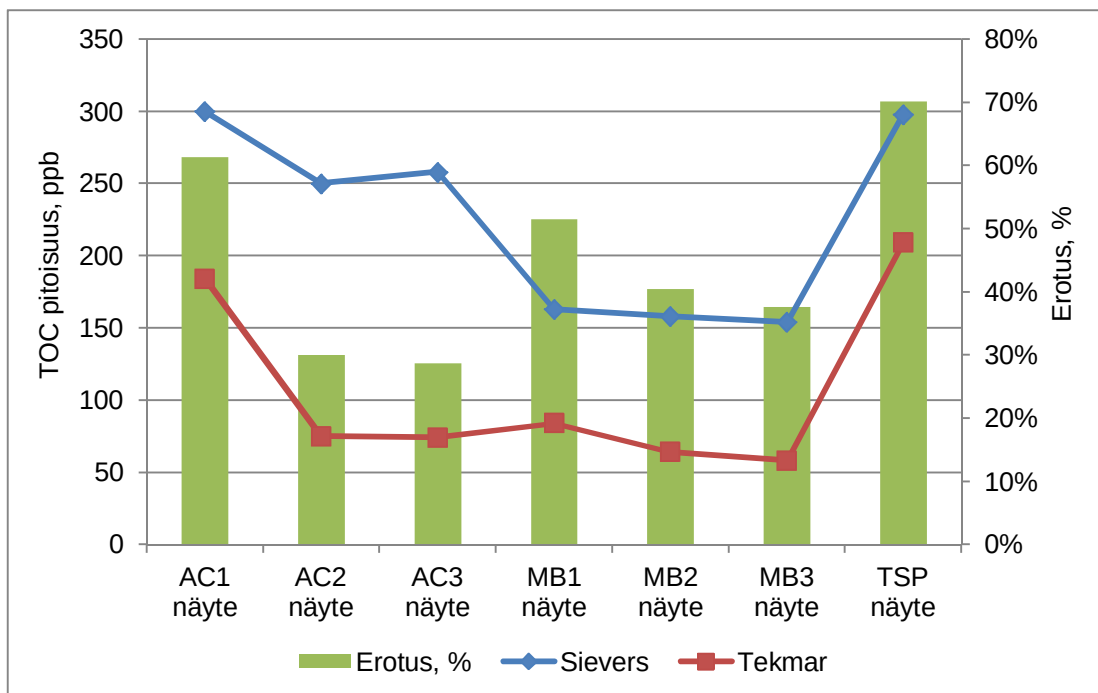
Taulukko 3. Kolonni AC2:n, TOC-reduktiot ja käytetyt virtaussuhteet

Koejakso päivää	Virtaussuhde BV/h	AC3 TOC Reduktio, %	MB3 TOC reductio, %
2	5,9	75	74
12	10,9	64	72
58	16,7	52	55
64	16,8	48	65
85	27,4	21	39

4.4 TOC-mittausten vertailu

Tutkimuksessa vertailtiin kahden TOC-analysaattorin antamia tuloksia tutkimuksen tutkituilla vesillä. Toinen TOC analysaattoreista oli aikaisemmissa tutkimuksissa käytetty Sievers 900 Portable TOC Analyzer (yliopiston laite) ja toinen JP-analysiryityksen Tekmar Pheonix 8000 TOC analyzer. Tekmar laitteisto on suunniteltu alhaisten TOC-pitoisuuksien määrittämiseen.

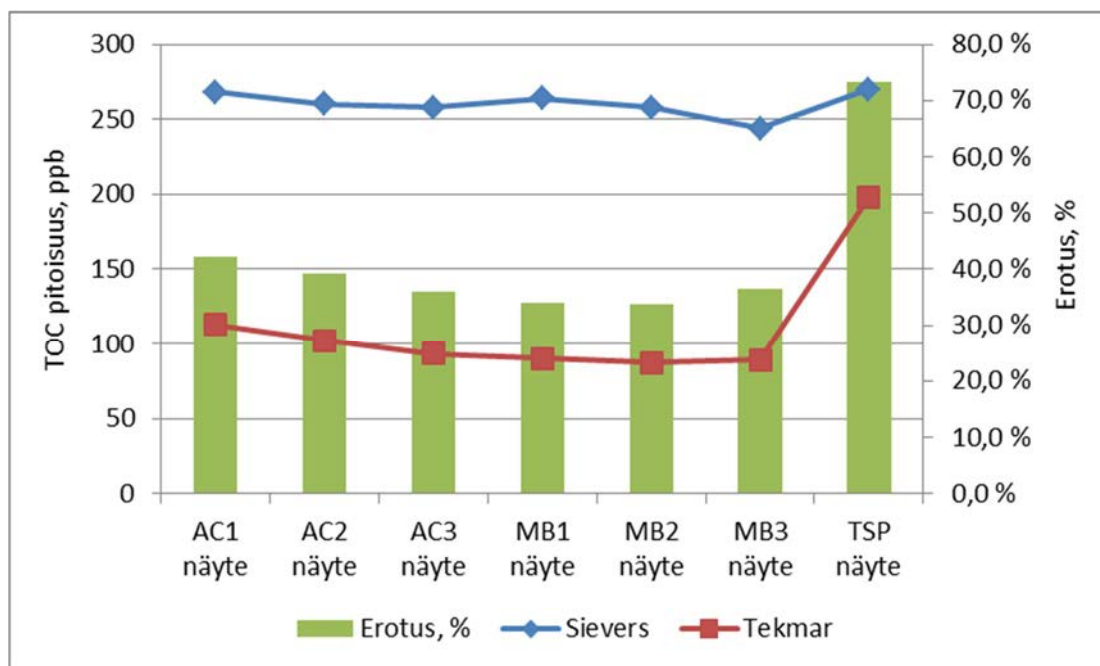
Kuvassa 5 ja taulukossa 4 on vertailtuna 26.11.2012 tehdyn mittauksen tuloksia ja kuvassa 6 ja taulukossa 5 11.1.2013 tehdyn mittauksen tuloksia.



Kuva 5. TOC-analysaattoreiden vertailumittaus 26.11.2012

Taulukko 4. TOC-analysaattoreiden vertailumittaus 26.11.2012

	Sievers	Tekmar	Erotus
AC1 näyte	300 ppb	184ppb	61 %
AC2 näyte	250 ppb	75 ppb	30 %
AC3 näyte	258 ppb	74 ppb	29 %
MB1 näyte	163 ppb	84ppb	52 %
MB2 näyte	158 ppb	64 ppb	41 %
MB3 näyte	154 ppb	58 ppb	38 %
TSP näyte	298 ppb	209 ppb	70 %
Höyry		116 ppb	



Kuva 6. TOC-analysointilaitteiden vertailumittaus 11.1.2013

Taulukko 5. TOC-analysointilaitteiden vertailumittaus 11.1.2013

	Sievers	Tekmar	Erotus
AC1 näyte	268	113	42,2 %
AC2 näyte	260	102	39,2 %
AC3 näyte	258	93	36,0 %
MB1 näyte	264	90	34,1 %
MB2 näyte	258	87	33,7 %
MB3 näyte	244	89	36,5 %
TSP näyte	270	198	73,3 %
Höyry		124	

5

YHTEENVETO

Tulokset osoittavat, että aktiivihielet poistavat orgaanista hiiltä tehokkaasti TSP-vedestä. Virtaussuhteen kasvu vaikuttaa alentavasti TOC-reduktioon. Aktiivihielessä AC 3 virtaussuhde (n. 30 BV/h) oli lähimpänä käytäntöä. Tällöin TOC-reduktio oli n. 20 %. Kolonnien petitilavuudet ovat kuitenkin erittäin vaatimattomat ja täten eivät mahdollisesti vastaa täyttä totuutta. Suurilla veden virtauksilla riski tunnelloitumisefektiin kolonneissa kasvaa. Tällöin vesi voi kulkea vain tiettyä reittiä pitkin kolonnin sisällä ja kontaktia ei synny kokopetitilavuudella.

TOC-analysointilaitteiden mittaamissa pitoisuuksissa oli merkittäviä eroja. Yliopiston Sievers-laitteistoa käytetään lisäksi jätevesianalytiikassa, joten virhe tuloksia on odotettavissa. Sievers-laitteisto antoi lisäksi ultrapuhtaalle vedelle (MQ-vesi) TOC-pitoisuudeksi n. 150 ppb, jonka TOC-pitoisuudet ovat luokkaa 5-10 ppb. Tästä voidaan päätellä, että Sievers laitteella ei päästä tätä (150 ppb) pitoisuutta alemmaksi.

Tekijän yhteystiedot:

Jaakko Pellinen

+358 50 5916109

jaakko.pellinen@jp-analysis.fi

Kaitoväylä 1 F2 90570 Oulu

www.jp-analysis.fi

LIITE 7

**LTR: Mustalipeän ei-Newtonilaisuus ja pisaroituminen,
Labtium/Aalto-yliopisto – SKP esitys 30.10.2014**

Mustalipeän viskositeetin ja reologian merkitys soodakattilan toiminnassa

Ari Kankkunen, Mika Järvinen
Aalto Yliopisto, Energiatekniikan laitos

Jorma Torniainen, Labtium Oy

Aki Kärnä, Oulun yliopisto, Prosessimetallurgia

Sisältö

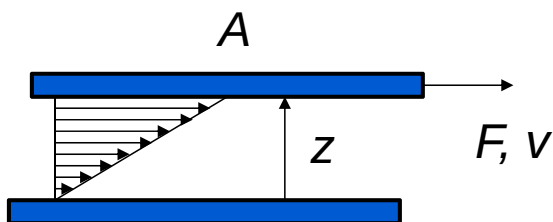
1. Johdanto
2. Viskositeettimittaukset
3. Haihduttimen toiminta, putkistot ja pumpput
4. Viskositeetin vaikutus pisaroitumiseen
5. Johtopäätökset
6. Jatkotutkimuksen aiheita

Työn tavoite

- Tämän projektin tavoitteet olivat:
 - Selvittää jatkuvatoimisen kapillaariviskometrin soveltuvuutta tehdasolosuhteissa viskositeetin mittaukseen.
 - Mitata mustalipeän ei-Newtonilaisuutta kokeellisesti leikkausnopeuden funktiona.
 - Sekä selvittää viskositeetin ja ei-Newtonilaisuuden vaikutuksia mustalipeän pumppaukseen, virtauksiin sekä pisaran muodostukseen kirjallisuuden avulla sekä laskennallisesti.

Johdanto

- Viskositeetti on yksi olennaisimmista mustalipeän ruiskutukseen liittyvistä ominaisuuksista jotka vaikuttavat soodakattilan toimintaan.
- Viskositeetti kuvaa nesteen kykyä vastustaa liikettä.



Vedetään A kokoista levyä nopeudella v , etäisyydellä z pinnasta, voimalla F .
Leikkausjännitys on tällöin

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{dv}{dz} = \mu \frac{v}{z}$$

Johdanto

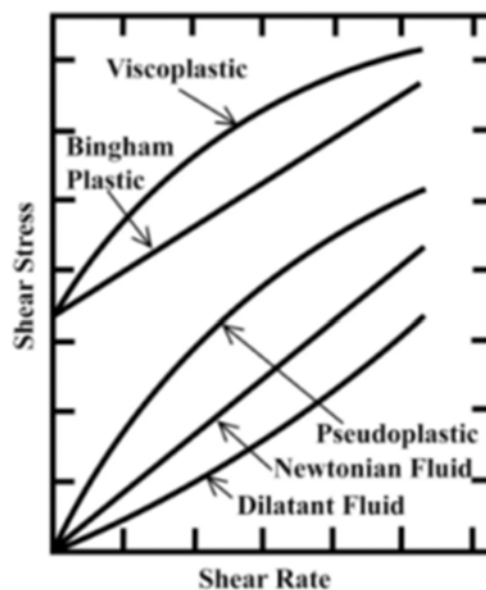
- Nesteiden käyttäytyminen voidaan jakaa Newtonilaisiin sekä ei-Newtonilaisiin. Esitetään leikkausjännityksen ja leikkausnopeuden riippuvuus seuraavasti.

$$\tau = \mu \left(\frac{du}{dz} \right)^n = \mu \dot{\gamma}^n = \mu_a(\dot{\gamma}) \dot{\gamma}$$

- μ_a on näennäinen (apparent) viskositeetti joka on leikkausnopeuden funktio.
- Newtonilaisilla nesteillä $n = 1$. Ei-Newtonilaisilla nesteillä n poikkeaa arvosta 1, joko $n < 1$ tai $n > 1$

Johdanto

- Mustalipeä on laimeana ja kuumana Newtonilainen ($n=1$)
- Korkeakuiva-aineisena ei-Newtonilainen ja pseudoplastinen ($n<1$)



Johdanto

- Jos tarkastellaan mustalipeän elinkaarta tehtaalla haihduttimilta lähtien, viskositeetin vaikutus on suurin haihduttamalla loppupäässä ja sen vaikuttaa olennaisesti valuvan nestekalvon käyttäytymiseen sekä lämmön- ja aineensiirron osalta että likaantumisen kannalta.
- Viskositeetti vaikuttaa myös pumppujen ja sekoittimien vaatimaan tehoon sekä virtaukseen putkistoissa.
- Viskositeetti vaikuttaa moniin asioihin ruiskutuksessa, sekä ruiskujen sisäisiin ilmiöihin eli kiehumiseen ja höyrykuplien kasvunopeuteen sekä tietenkin pisaroiden muodostumisnopeuteen.

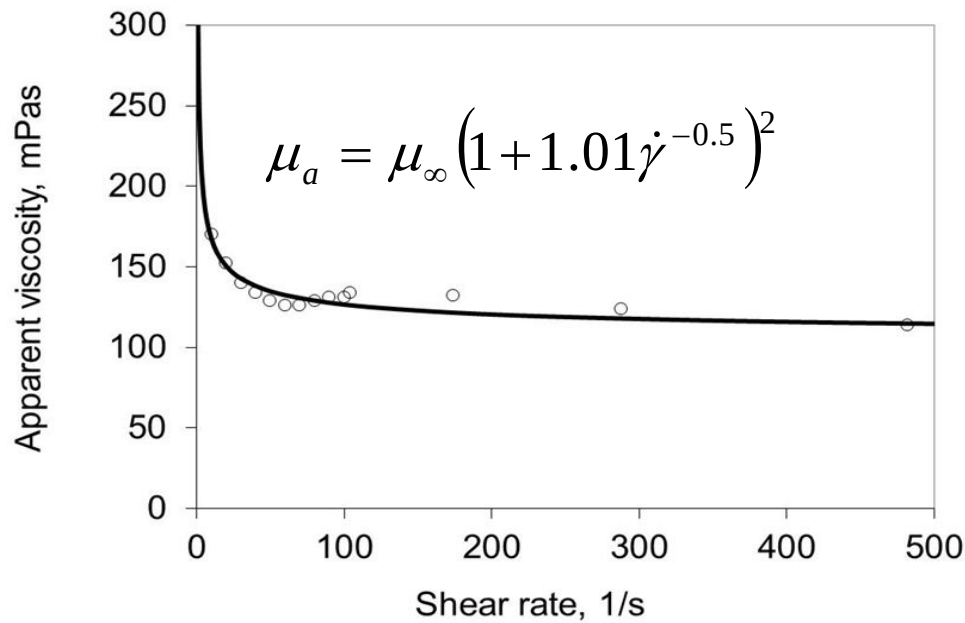


Viskositeetin mittaus

- Tässä työssä mustalipeän viskositeettia mitattiin sekä Labtiumin standardilaitteella (Haake, RheoStress 6000 with Haake Pressure Cell D100/200) että yksinkertaisella kapillaariviskometrillä (suoran putken painehäviö-massavirtamittaus)
- Tavoite oli selvittää jatkuva toimisen kapillaariviskometrin tarkkuutta sekä tutkia mustalipeän ei-Newtonilaisuutta kokeellisesti.
- Korkealaatuinen kalibrointineste toimi vertailukohtana.

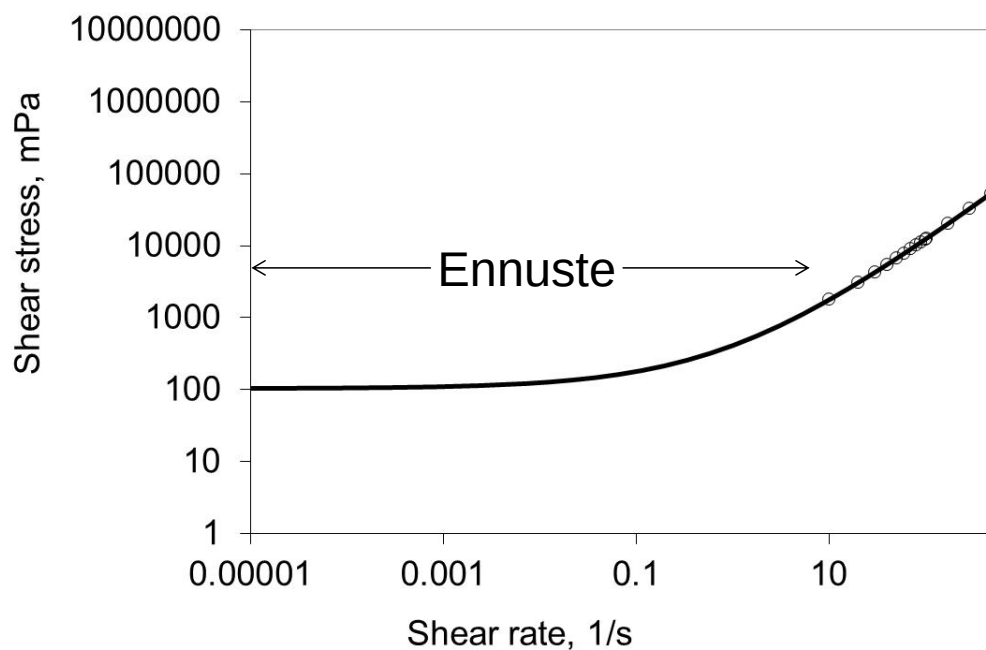


Viskositeettikuvaaja



Kuvassa on esitetty Cassonin malli, joka toimii hyvin mustalipeälle

Leikkausjännityskuvaaja

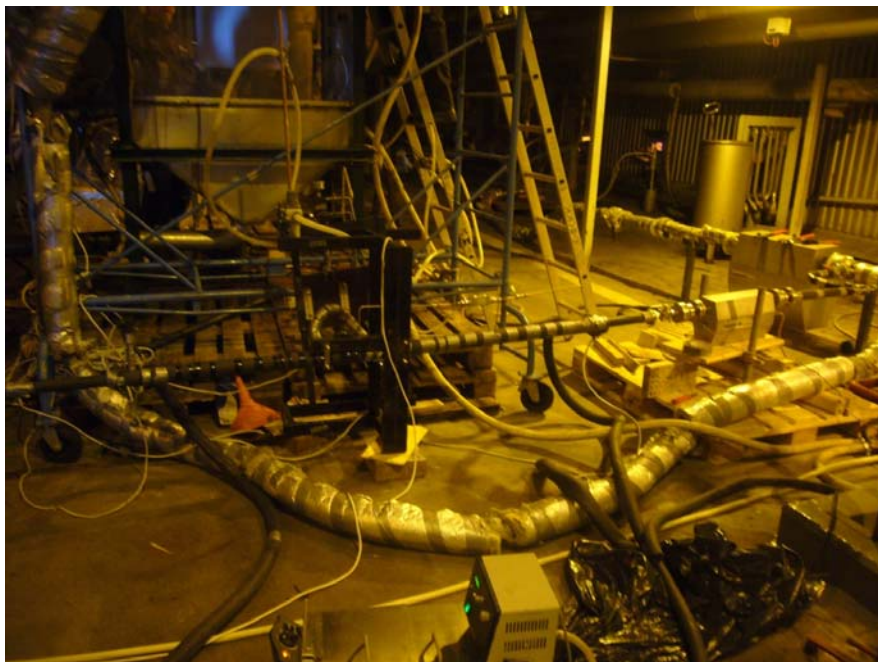


Havaintoja

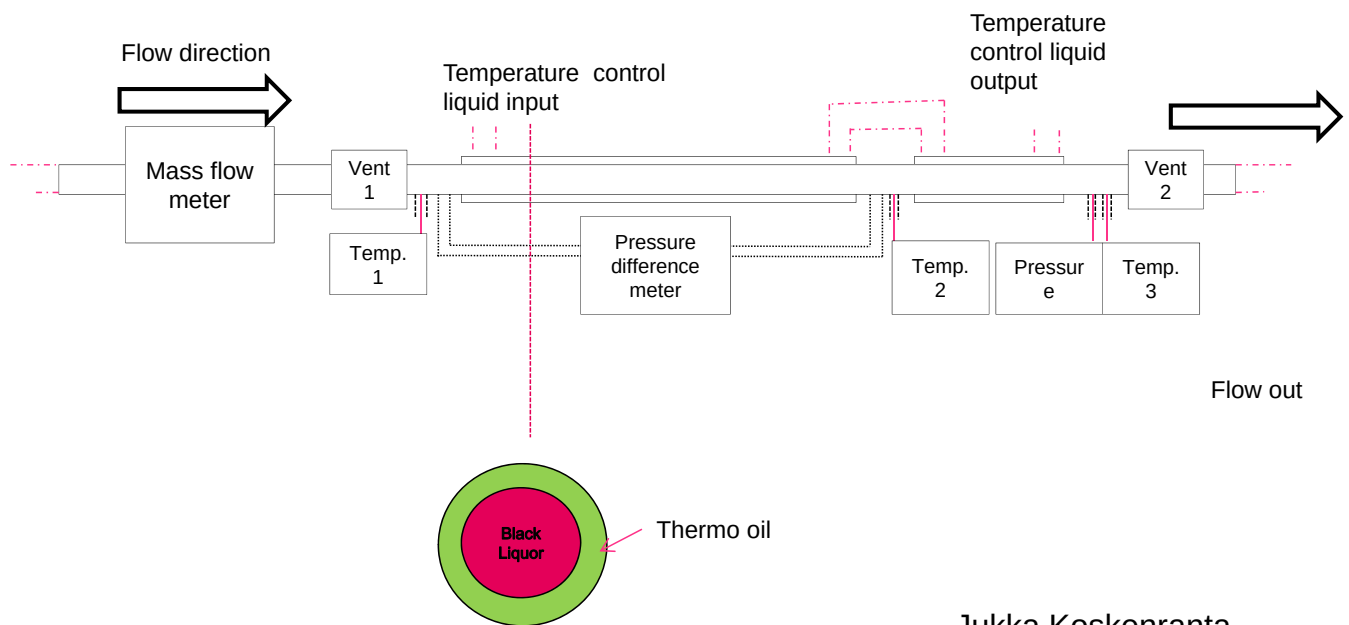
- Suurella leikkausnopeudella viskositeetti pysyy vakiotasolla ja lipeä käyttäytyy kuten Newtonilainen neste, tältä alueelta esim. Labtiumilta tilattavat perusanalyysit ovat.
- Kun leikkausnopeus laskee alle arvon 50 1/m, viskositeetti alkaa nousta jyrkästi.
- Lopulta liike pysähtyy kun leikkausjännitys laskee alle arvon 0.1 Pa, tämä vastaa *myötörajaa*
- Mittauslaitteen toiminta-alue ei yllä *myötörajan* tarkkaan määrittymiseen, arvo on saatu ekstrapoloimalla Cassonin mallista, $\tau_y = \mu_\infty a^2 = 0.103 Pa$, kts. edellinen kuvaaja



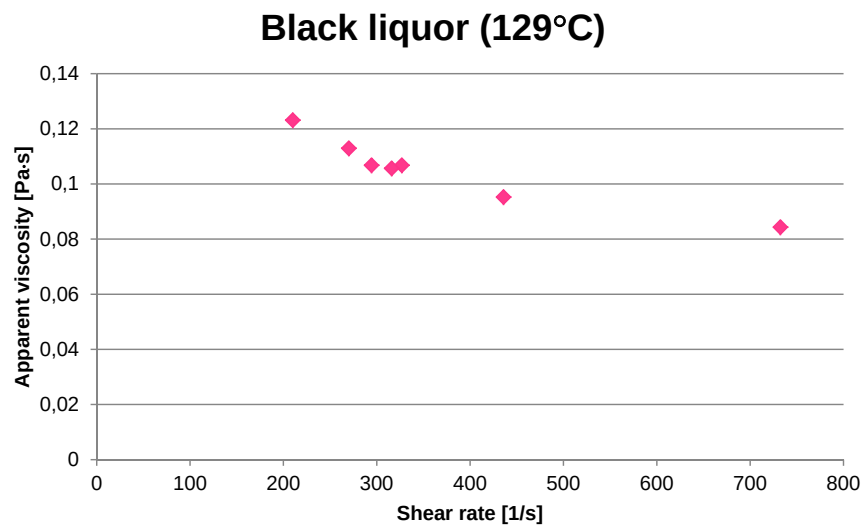
Viskositeetin mittaus tehtaalla



Online viskositeettimittari



Online viskositeettimittari, tehdaskoe



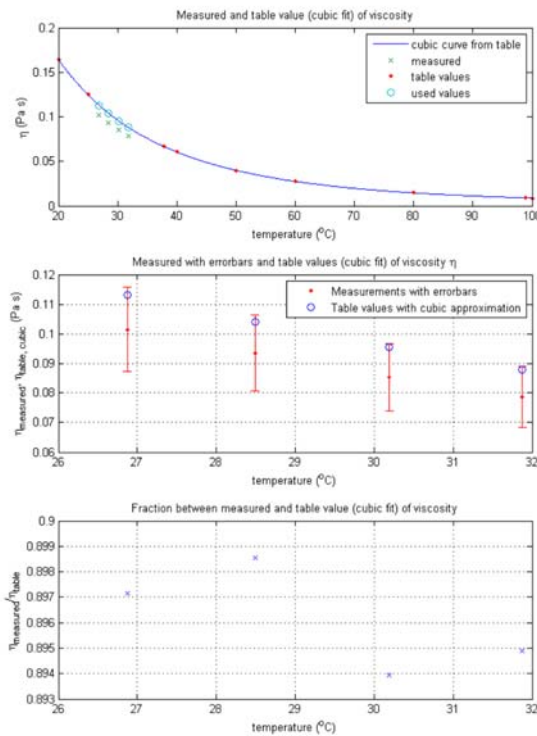
Online viskositeettimittari, kalibrointi

Kalibrointiöljy

ISO 170251 / ISO Guide 34
VISCOSITY AND DENSITY
REFERENCE STANDARD
N75

Tarkkuus
laboratoriossa
15%

Tarkkuus
tehtaalla
huonompi



Jukka Koskenranta



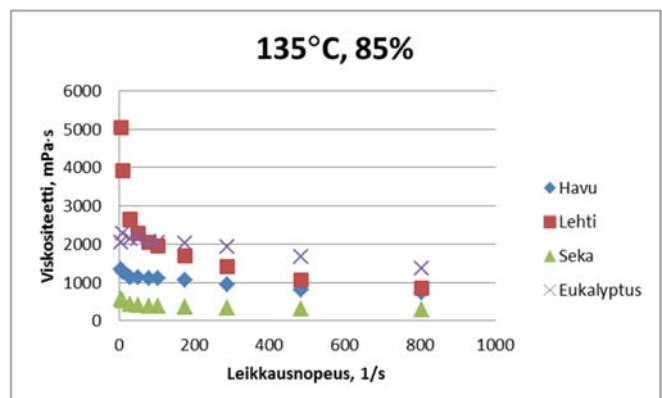
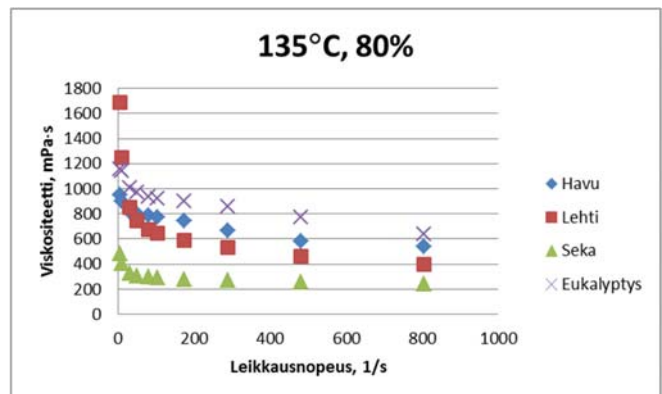
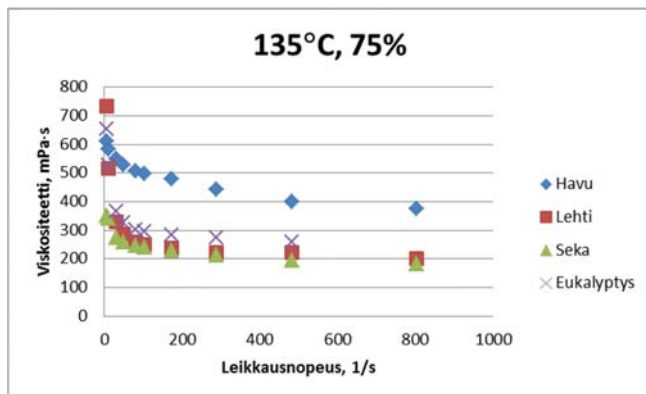
Näytteenotin



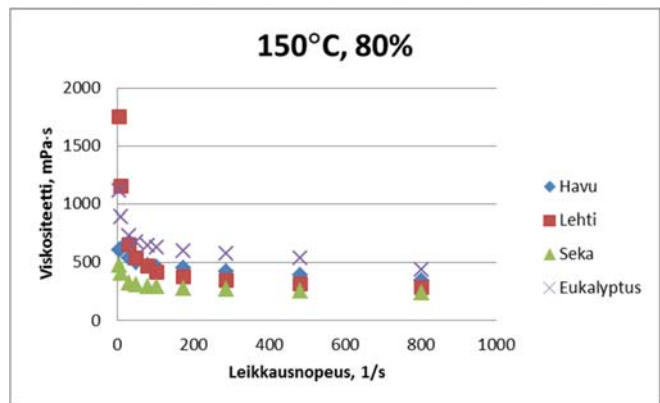
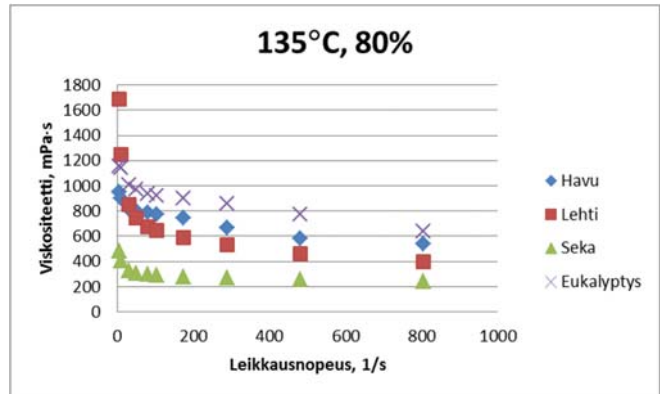
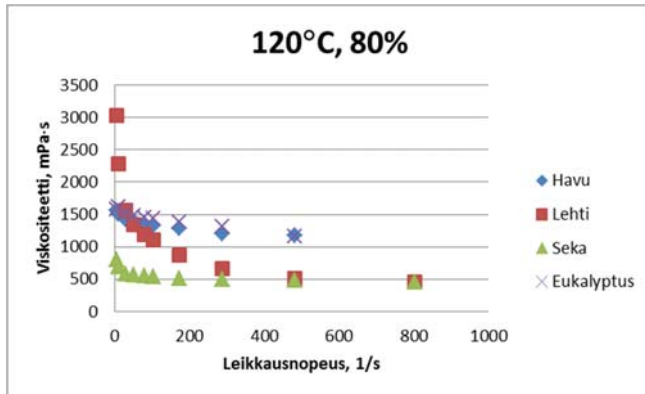
Viskositeetin mittaus laboratoriossa



Viskositeetin leikkausnopeusriippuvuus



Viskositeettin leikkausnopeusriippuvuus



Haake viskositeettimittari, kalibrointi

Kalibrointiöljy

ISO 170251 / ISO Guide 34 VISCOSITY AND DENSITY REFERENCE
STANDARD N4000

Tarkkuus leikkausnopeudella 288 1/s
lämpötiloissa 60-80°C, 8-16%

Tarkkuus huononee korkeammissa
lämpötiloissa

Viskositeetti, leikkausnopeus ja pumppaus

- Pumpuissa ja vastaavissa laitteissa pyörimisnopeudet ovat erittäin suuria ja tällöin myös leikkausnopeus on erittäin suuri.
- Leikkausnopeuden maksimiarvoa voidaan arvioida roottorin halkaisijan d , kärkivälyksen e ja pyörimisnopeuden n avulla,

$$\dot{\gamma} = \frac{\pi d n}{e}$$

- Jos $e = 2 \text{ mm}$, $d = 0.3 \text{ m}$ ja $n = 60 \text{ 1/s}$ leikkausnopeus on $28\,300 \text{ 1/s}$, eli reilusti vakioalueella.

Viskositeetti ja putkivirtaus

- Viskositeetti vaikuttaa mustalipeän virtauksen painehäviöön putkissa
- Yleensä virtaus on laminaarinen suurissa putkissa, eli $Re < 2300$, joten putken painehäviö saadaan yksinkertaisesti seuraavan yhtälön mukaan.

$$\Delta p = f \frac{L}{d} \rho_L \frac{u_L^2}{2} = \frac{64 L}{Re d} \rho_L \frac{u_L^2}{2} = \frac{32 \mu_a u_L L}{d^2} = \frac{128 \mu_a \dot{m} L}{\pi \rho_L d^4}$$

L on putken pituus, $\dot{m}$ on massavirta, ρ_L on mustalipeän tiheys, μ_a on apparent tiheys ja d on putken halkaisija.

Viskositeetti ja putkivirtaus

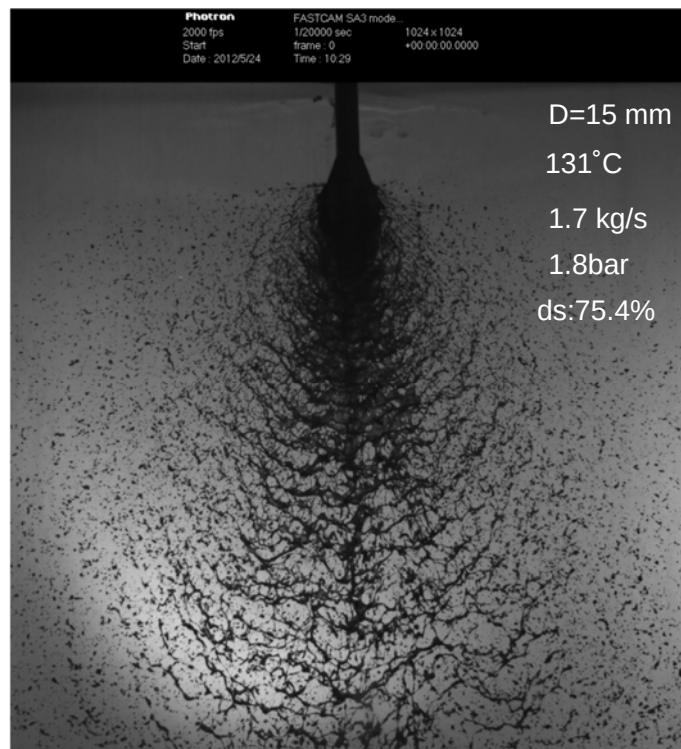
- Leikkausnopeus l. nopeuden gradientti virtausta kohtisuoraan laminaarissa 1D putkivirtauksessa saadaan seuraavasti

$$\dot{\gamma} = \frac{du}{dz} = \frac{8u_L}{d} = \frac{32\dot{m}}{d^3\rho_L}$$

- Jos esim. putkikoko on $d = 50$ ja 100 mm, massavirta 5 kg/s, tiheys 1400 kg/m³ leikkausnopeudeksi saadaan vastaavasti 467 ja 914 1/s, jolloin ollaan reilusti ”tasaisella alueella”.

Pisaroituminen ja viskositeetti

- Pisaroiden muodostuminen alkaa kalvon hajoamisella ja rihmojen syntymisellä
- Rihmat kuroutuvat pisaroiksi pintajännityksen vaikutuksesta



CFD mallinnuksen periaate

- Käytettiin ANSYS FLUENT ohjelmaa pisaroitumisen laskentaan, vapaan pinnan laskenta, 3D kuvaus
- 1 mm, 3 mm ja 8 mm pisarat venytettiin 8:1 sylintereiksi ja päästettiin vapaaksi ja annettiin pintajännityksen vetää kokoon
- Verrattiin lisäksi eroa Newtonilaisen ja ei-Newtonilaisen tilanteen välillä.

$t = 0$ s



Animaatio

Newtonian



time: 0.000000

non-Newtonian



time: 0.000000

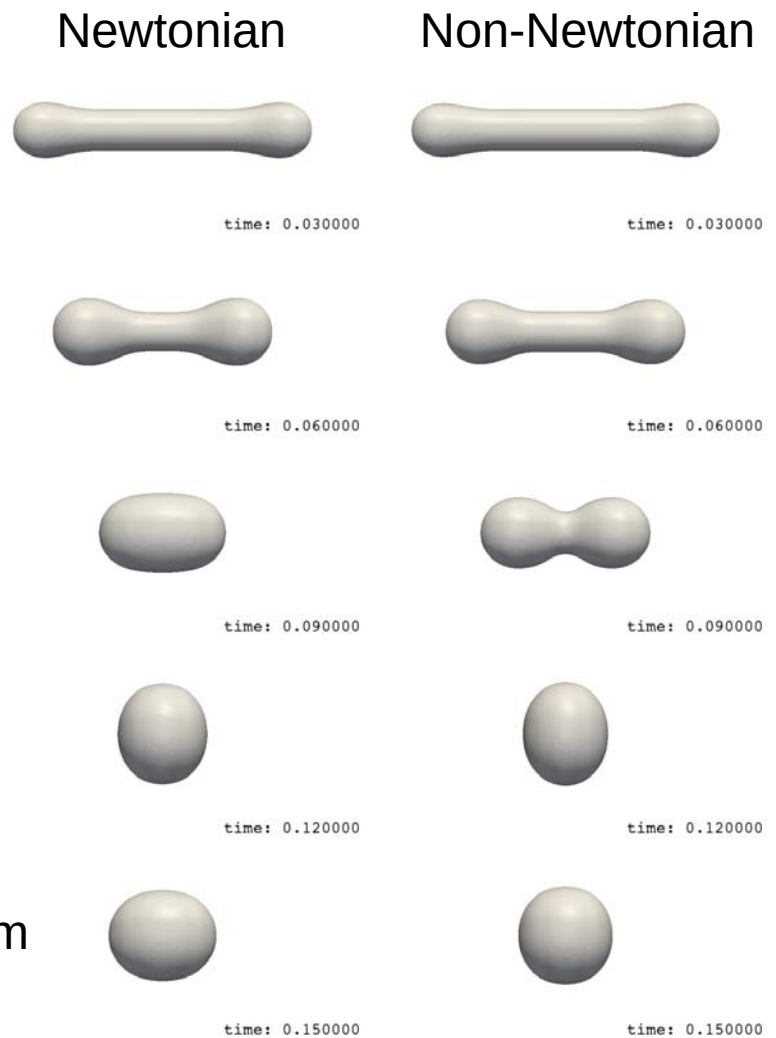


1 mm pisarat 300 mPas 0-0.15 s

- Todellisuutta vastaava tilanne hieman hitaampi.
- 15 m/s lähtönopeudella pisara valmis 2.2 m päässä



2.2 m

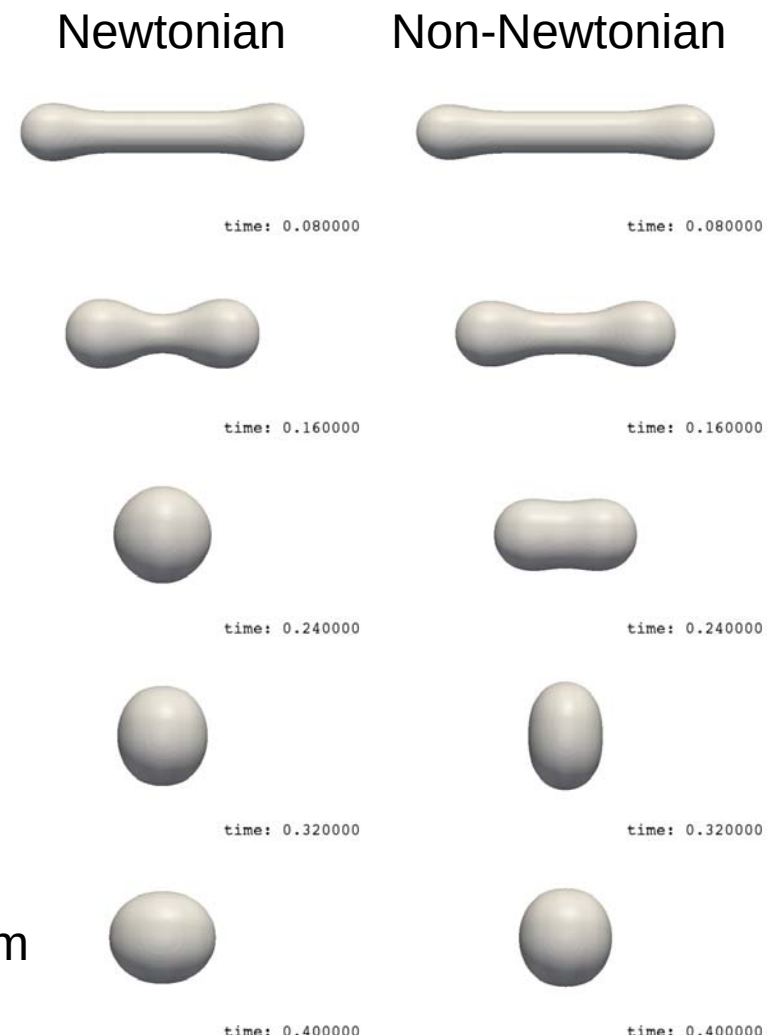


3 mm pisarat 300 mPas 0-0.4 s

- Ei suurta eroa silmämääräisesti
- 15 m/s nopeudella pisarat valmiit 4.8 m päässä

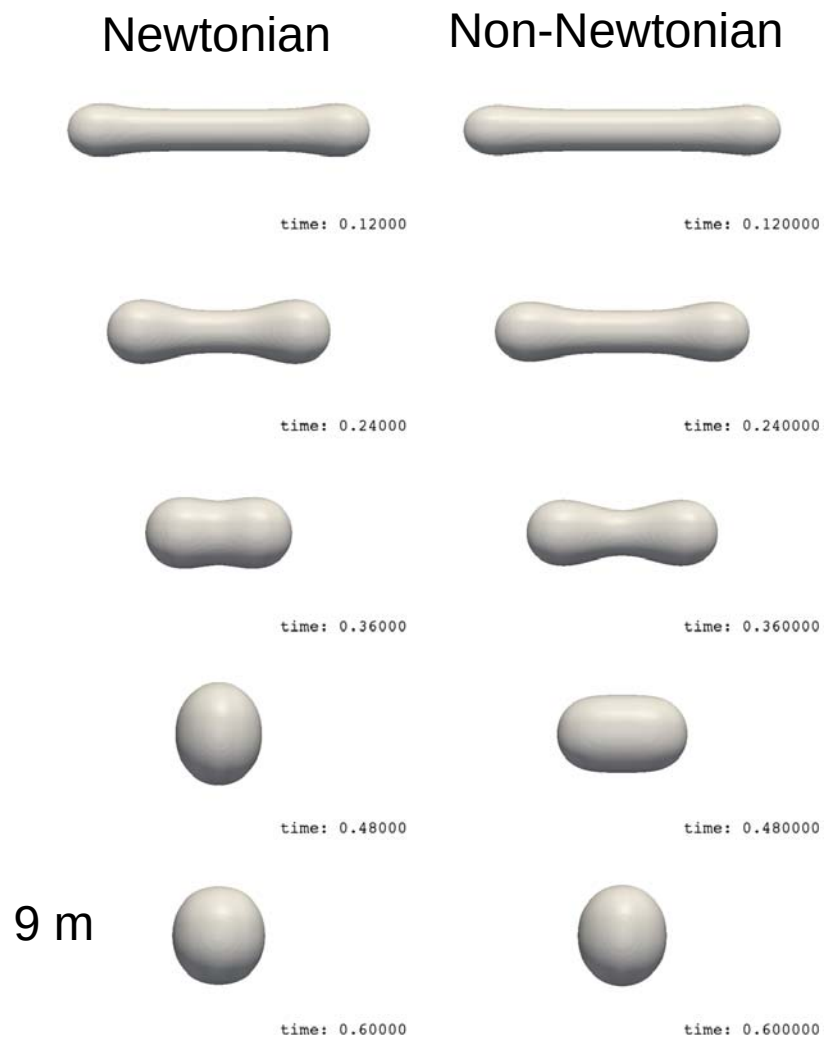


4.8 m

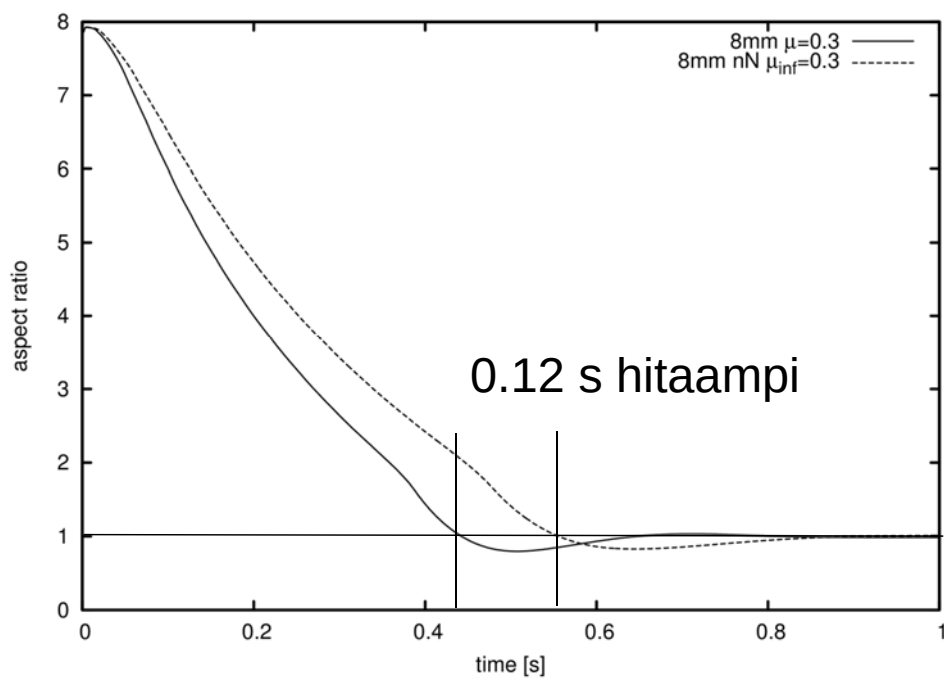


8 mm pisarat 300 mPas 0-0.6 s

- 8 mm ei suurta eroa
- 15 m/s nopeudella pisarat valmiit 9 m päässä



8 mm pisaran muodostuminen, vertailu numeroina



Johtopäätöksiä

- Kaikki lipeätyypit ei-Newtonilaisia pienillä leikkausnopeuksilla alle 80 1/s
- Alhaisessa kuiva-aineessa (75%) havupuun viskositeetti on korkein
- Korkeassa kuiva-aineessa (85%) eukalyptuksen viskositeetti on korkein
- Omatekoinen kapillaariviskometri antaa parhaimmillaan 15 % tarkkuuden
- Haake viskometri antaa parhaimmillaan 8 % tarkkuuden

Johtopäätöksiä

- Laskettiin ensimmäistä kertaa mustalipeänpisaroiden muodostumista huomioiden viskositeetin ei-Newtonilaisuus.
- Ei-newtonilisuuden vaikutus oli laskelmien mukaan esim. 8 mm pisaralle n. 20 % pisaran muodostumisaikaa hidastava.
- 1 mm, 3 mm ja 8 mm pisarat muodostuvat 0.15, 0.4 ja 0.6 s aikana, vastaten 2.2, 4.8 ja 9 m etäisyyksiä suuttimesta. Hidastava vaikutus on 8 mm kohdalla 2 m luokkaa. WC20

Jatkotutkimusajatuksia

- Pisaramuodostumisen laskennan validointi kokeellisesti käyttäen sopivaa korvikenestettä laboratorio-olosuhteissa.
- Miten kuivuminen vaikuttaa, pinnan kuivuessa viskositeetti kasvaa, mutta mitä tapahtuu pintajännitykselle?
- Menetelmän soveltaminen sulan käyttäytymisen tutkimukseen, sulan virtausongelmien ratkaisu. Sulan pisaroituminen sekoitussäiliössä.
- Sulan viskositeettimittaukset yhdessä Oulun yliopiston kanssa, metallurgian kuonien kanssa vastaavia haasteita, kuona erittäin ei-Newtonilainen kuten sulakin.

Yhteystiedot

- Ari Kankkunen, ari.kankkunen@aalto.fi, + 050 414 6003
- Associate Professor, Mika Järvinen, mika.jarvinen@aalto.fi, +358 50 414 2593

<http://energytech.aalto.fi>



LIITE 8

**LTR: CFD Modeling of Reduced Lignin Black Liquor Combustion,
ÅA – esitys 3.12.2014**



CFD Modeling of Reduced Lignin Black Liquor Combustion

Markus Engblom, Niko DeMartini,
Åbo Akademi

SKY Lipeätyöryhmä meeting 3.12.2014

Objective and CFD runs 1-7

- CFD modeling for studying what operational changes may be needed when firing reduced lignin black liquor
- CFD modeling of Wisaforest recovery boiler
 - **Run 1:** Base Case, 100% MCR, flue gas O₂ 3% (wet)
 - **Runs 2 and 3:** 10% and 20% lignin removed, total air adjusted for flue gas O₂ 3% (wet), other variables unchanged
 - **Runs 4-7:** 10% & 20% lignin removed, modifications to air distribution (Runs 4&5) and liquor spraying (Runs 6&7)

Modeled Black Liquors (1/3)

	Original Black Liquor (wt% d.s.)	Lignin [1] (wt% d.s.)
C	32.2	64.5
H	3.3	6
N	0.09	0.1
Na	21.4	0.3
K	2.4	0.05
Cl	0.3	0
Tot. S	6.4	2.5
SO ₄	5.4	0
OH	1.74	0
HHV (MJ/kg d.s.)	13.2	26.5

Composition of
reduced lignin BL
based:

- Lignin content
of BL: 36 wt-%
- 175 kg H₂SO₄/ton
lignin precipitated
[1]

1 Tomani, P. The lignoboost process. In Proceedings to The 2nd Nordic Wood Biorefinery Conf., 2-4 Sept. 2009, Helsinki, Finland, pp. 181-188.

Modeled Black Liquors (2/3)

	Original Black Liquor (wt% d.s.)	10% lower lignin (wt% d.s.)	20% lower ligning (wt% d.s.)
C	32.2	30.9	28.9
H	3.3	3.2	3.03
N	0.09	0.09	0.09
Na	21.4	22.8	23.9
K	2.4	2.6	2.7
Cl	0.3	0.32	0.34
Tot. S	6.4	7.0	7.5
SO ₄	5.4	6.7	7.87
OH	1.74	1.4	1.1
HHV (MJ/kg d.s.)	13.2	12.4	11.6

Modeled Black Liquors (3/3)

	Original Black Liquor	10% lower lignin	20% lower ligning
Liquor d.s. (wt-%)	81.3	81.3	81.3
Volatiles (kg/kg d.s.)	0.337	0.337	0.337
Char-C (kg/kg d.s.)	0.143	0.103	0.074
Inorganics (kg/kg d.s.)	0.516	0.555	0.585
Na ₂ S (kg/kg d.s.)	0.115	0.120	0.121
Na ₂ SO ₄ (kg/kg d.s.)	0.080	0.101	0.118
Na ₂ CO ₃ (kg/kg d.s.)	0.320	0.335	0.345
HHV (MJ/kg d.s.)	13.2	12.4	11.6
LHV (MJ/kg liquor)	8.4	7.8	7.2

Liquor feed and combustion air (Runs 1-3)

	Original Black Liquor	10% lower lignin	20% lower ligning
Liquor feed (tds/d)	5320	5160	5000
Of MCR (%)	100	97	94
Air (kg/s)	272	256	232
Air (Nm3/s)	211	199	180
Primary	22%	22%	22%
Secondary	43%	43%	43%
Tertiary	35%	35%	35%
Target flue gas O ₂ (% wet)	3.0	3.0	3.0
HHRR (MW/m ²) based on (HHV / LHV)	3.6 / 2.9	3.3 / 2.6	3.0 / 2.3
T _{adiabatic}	1240 °C	1150 °C	1100 °C

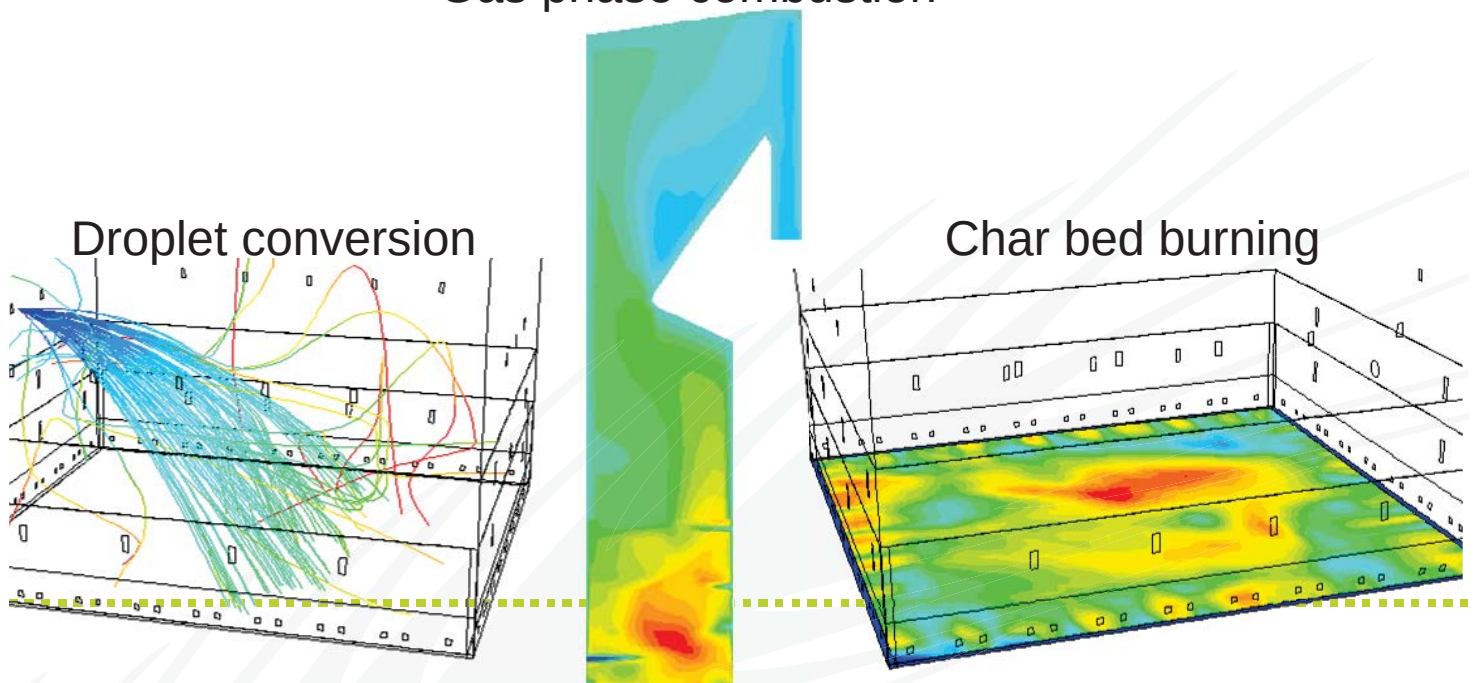
CFD calculation strategy

- Set up Base Case
 - Liquor and air mass flows
 - Droplet size for C-balanced situation
 - Reduced ligning cases
 - liquor to 10% or 20% reduced lignin
 - total air for target 3% O₂ (wet flue gas)
 - Other variables remain the same
-

ÅA CFD Recovery Furnace Model

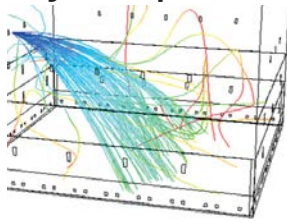
- Fluent based
- ÅA sub-models for droplets and char bed

Gas phase combustion

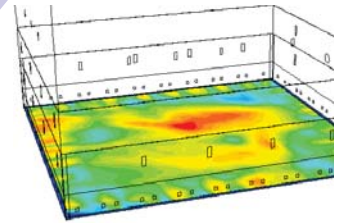


Char bed burning model

Carbon input
by droplets

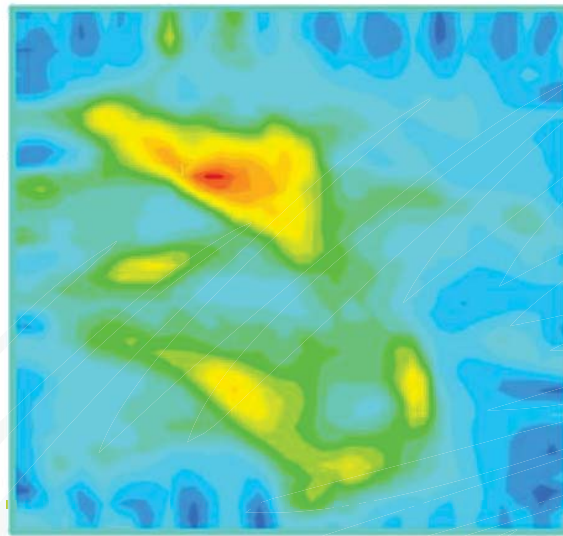
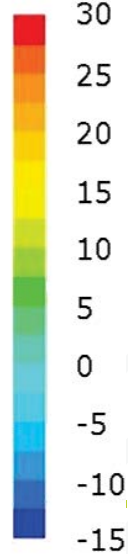


Char carbon
conversion

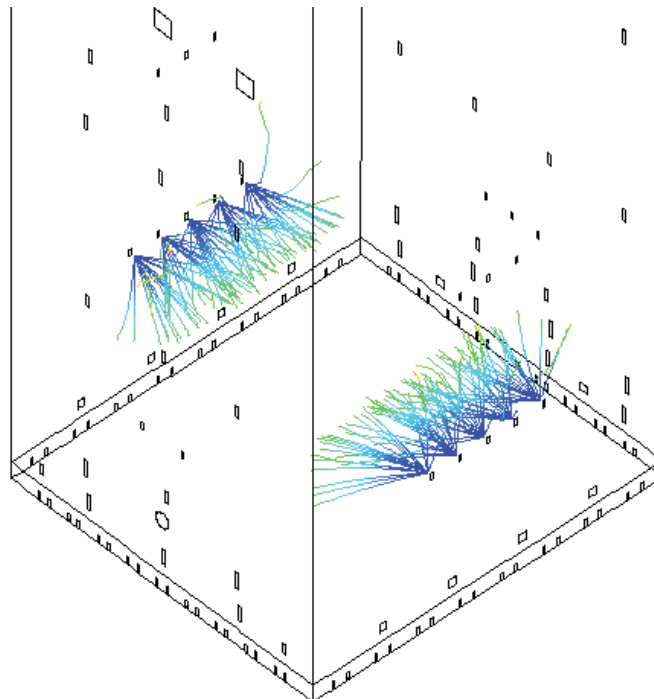


(g/s-m²)

Carbon accumulation



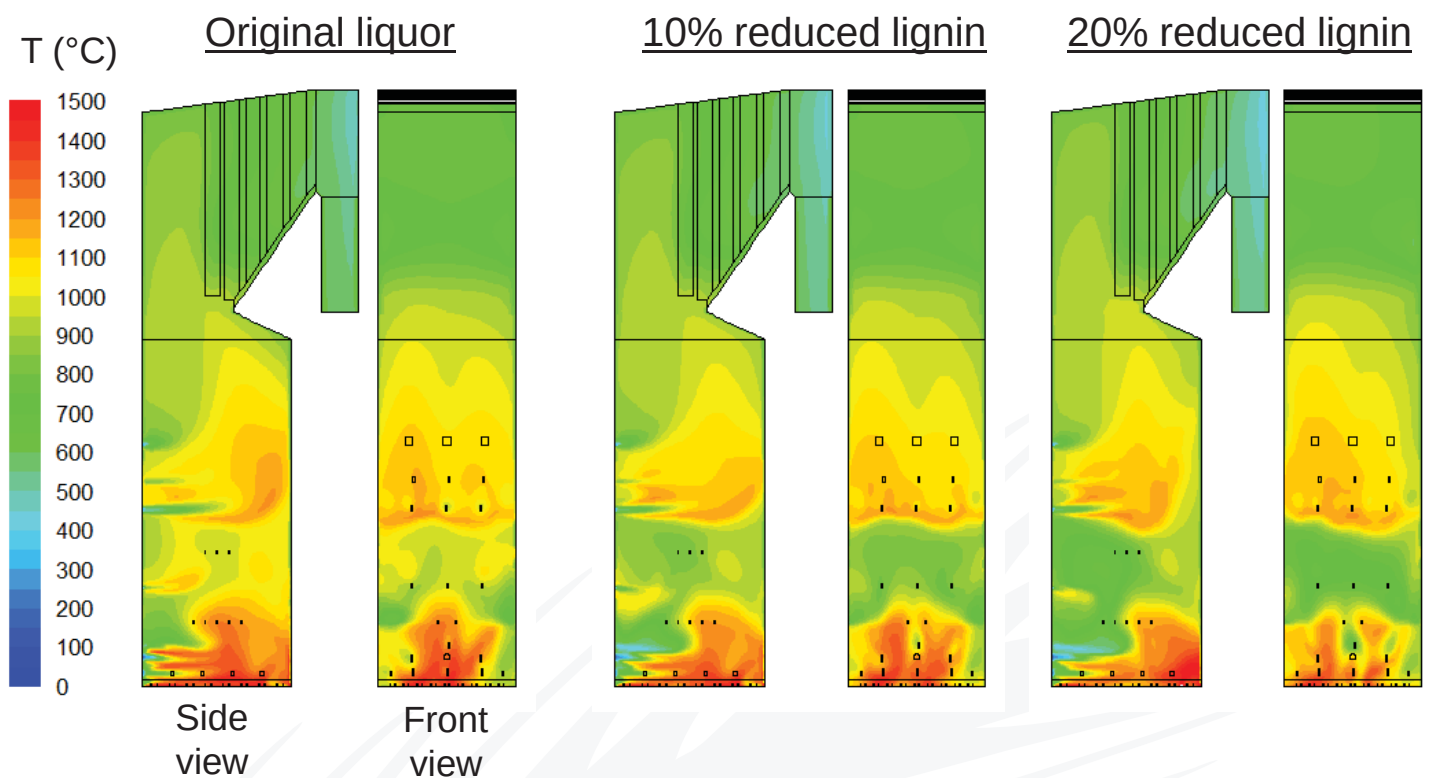
Wisa liquor gun locations



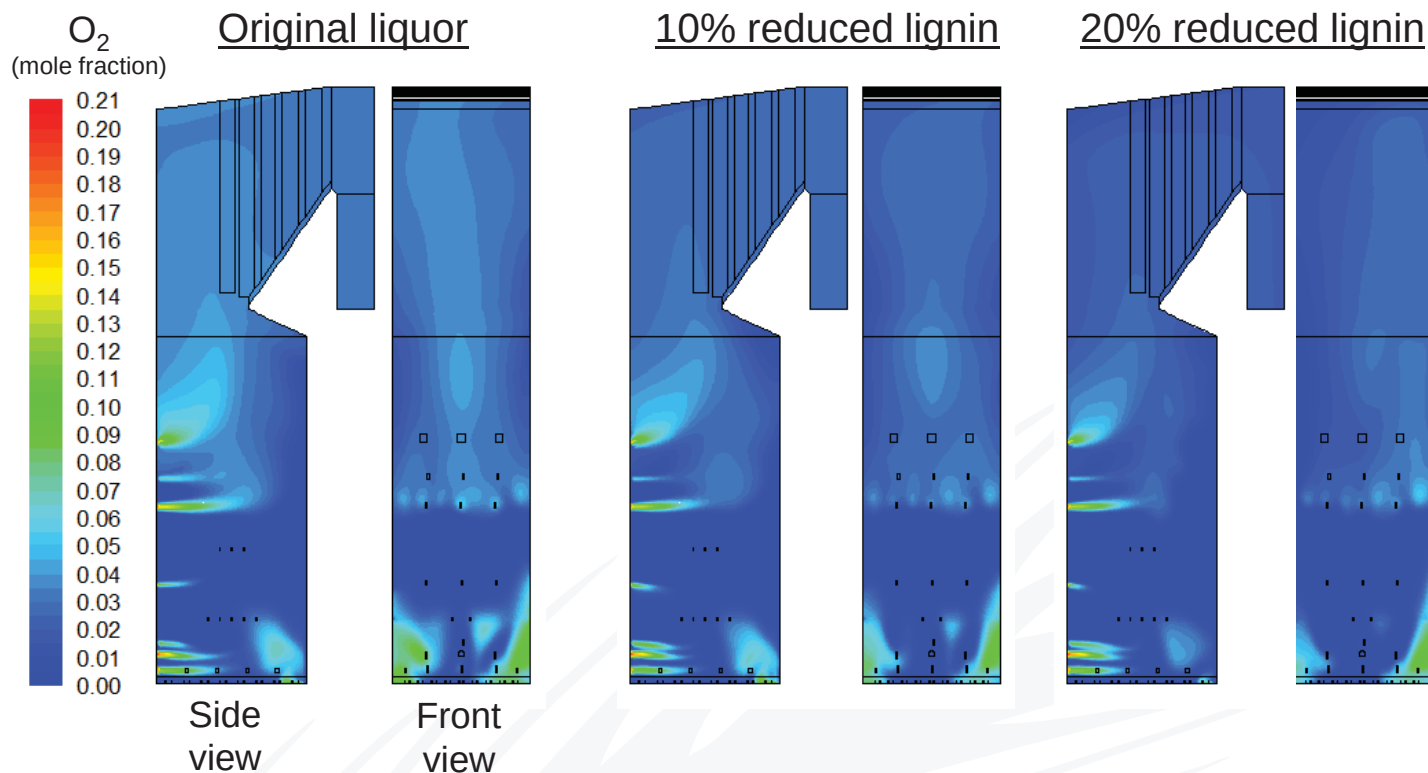
Guns on left and right wall; 5 guns/wall

CFD results

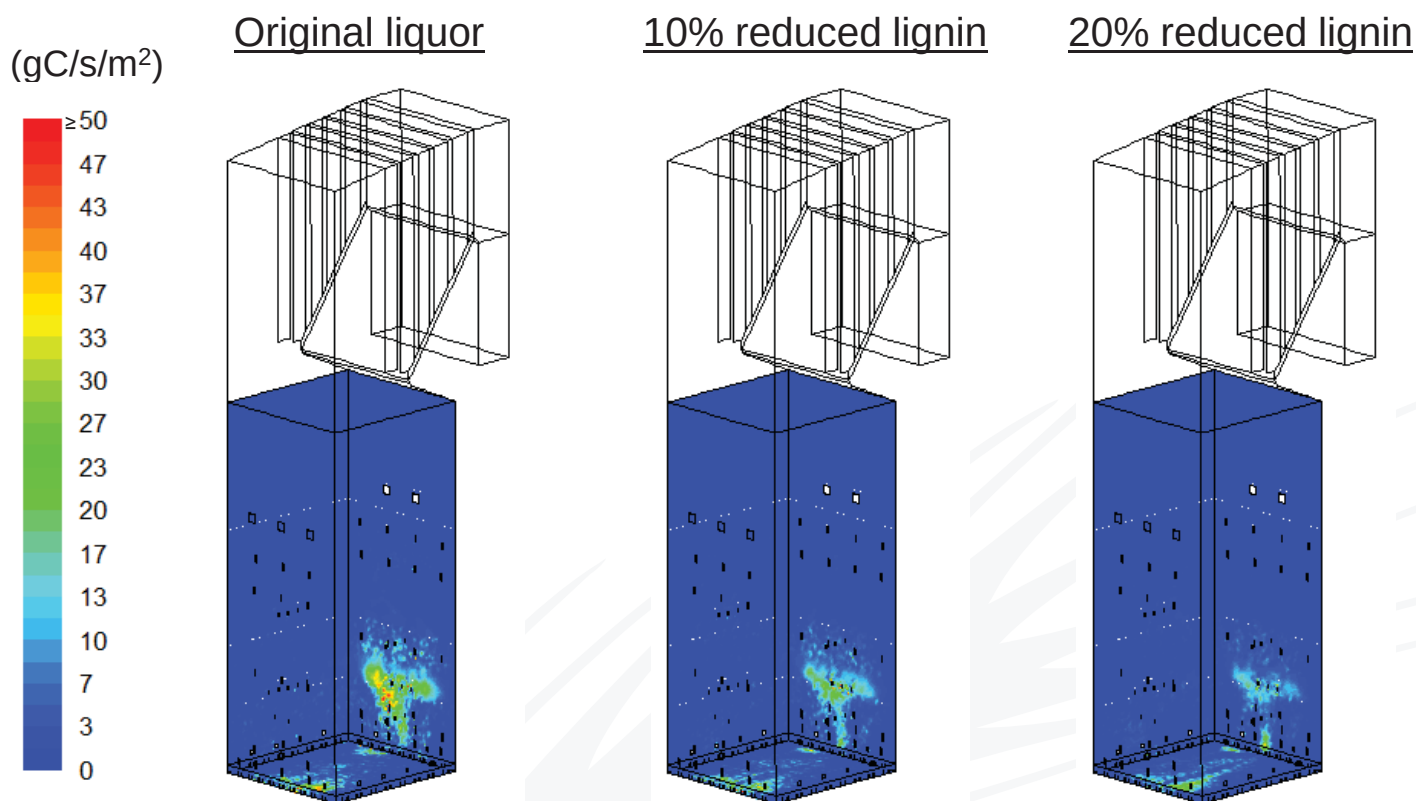
Temperature



O₂ concentration

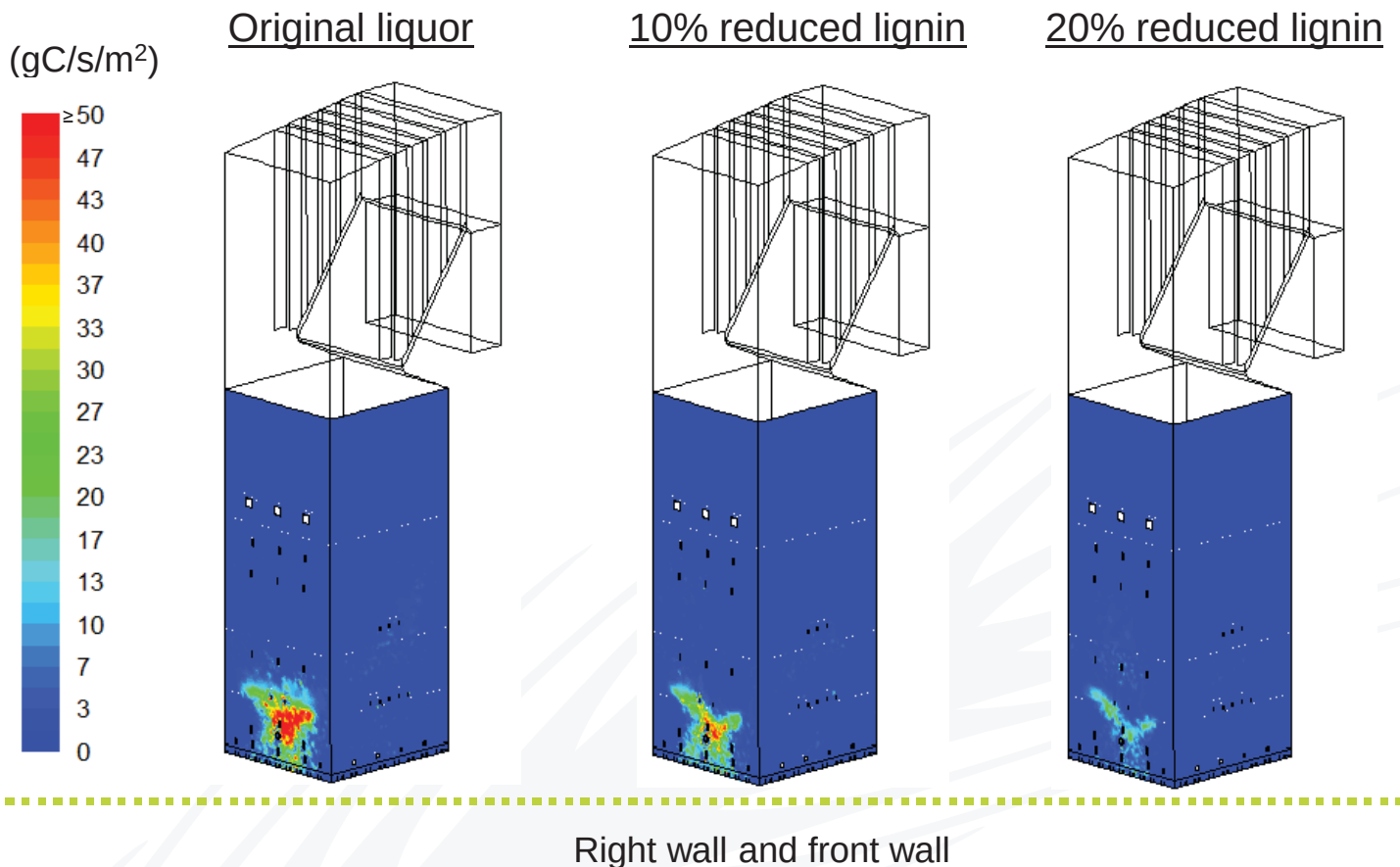


Carbon to walls/bed

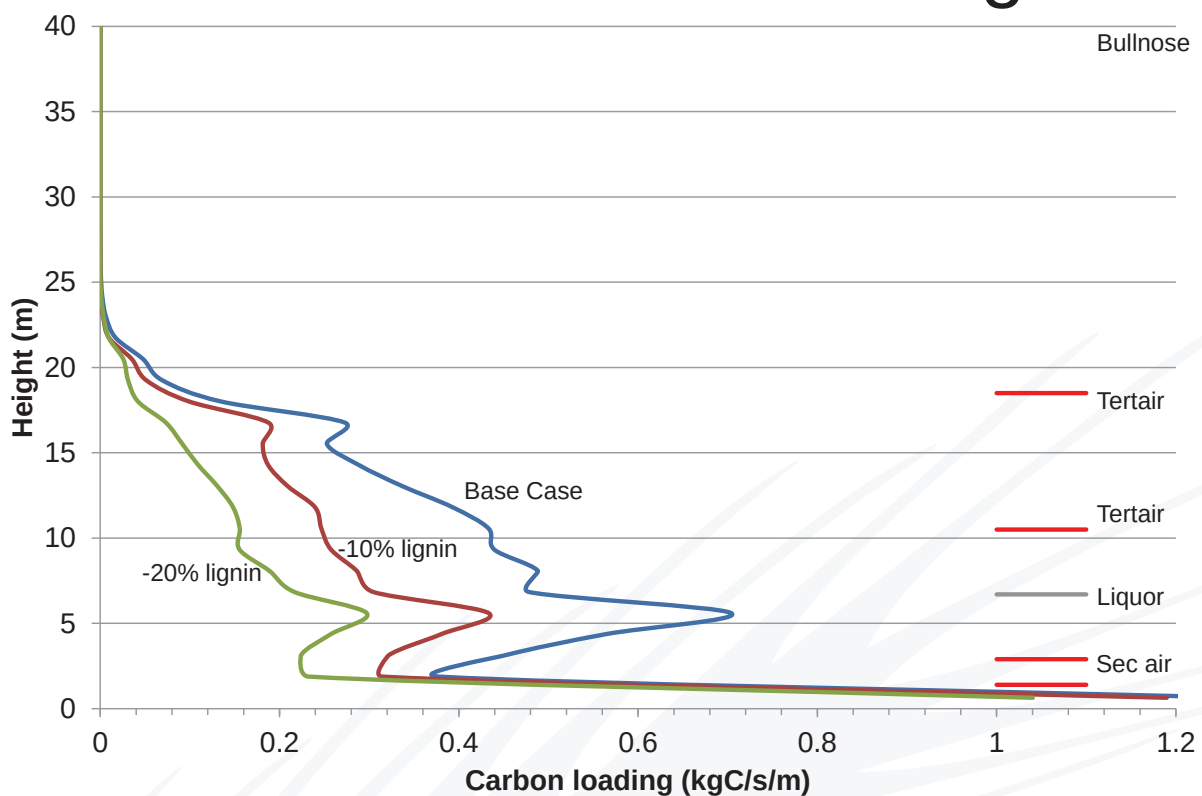


Left wall, back wall, and char bed

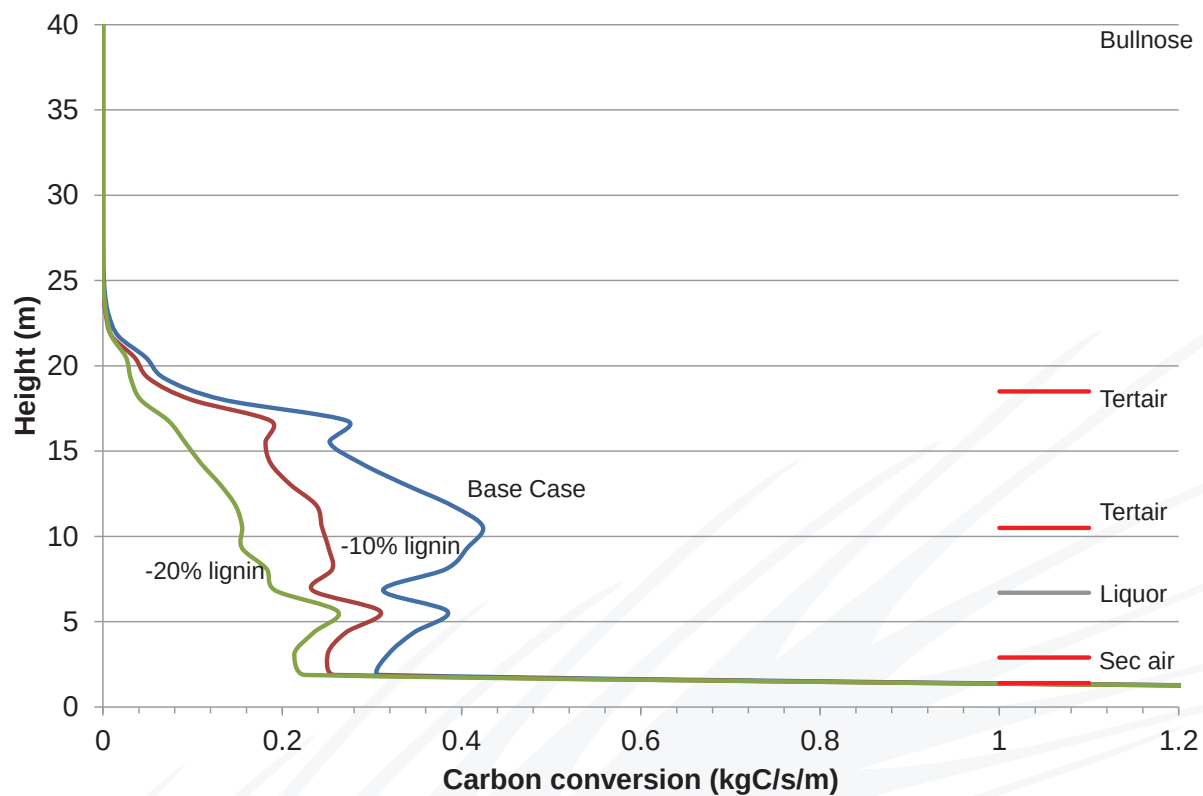
Carbon to walls/bed



Furnace carbon loading



Furnace carbon conversion



Fate of char carbon

(kg/s)	Base Case	10% reduced lignin	20% reduced lignin
In liquor feed	8.81	6.19	4.30
in-flight conversion	3.90	2.60	1.79
to bed/walls	4.91	3.59	2.51
conversion on bed/walls	4.70	4.37	4.10
carbon accumulation	0.21	-0.78	-1.59

Fate of char carbon

(%)	Base Case	10% reduced lignin	20% reduced lignin
In liquor feed	100.0	100.0	100.0
in-flight conversion	44.3	42.0	41.6
to bed/walls	55.7	58.0	58.4
conversion on bed/walls	53.4	70.5	95.5
carbon accumulation	2.3	-12.5	-37.1

Carbon accumulation and comb. air

	Base Case	10% reduced lignin	20% reduced lignin
carbon accumulation (kg/s)	0.21	-0.78	-1.59
Air to balance carbon accumulation (kg/s)	2.4	-8.9	-18.2

Conclusions - Runs 1-3

- Less char-C with lignin removal
 - Lower furnace less loaded with char-C
 - Dynamic situation of more carbon conversion than delivery
 - Operational changes
 - Reduce prim/sec air (runs 4 & 5) and/or
 - Change spraying – larger droplets (runs 6 & 7)
-

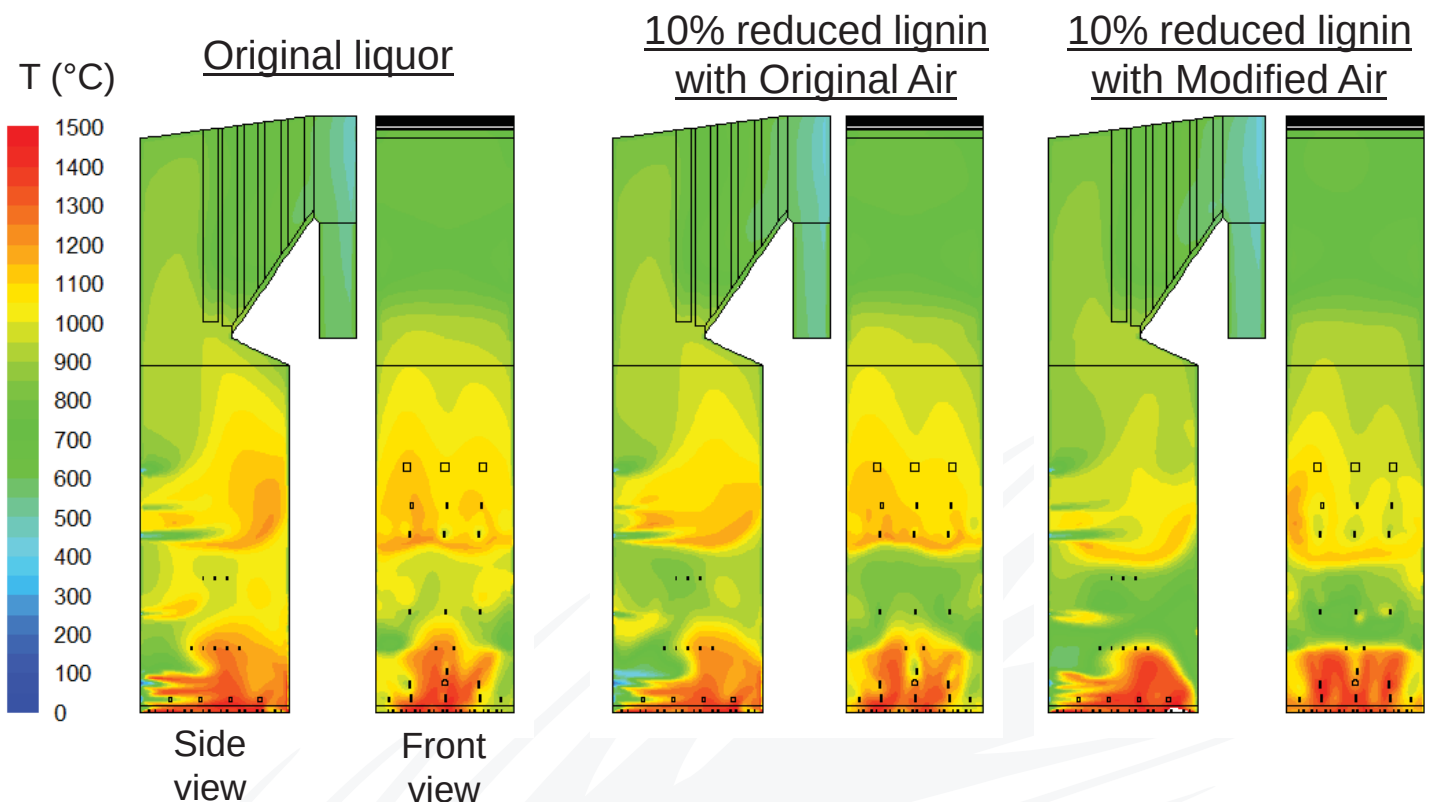
Runs 4 and 5 – Reduced air

- Primary and secondary air reduced to reflect the reduced char carbon load to the lower furnace
 - CFD calculation objective:
 - Reduce carbon oxidation in lower furnace until carbon balance ≈ 0
 - By reducing prim/sec air
 - Run 4: 10% lignin removed
 - Run 5: 20% lignin removed
-

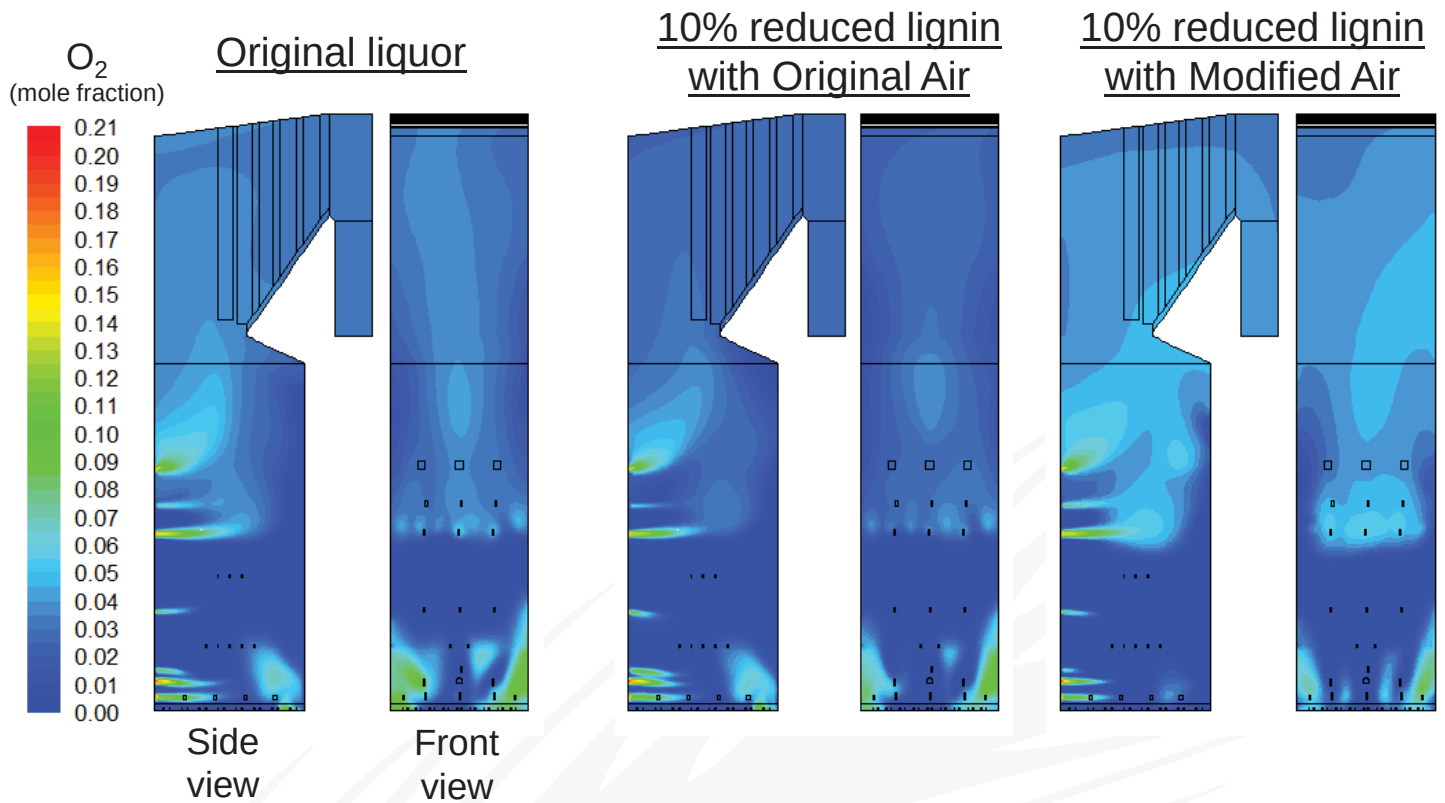
Air Distribution – Runs 4 and 5

	Run 2	Run 4		Run3	Run 5
Lignin Removed	10%	10%		20%	20%
	Original Air	Modified Air		Original Air	Modified Air
Total Air (kg/s)	256	256		232	232
Primary (kg/s)	56	44		51	35
Secondary (kg/s)	110	97		100	58
Tertiary (kg/s)	90	115		81	139
Primary (%)	22	17		22	15
Secondary (%)	43	38		43	25
Tertiary (%)	35	45		35	60

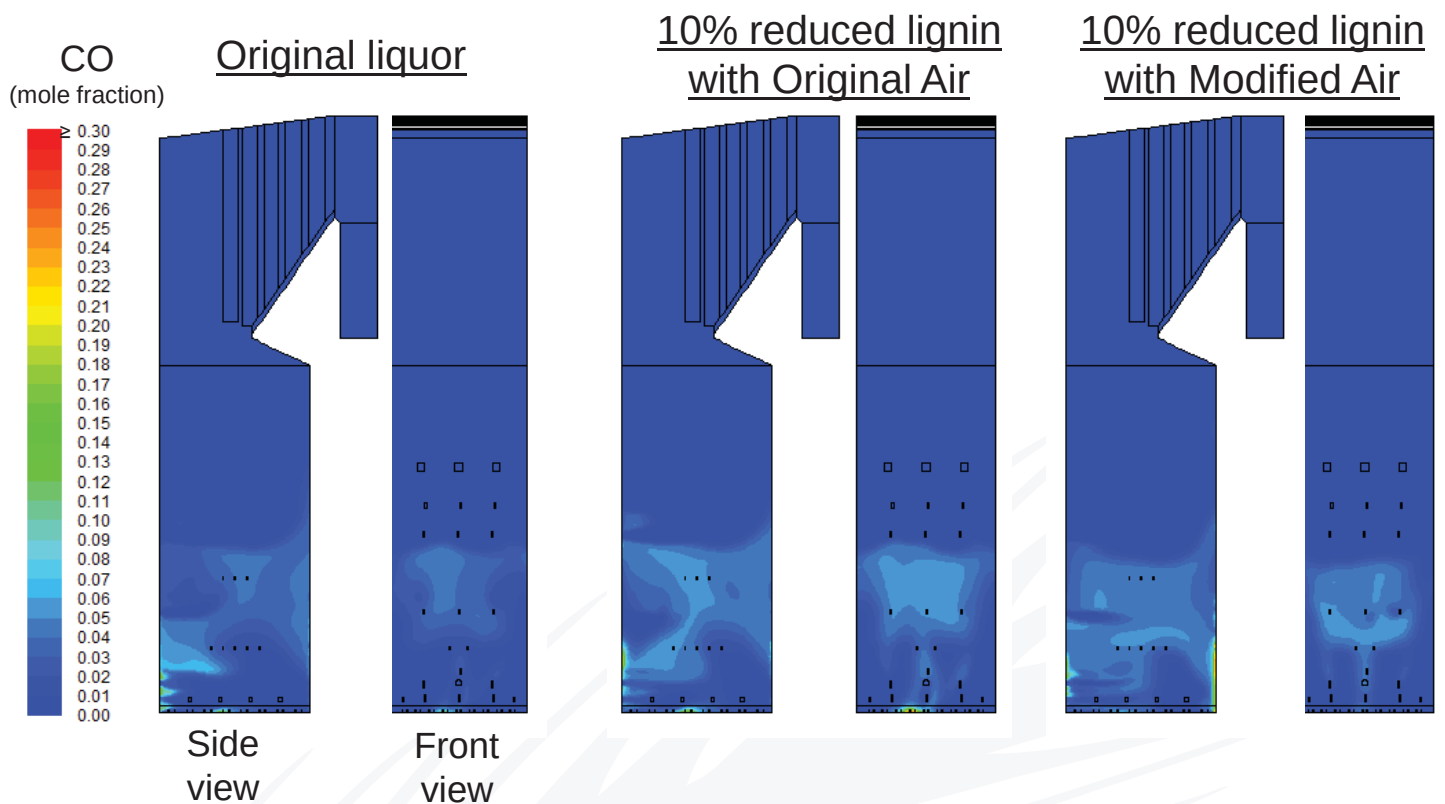
Temperature (-10% lignin)



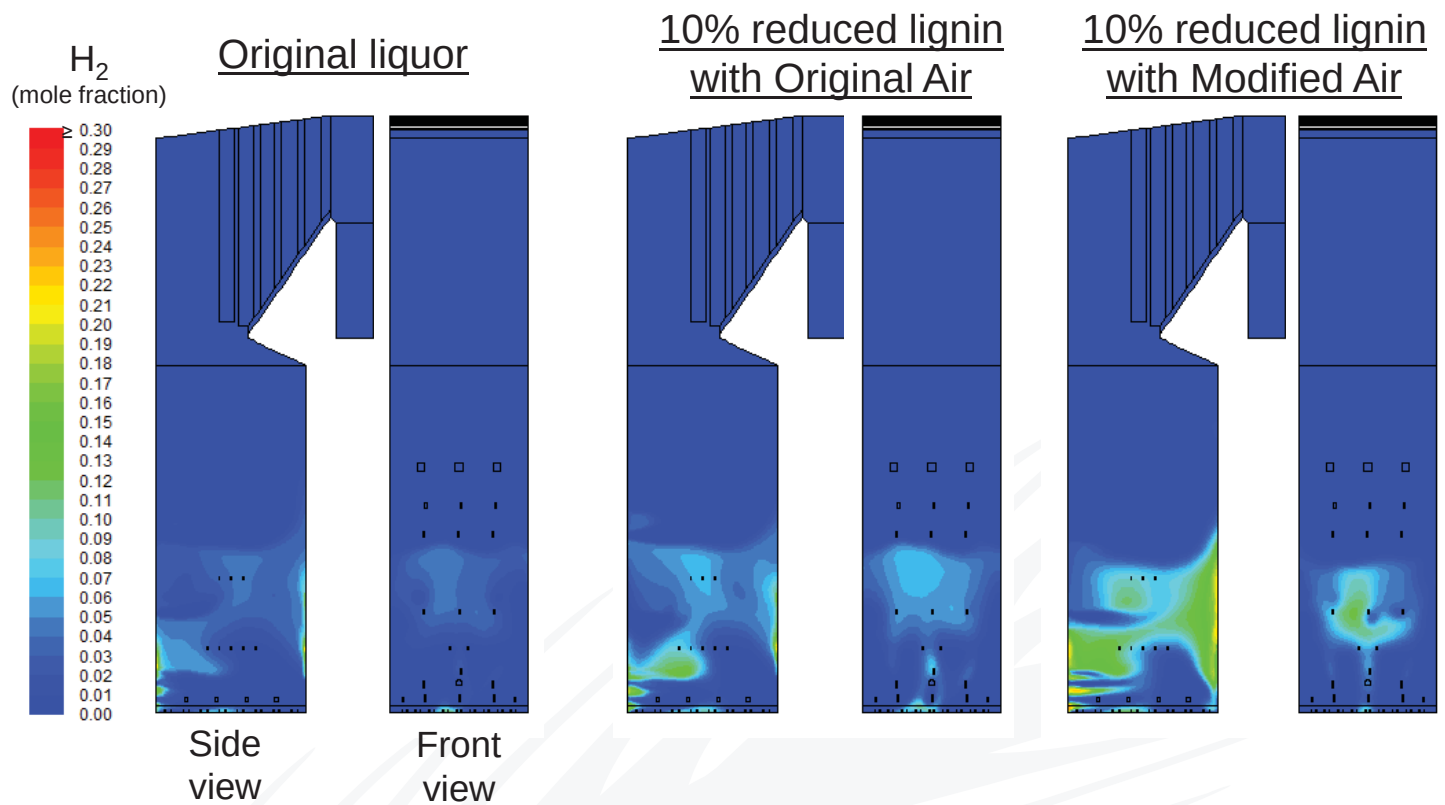
O₂ concentration (-10% lignin)



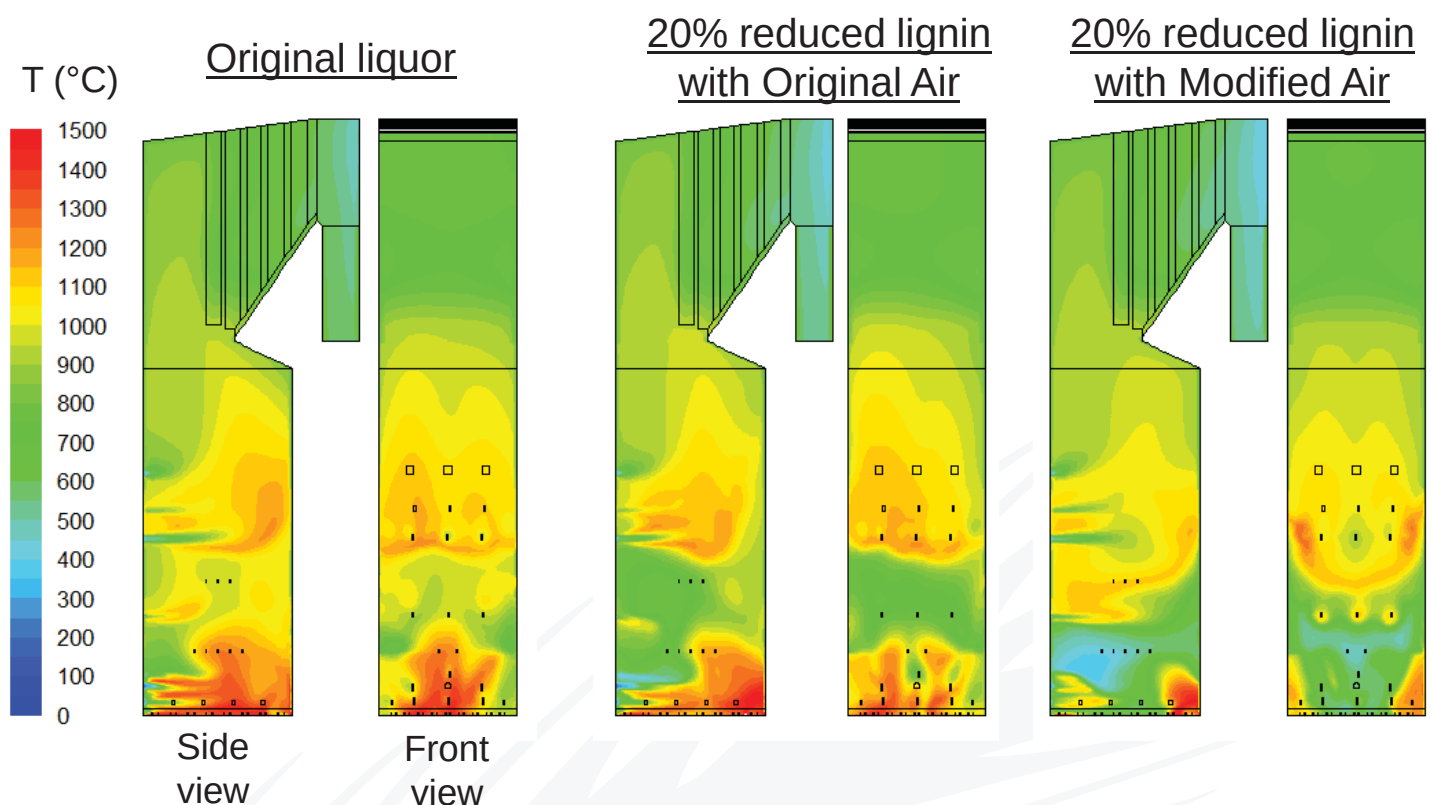
CO concentration (-10% lignin)



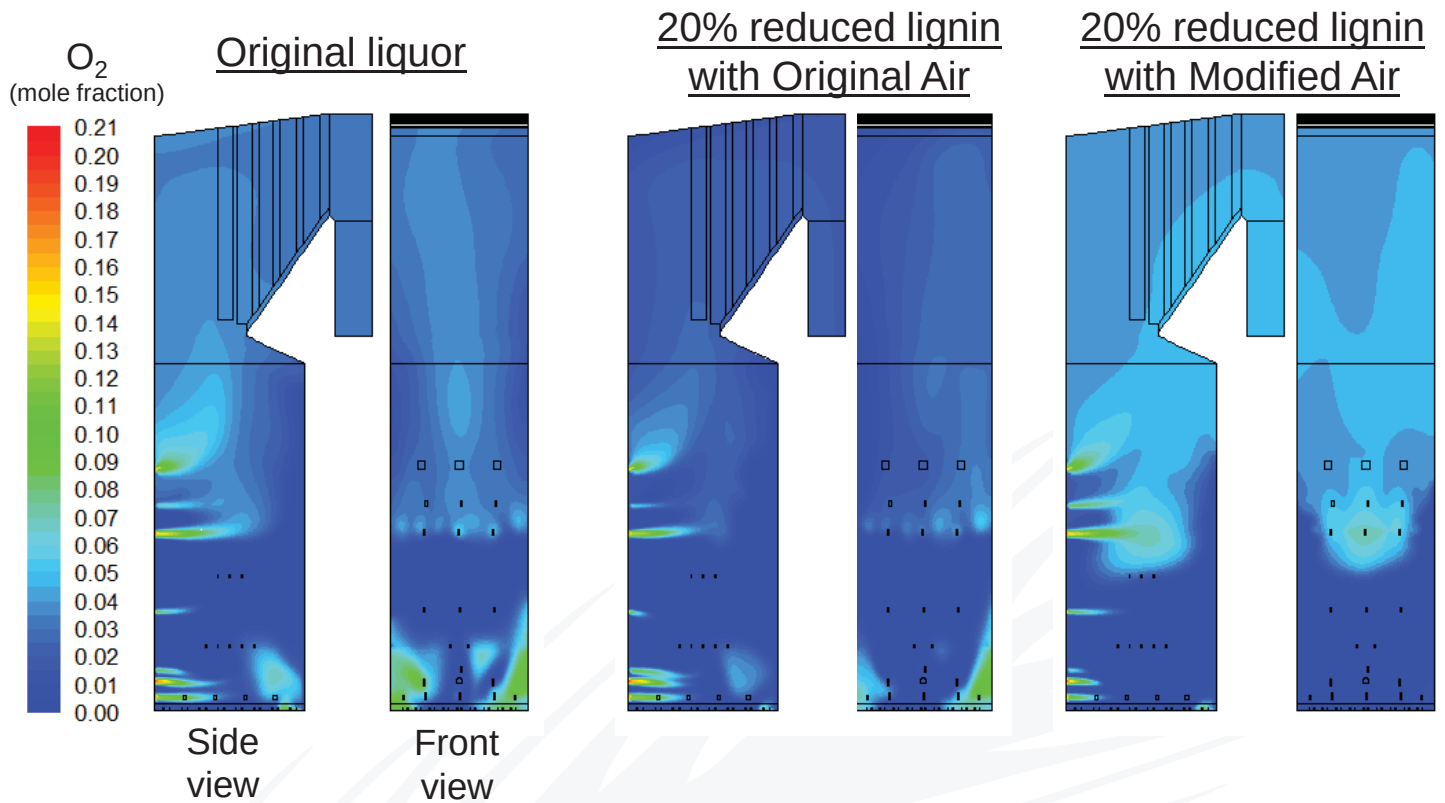
H₂ concentration (-10% lignin)



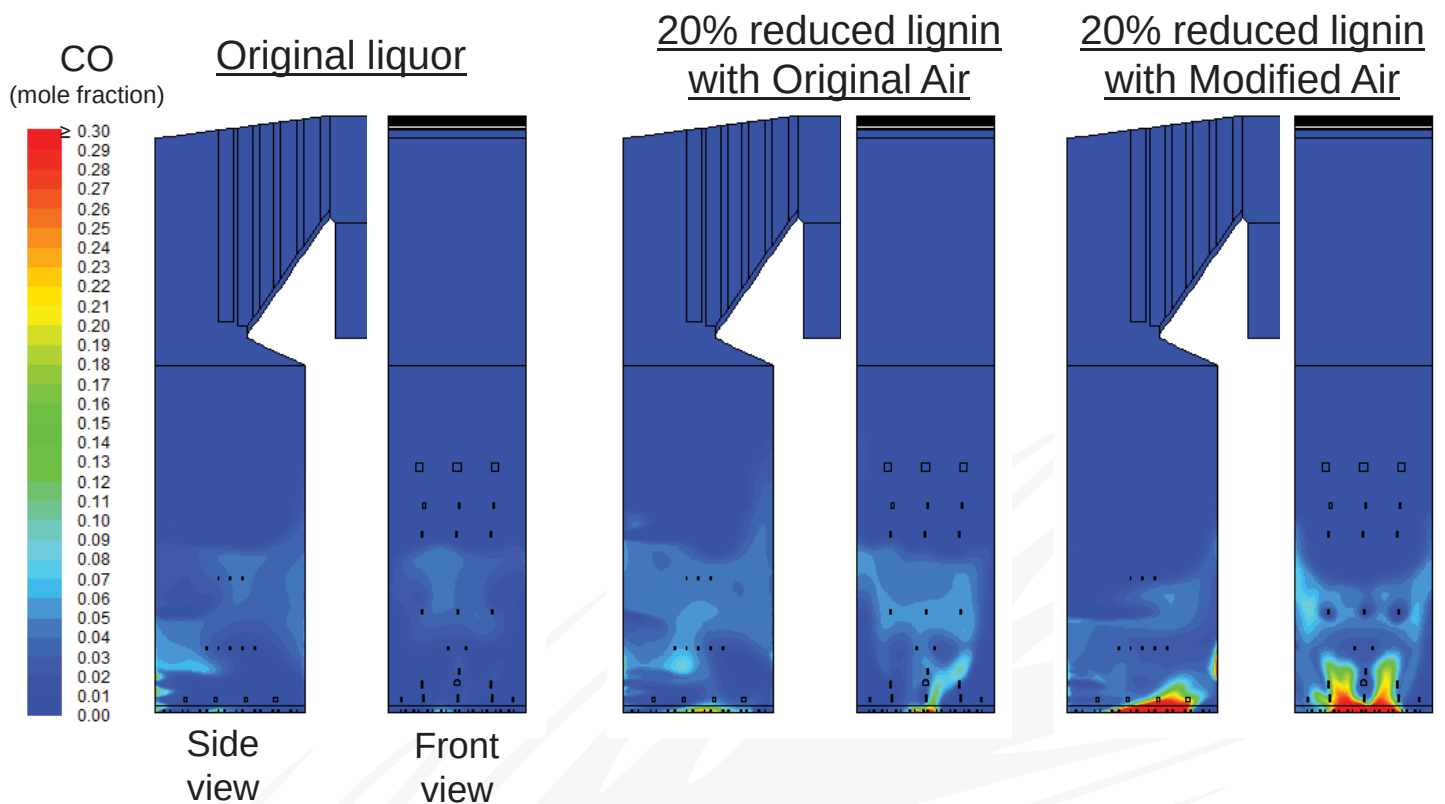
Temperature (-20% lignin)



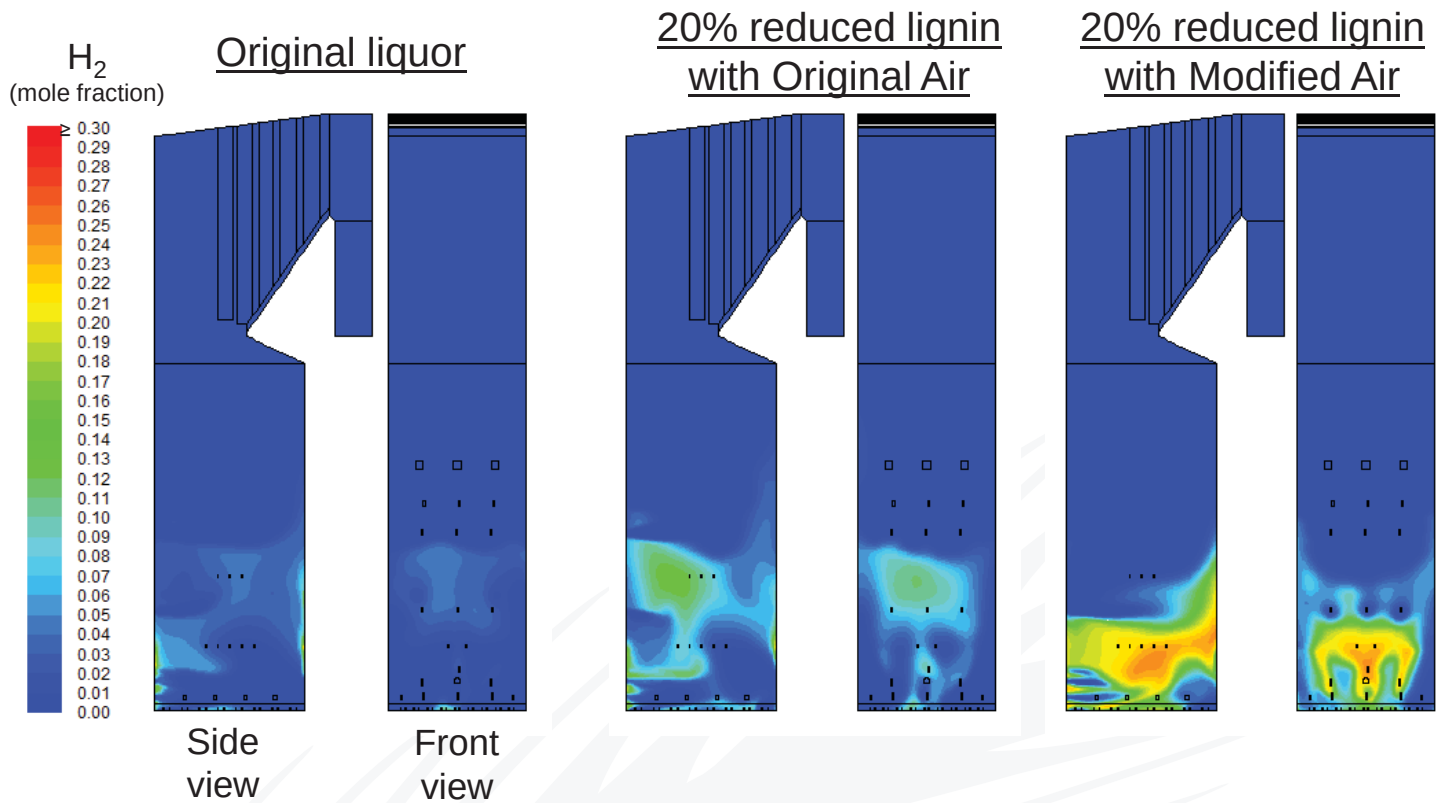
O₂ concentration (-20% lignin)



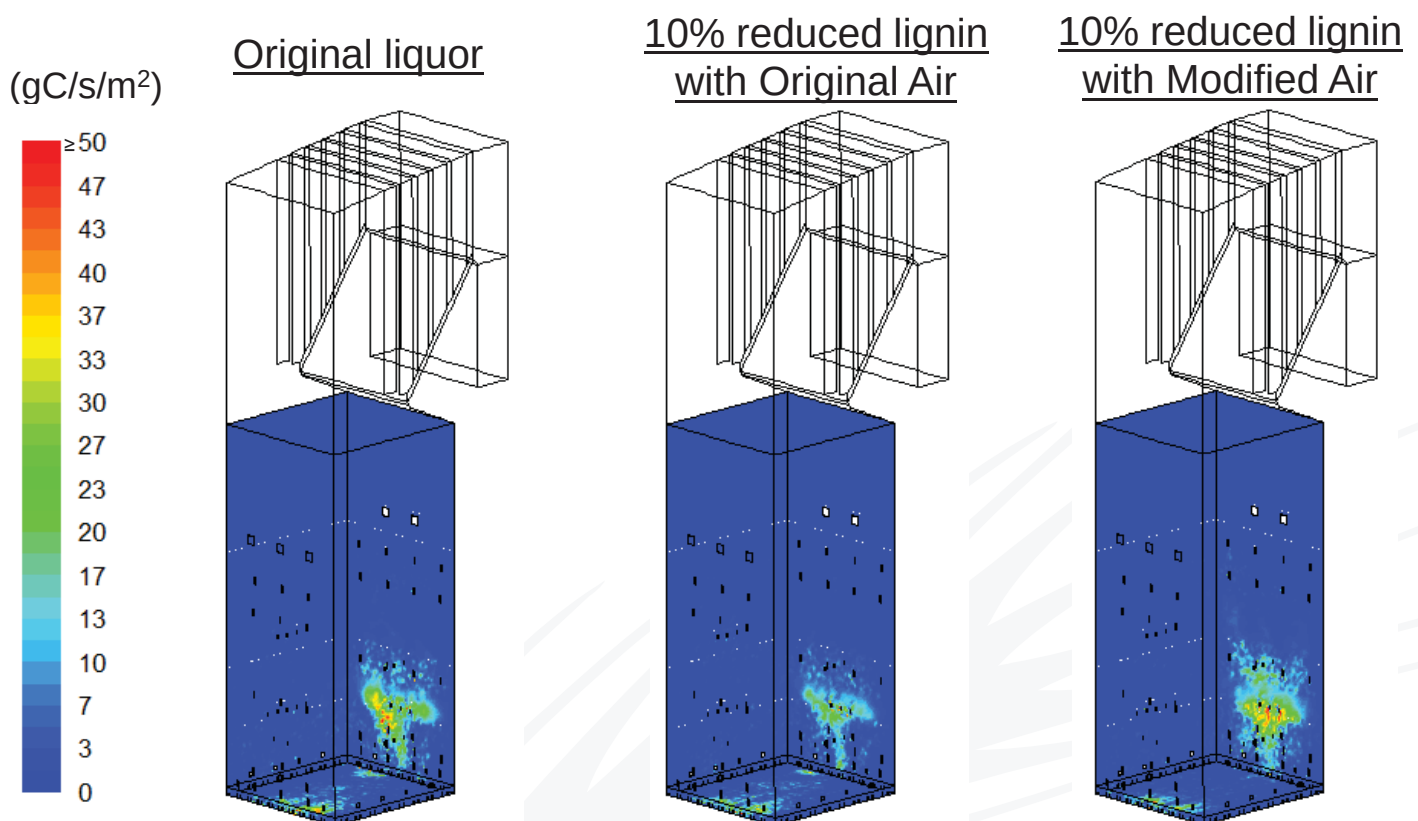
CO concentration (-20% lignin)



H₂ concentration (-20% lignin)

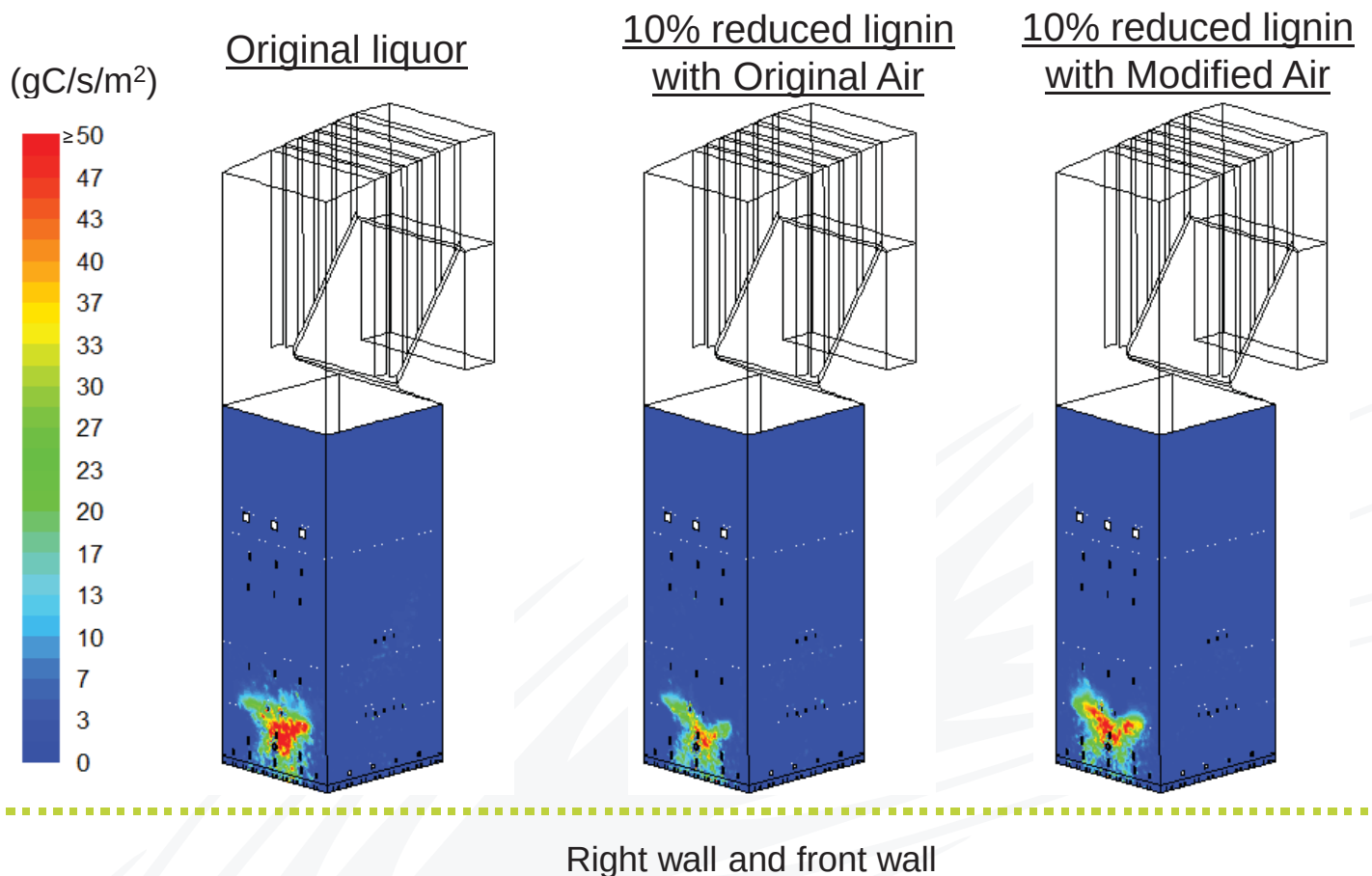


Carbon to walls/bed (-10% lignin)

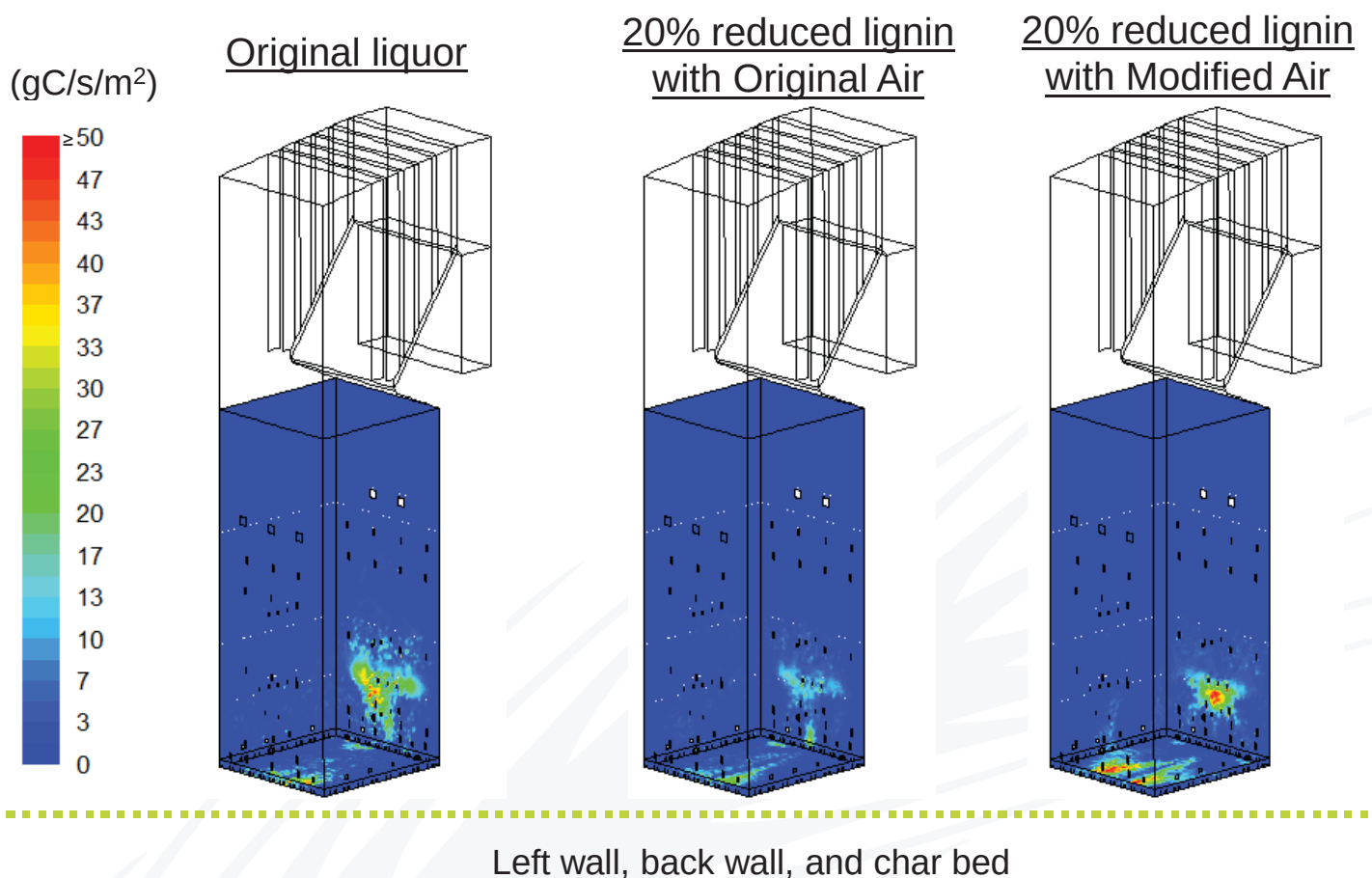


Left wall, back wall, and char bed

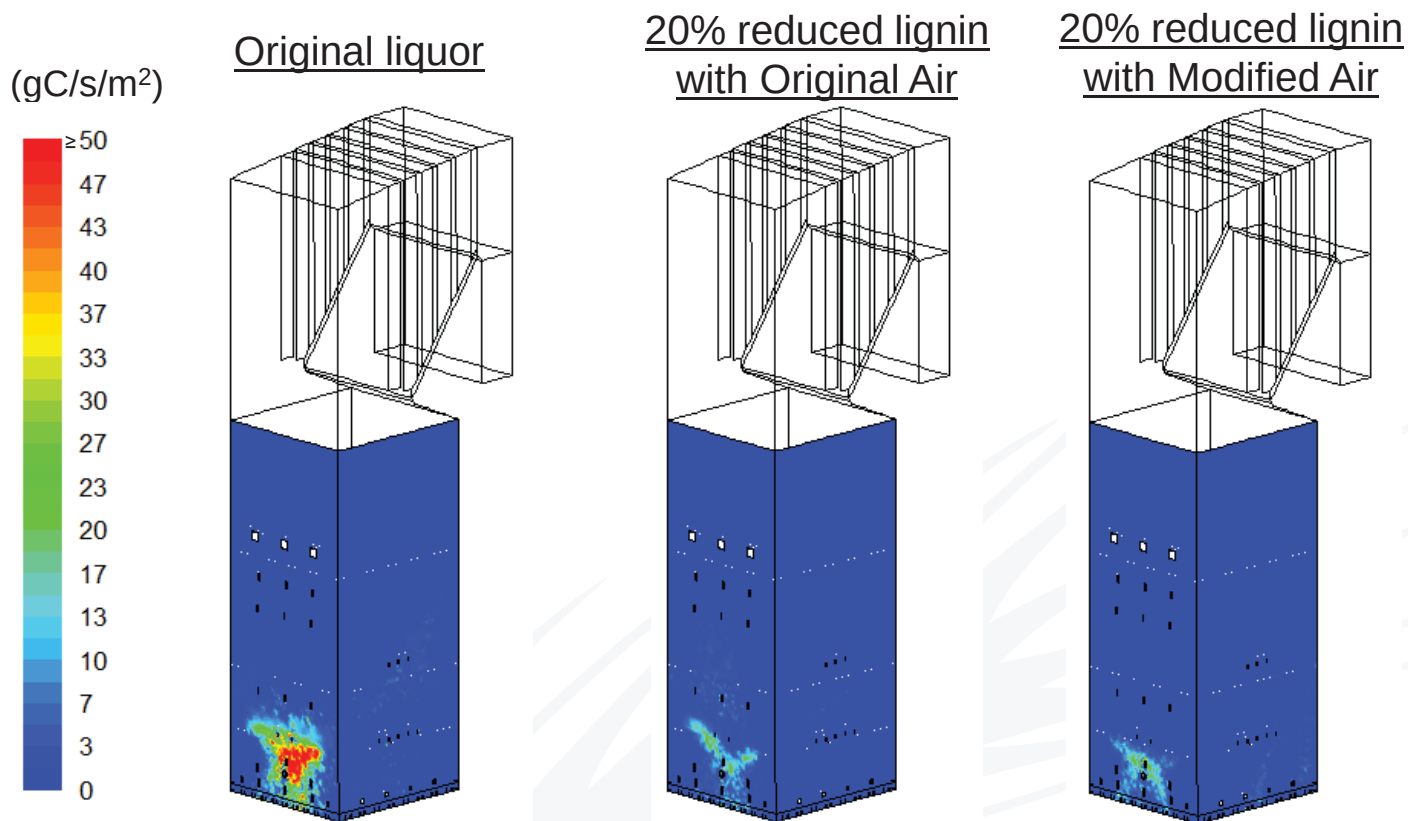
Carbon to walls/bed (-10% lignin)



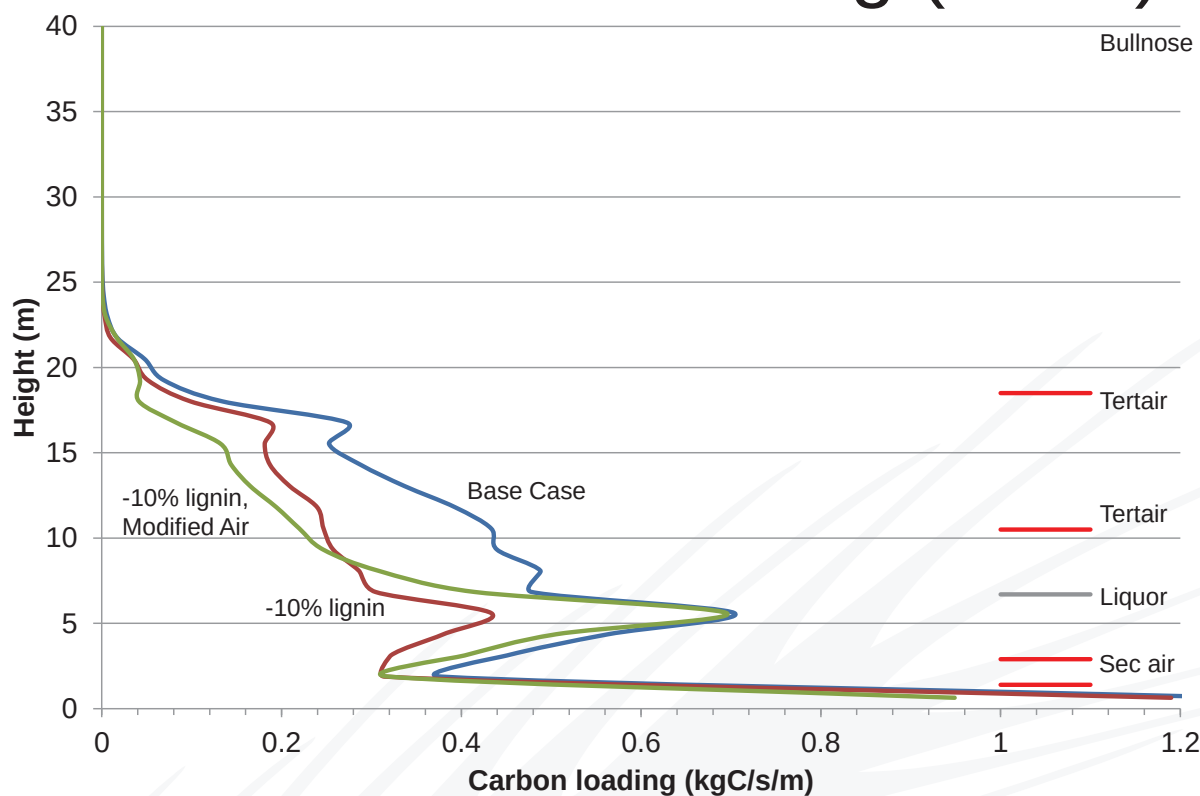
Carbon to walls/bed (-20% lignin)



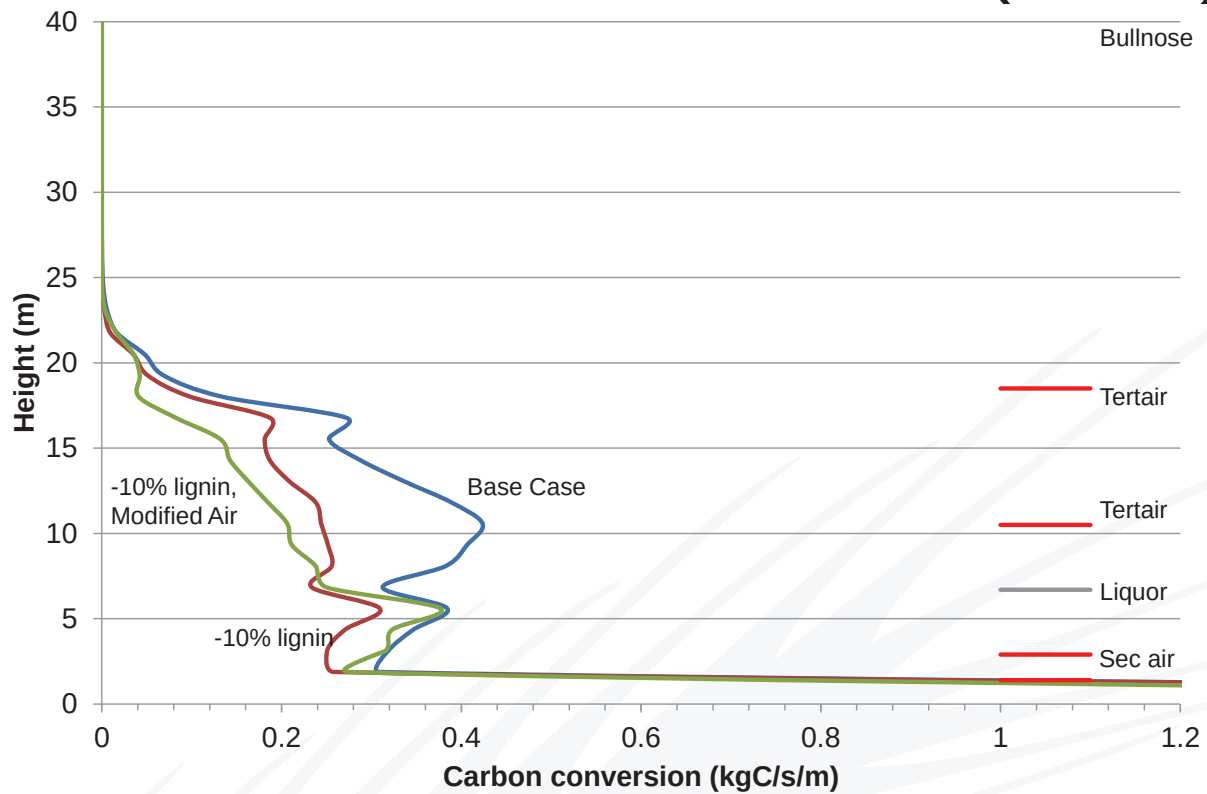
Carbon to walls/bed (-20% lignin)



Furnace carbon loading (-10% lignin)



Furnace carbon conversion (-10%)



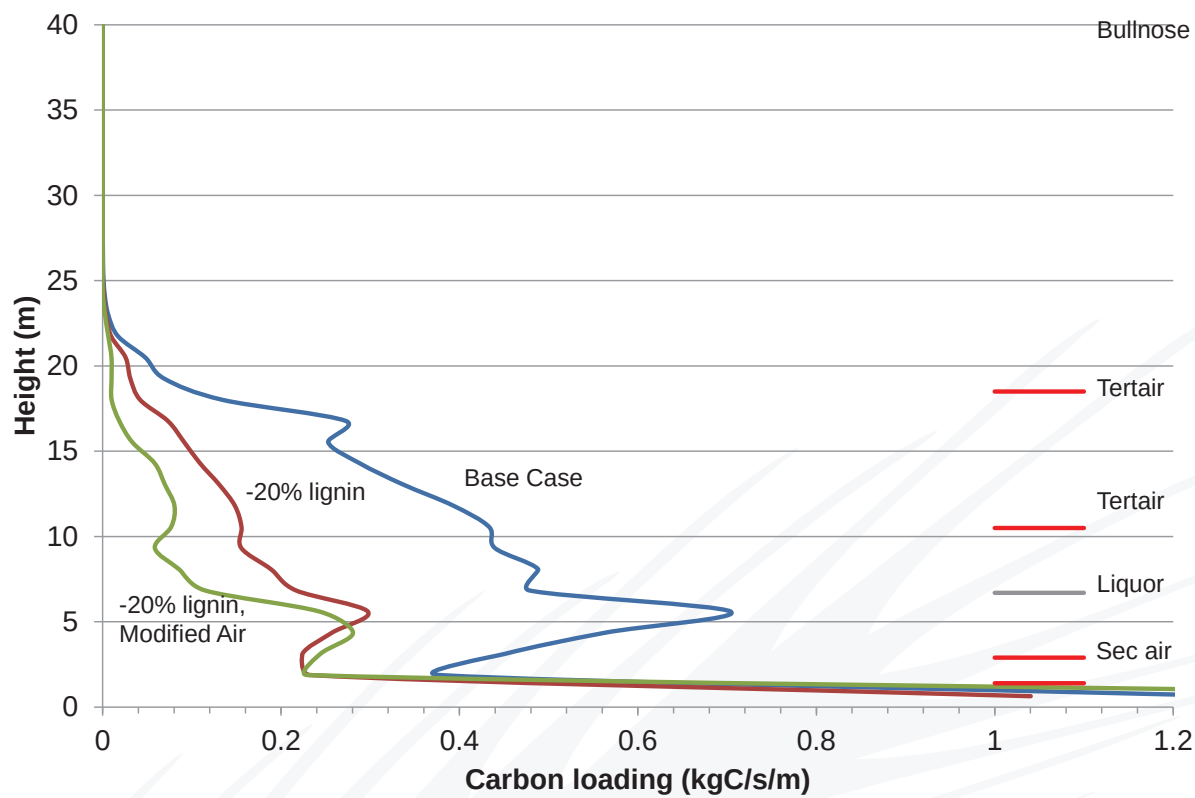
Fate of char carbon (-10%)

(kg/s)	Base Case	10% reduced lignin, Original Air	10% reduced lignin, Modified Air
In liquor feed	8.81	6.19	6.19
in-flight conversion	3.90	2.60	1.79
to bed/walls	4.91	3.59	4.40
conversion on bed/walls	4.70	4.37	4.38
carbon accumulation	0.21	-0.78	0.01

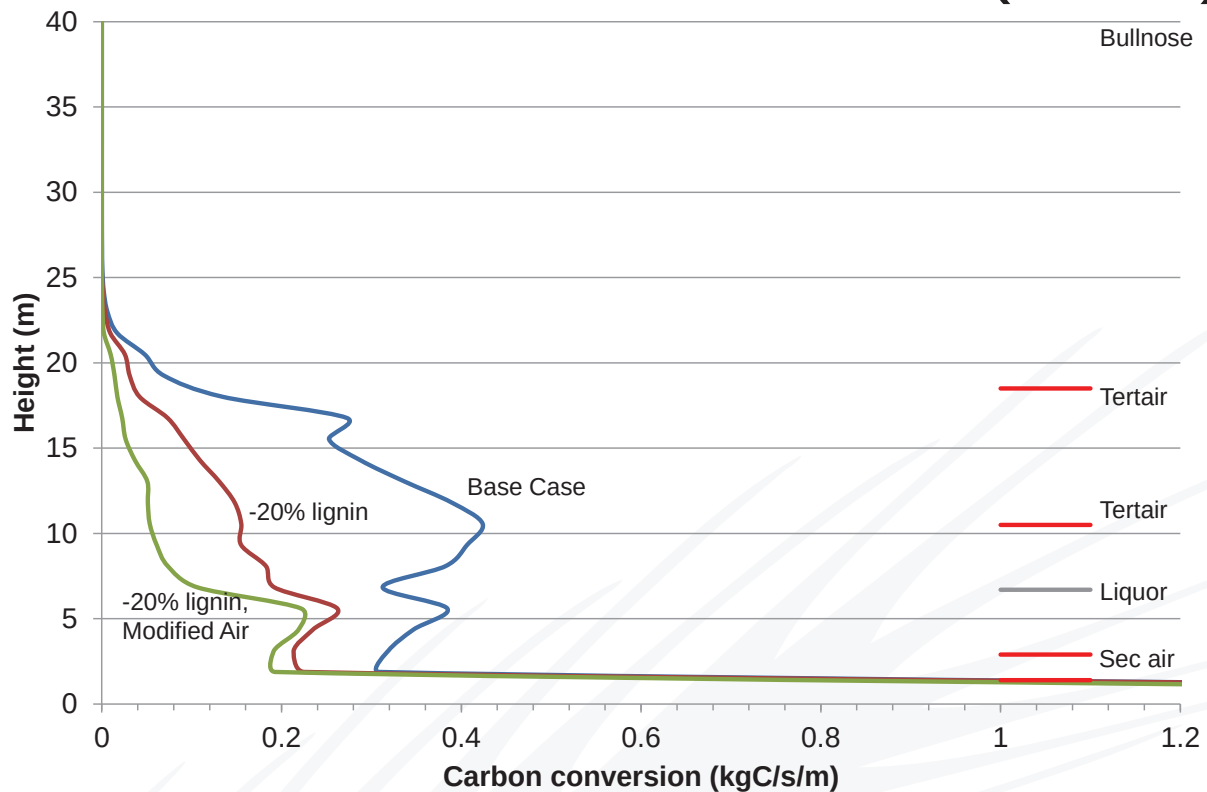
Fate of char carbon (-10%)

(%)	Base Case	10% reduced lignin, Original Air	10% reduced lignin, Modified Air
In liquor feed	100.0	100.0	100.0
in-flight conversion	44.3	42.0	28.9
to bed/walls	55.7	58.0	71.1
conversion on bed/walls	53.4	70.5	70.9
carbon accumulation	2.3	-12.5	0.2

Furnace carbon loading (-20%)



Furnace carbon conversion (-20%)



Fate of char carbon (-20%)

(kg/s)	Base Case	20% reduced lignin, Original Air	20% reduced lignin, Modified Air
In liquor feed	8.81	4.30	4.30
in-flight conversion	3.90	1.79	0.67
to bed/walls	4.91	2.51	3.63
conversion on bed/walls	4.70	4.10	3.68
carbon accumulation	0.21	-1.59	-0.05

Fate of char carbon (-20%)

(%)	Base Case	20% reduced lignin, Original Air	20% reduced lignin, Modified Air
In liquor feed	100.0	100.0	100.0
in-flight conversion	44.3	41.6	15.5
to bed/walls	55.7	58.4	84.5
conversion on bed/walls	53.4	95.5	85.7
carbon accumulation	2.3	-37.1	-1.2

Conclusions - Runs 4 and 5

- Considerable changes to lower furnace air needed to reach carbon balanced situation
 - Base Case: 22% prim / 43% sec / 35% tert
 - Run 4: 17% prim / 38% sec / 45% tert
 - Run 5: 15% prim / 25% sec / 60% tert
- Uncertain if modeled air splits could be used in reality
- Results suggest air distribution adjustment unlikely alone to be sufficient (if even possible) operational change

Conclusions - Runs 1-3

- Less char-C with lignin removal
 - Lower furnace less loaded with char-C
 - Dynamic situation of more carbon conversion than delivery
 - Operational changes
 - Reduce prim/sec air (runs 4 & 5) and/or
 - Change spraying – larger droplets (runs 6 & 7)
-

Runs 6 & 7 – Larger Droplets

- Larger droplets will result in more carbon reaching the lower furnace. The droplet size distribution has been proposed to provide a carbon balance based on the original primary, secondary and tertiary air distribution
 - In practice this larger particle size distribution would be achieved by reducing the firing temperature or changing the spray angle or nozzle
-

CFD runs 6 and 7

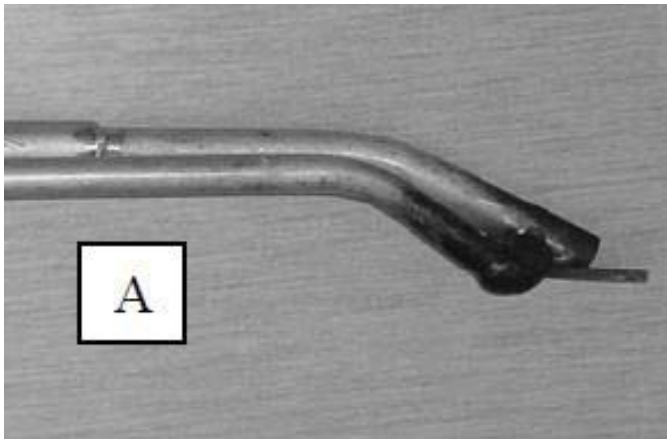
- Objective:
 - Increase char-carbon delivery to lower furnace until carbon balance ≈ 0
 - by increasing droplet size in liquor spray (lower liquor T)
 - Run 6: 10% lignin removed
 - Run 7: 20% lignin removed
-

CFD runs 6 and 7

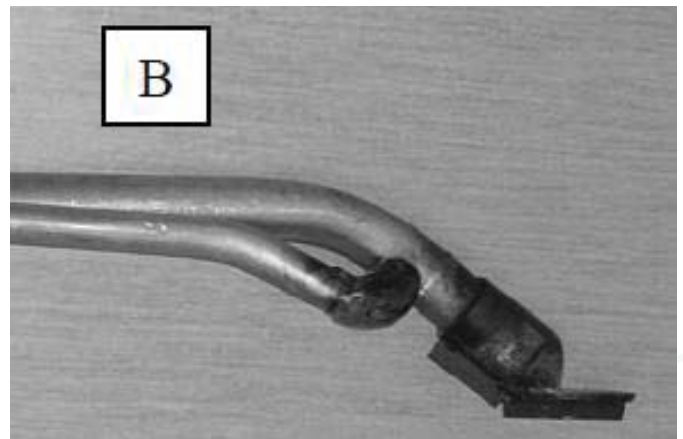
- Droplet size, liquor temperature, droplet velocity, etc – freely adjustable, independent parameters in CFD model
 - For Runs 6 and 7, need to link droplet size, droplet velocity, and liquor temperature to each other in CFD model
 - How are droplet size and droplet velocity connected to liquor temperature?
-

Spray characterization (Miikkulainen et al.)

Nozzle A



Nozzle B



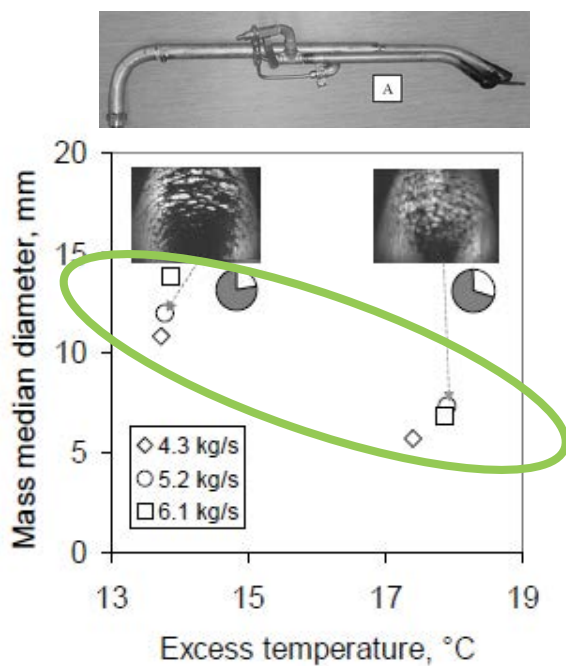
	Nozzle A	Nozzle B
Nozzle pipe diameter	27 mm	28 mm
Splash plate angle	23°	36°
Nozzle exit area reduced by plate?	Partly reduced	Not reduced

Miikkulainen, P., Kankkunen, A. & Järvinen, M. 2002, "The Effect of Excess Temperature and Flashing on Black Liquor Spray Properties", IFRF Finnish - Swedish Flame Days 2002, Vaasa, Finland, 24-25 September

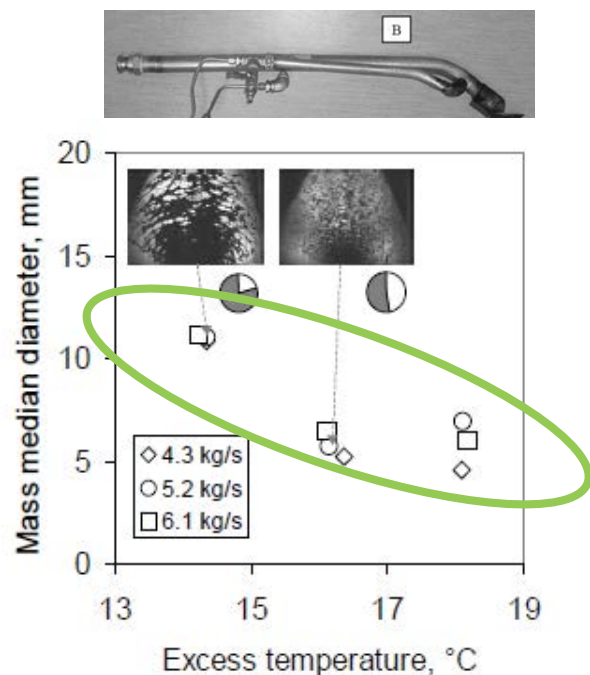
Reprinted with permission from IFRF

Liquor T - droplet size – dependence

Nozzle A



Nozzle B

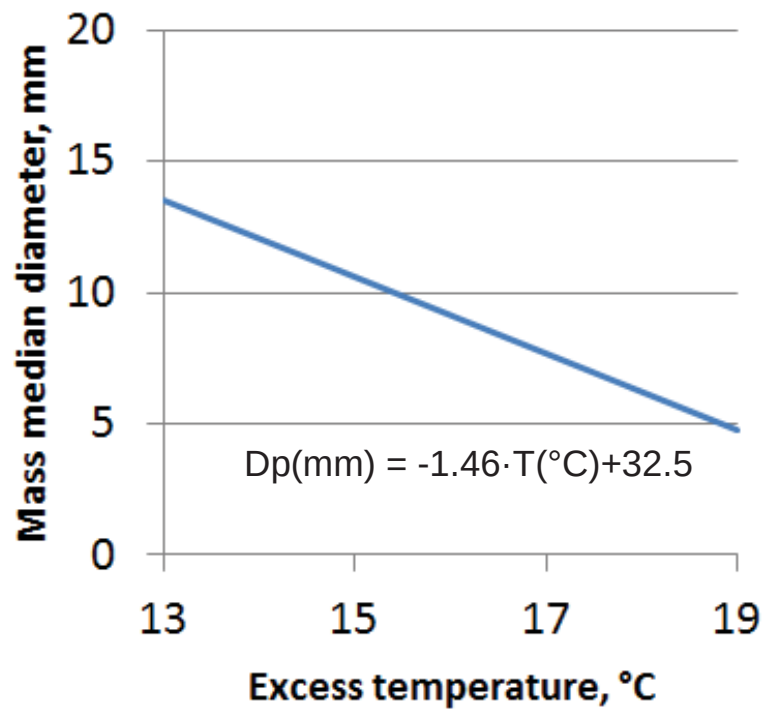


Miikkulainen, P., Kankkunen, A. & Järvinen, M. 2002, "The Effect of Excess Temperature and Flashing on Black Liquor Spray Properties", IFRF Finnish - Swedish Flame Days 2002, Vaasa, Finland, 24-25 September

Reprinted with permission from IFRF

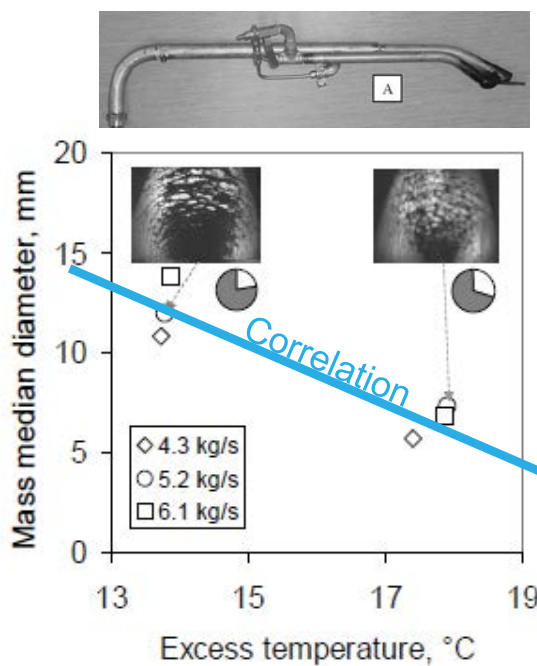
Liquor T - droplet size – dependence

Generic correlation for CFD

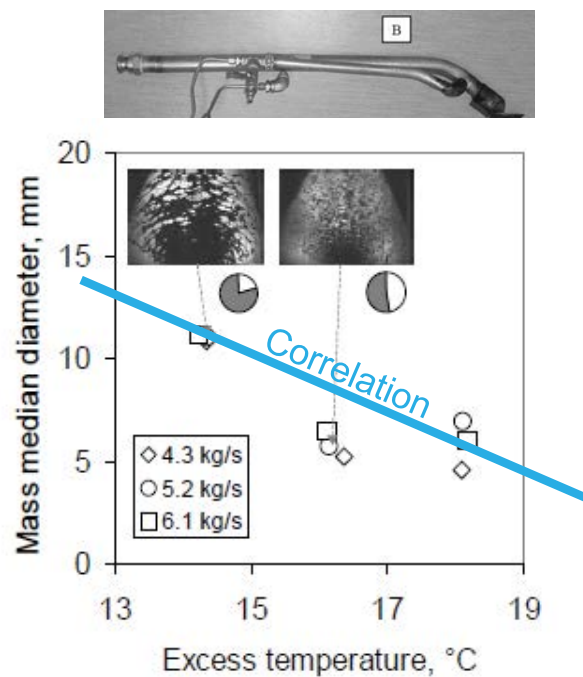


Liquor T - droplet size – dependence

Nozzle A

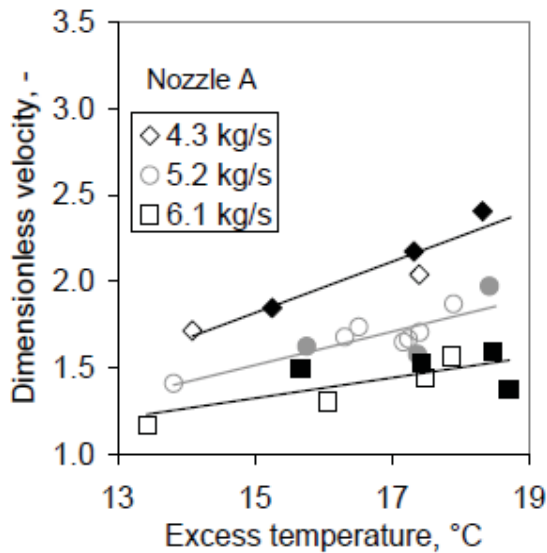
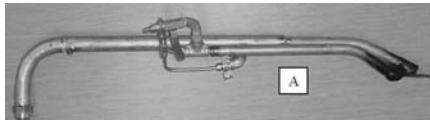


Nozzle B



Liquor T - droplet velocity – dependence

Nozzle A



Dimensionless velocity, $v(-)$

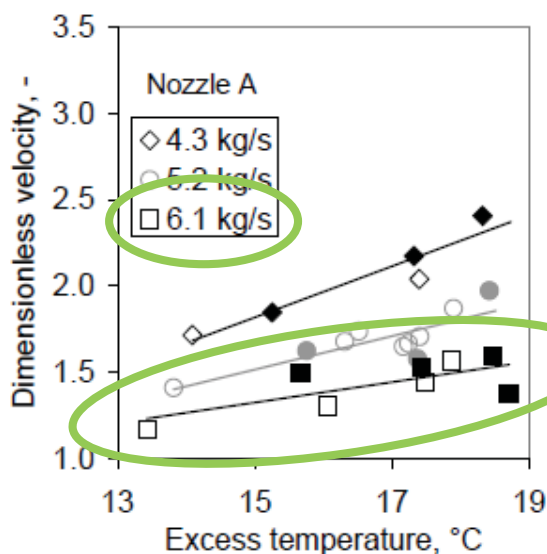
$$v(-) = \frac{\text{Actual Liquor Velocity}}{\text{Liquor Velocity assuming no flashing}}$$

Miikkulainen, P., Kankkunen, A. & Järvinen, M. 2002, "The Effect of Excess Temperature and Flashing on Black Liquor Spray Properties", *IFRF Finnish - Swedish Flame Days 2002, Vaasa, Finland, 24-25 September*

Reprinted with permission from IFRF

Liquor T - droplet velocity – dependence

Nozzle A



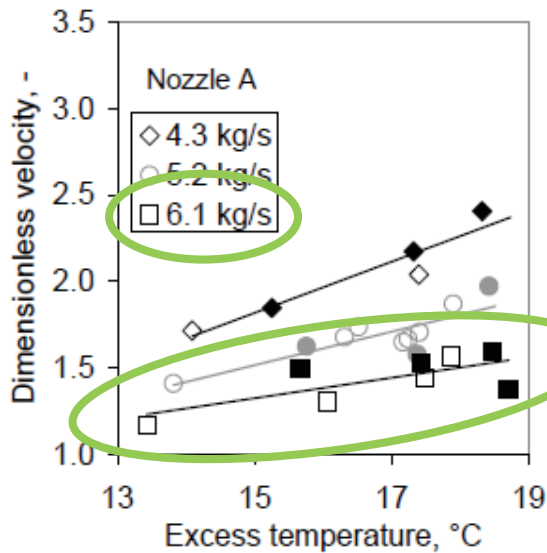
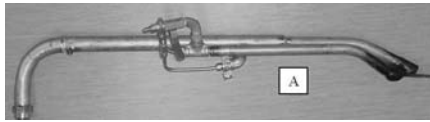
10% and 20% reduced lignin Cases, liquor mass flow ~7 kg/s

Miikkulainen, P., Kankkunen, A. & Järvinen, M. 2002, "The Effect of Excess Temperature and Flashing on Black Liquor Spray Properties", *IFRF Finnish - Swedish Flame Days 2002, Vaasa, Finland, 24-25 September*

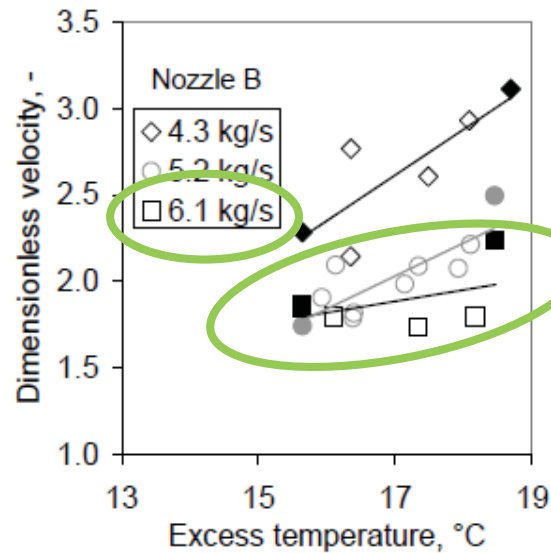
Reprinted with permission from IFRF

Liquor T - droplet velocity – dependence

Nozzle A



Nozzle B



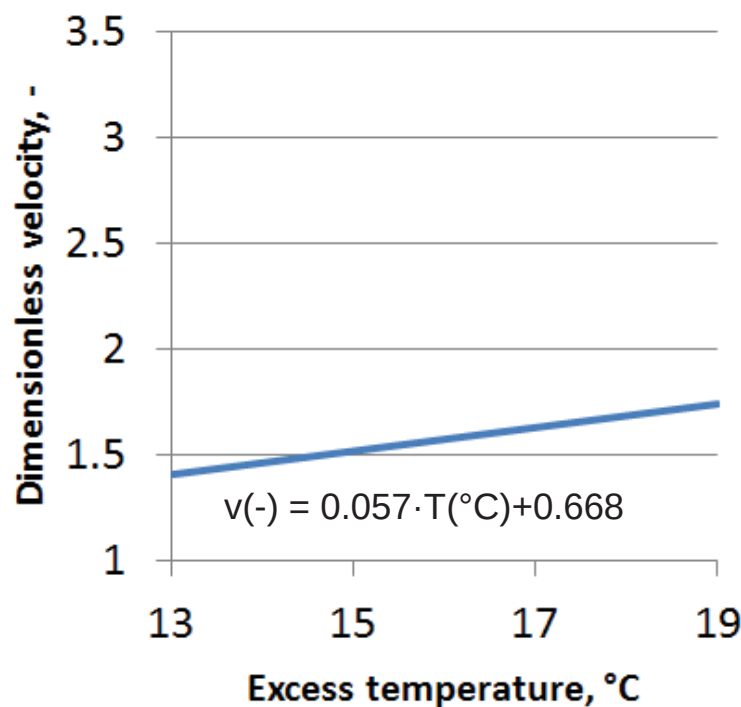
10% and 20% reduced ligning
Cases, liquor mass flow ~7 kg/s

Miikkulainen, P., Kankkunen, A. & Järvinen, M. 2002, "The Effect of Excess Temperature and Flashing on Black Liquor Spray Properties", IFRF Finnish - Swedish Flame Days 2002, Vaasa, Finland, 24-25 September

Reprinted with permission from IFRF

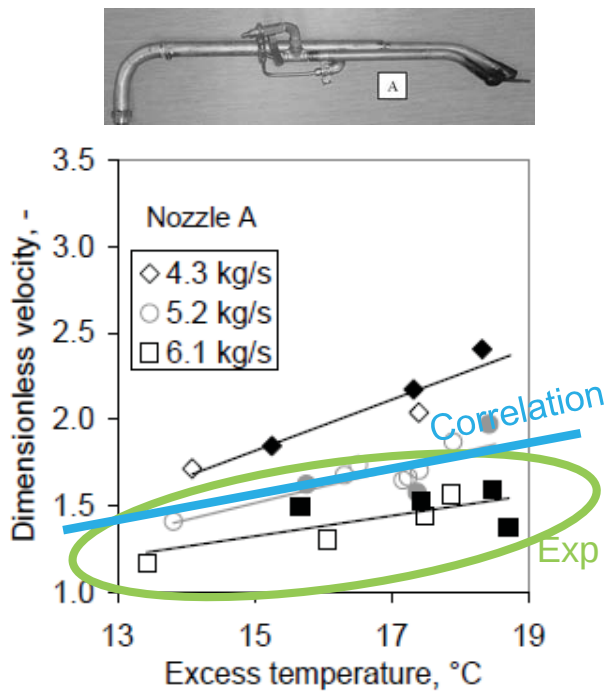
Liquor T - droplet velocity – dependence

Generic correlation for CFD

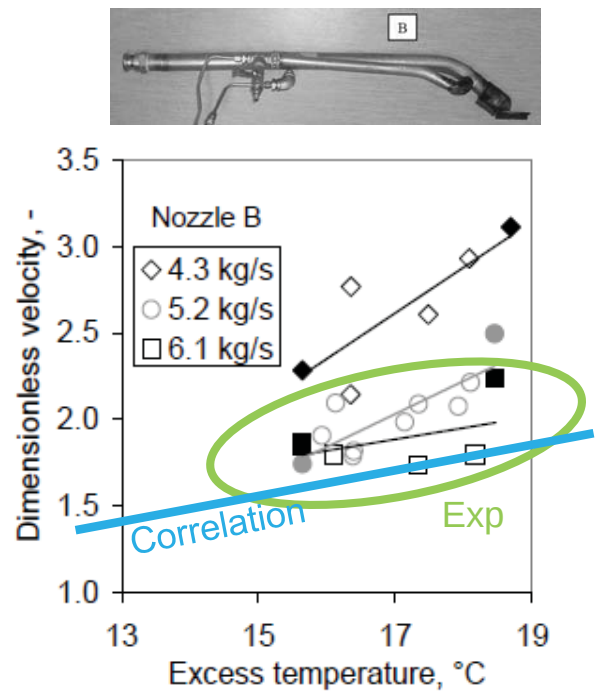


Liquor T - droplet velocity – dependence

Nozzle A



Nozzle B



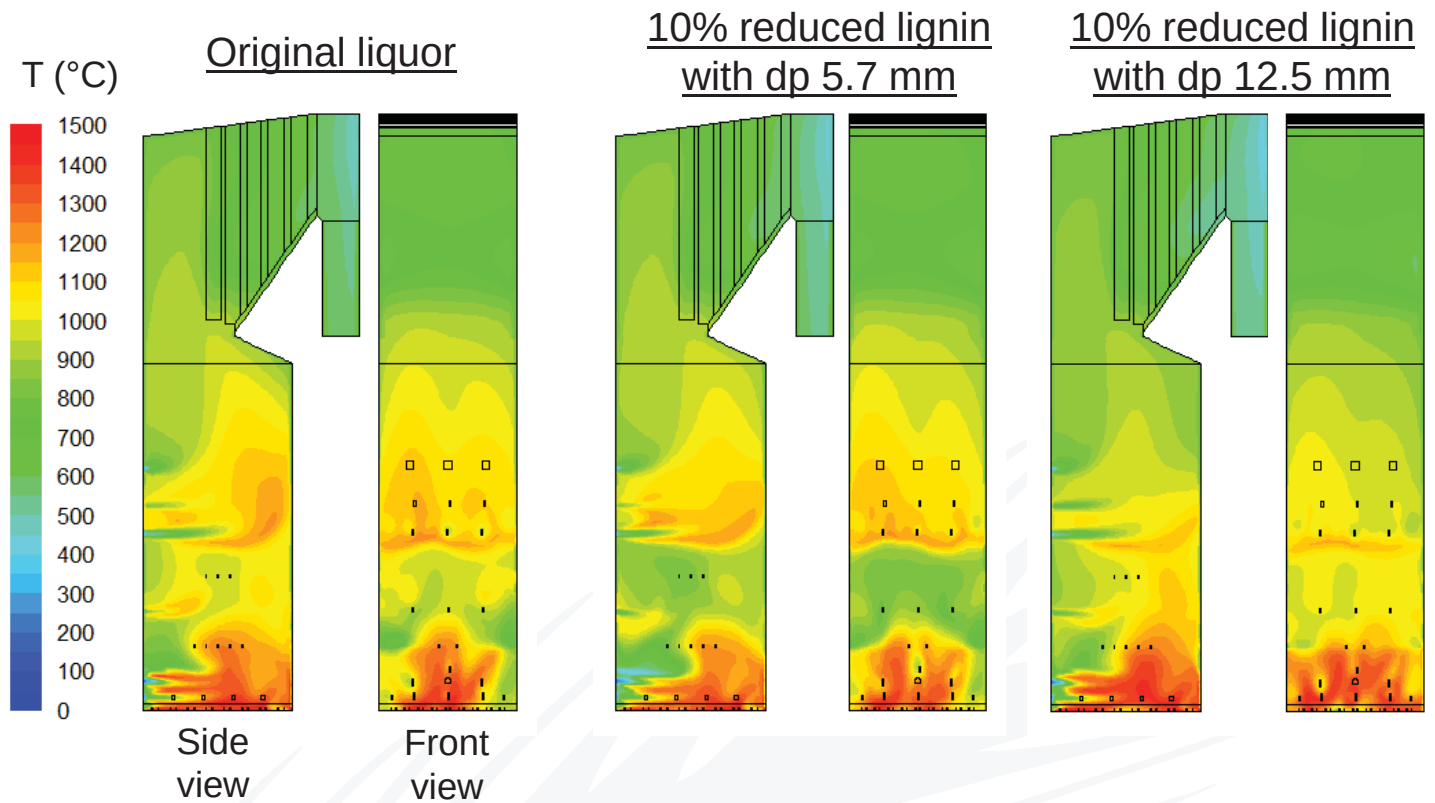
Miikkulainen, P., Kankkunen, A. & Järvinen, M. 2002, "The Effect of Excess Temperature and Flashing on Black Liquor Spray Properties", *IFRF Finnish - Swedish Flame Days 2002, Vaasa, Finland, 24-25 September*

Reprinted with permission from IFRF

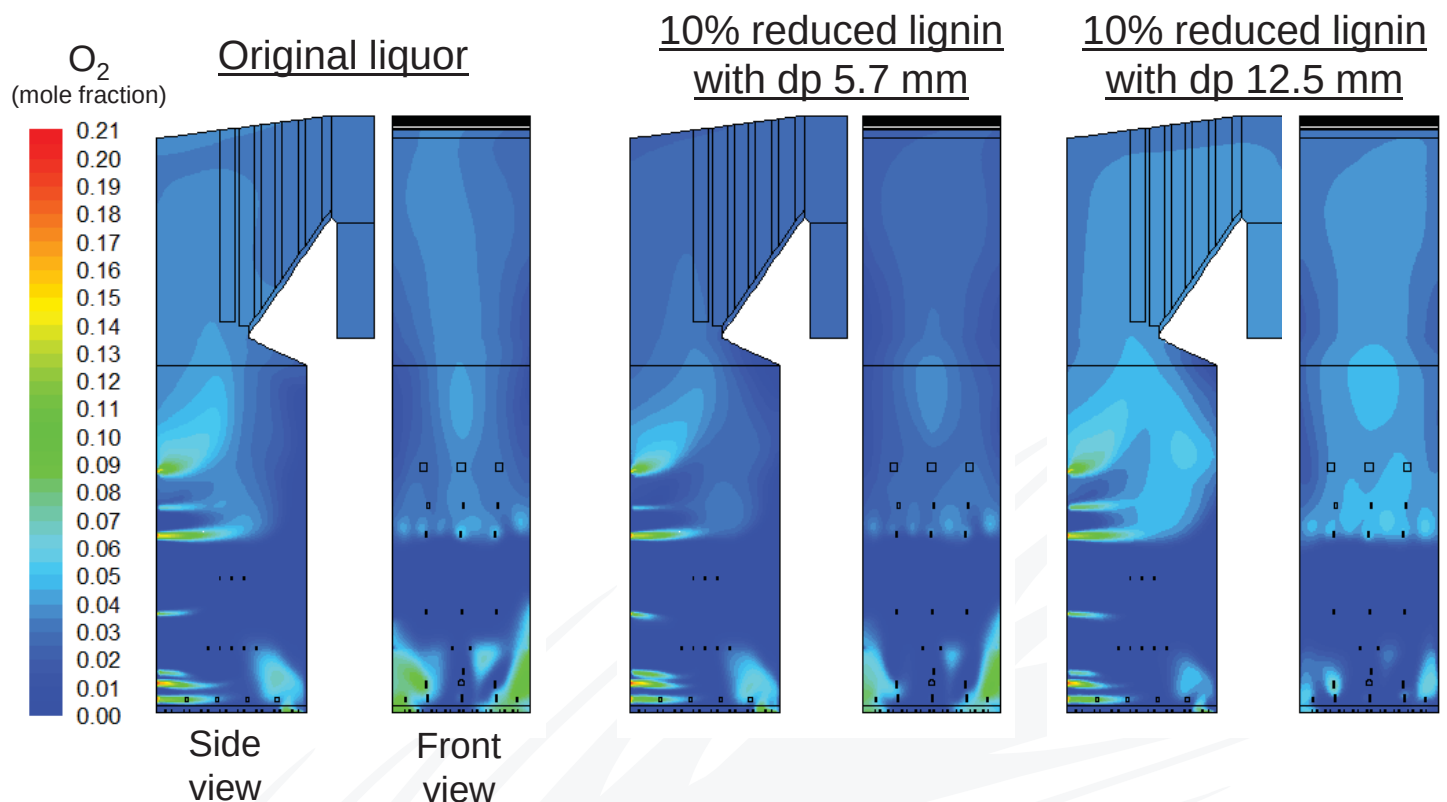
CFD runs 6 and 7 vs. Base Case

	Base Case	10% reduced lignin (Run 6)	20% reduced lignin (Run 7)
Average droplet size	5.7 mm	12.5 mm	23.0 mm
Initial droplet velocity	15.0 m/s	12.7 m/s	9.2 m/s
Excess temperature	18.4 °C	13.7 °C	6.5 °C
Liquor T changed from Base Case		-4.7 °C	-11.9 °C

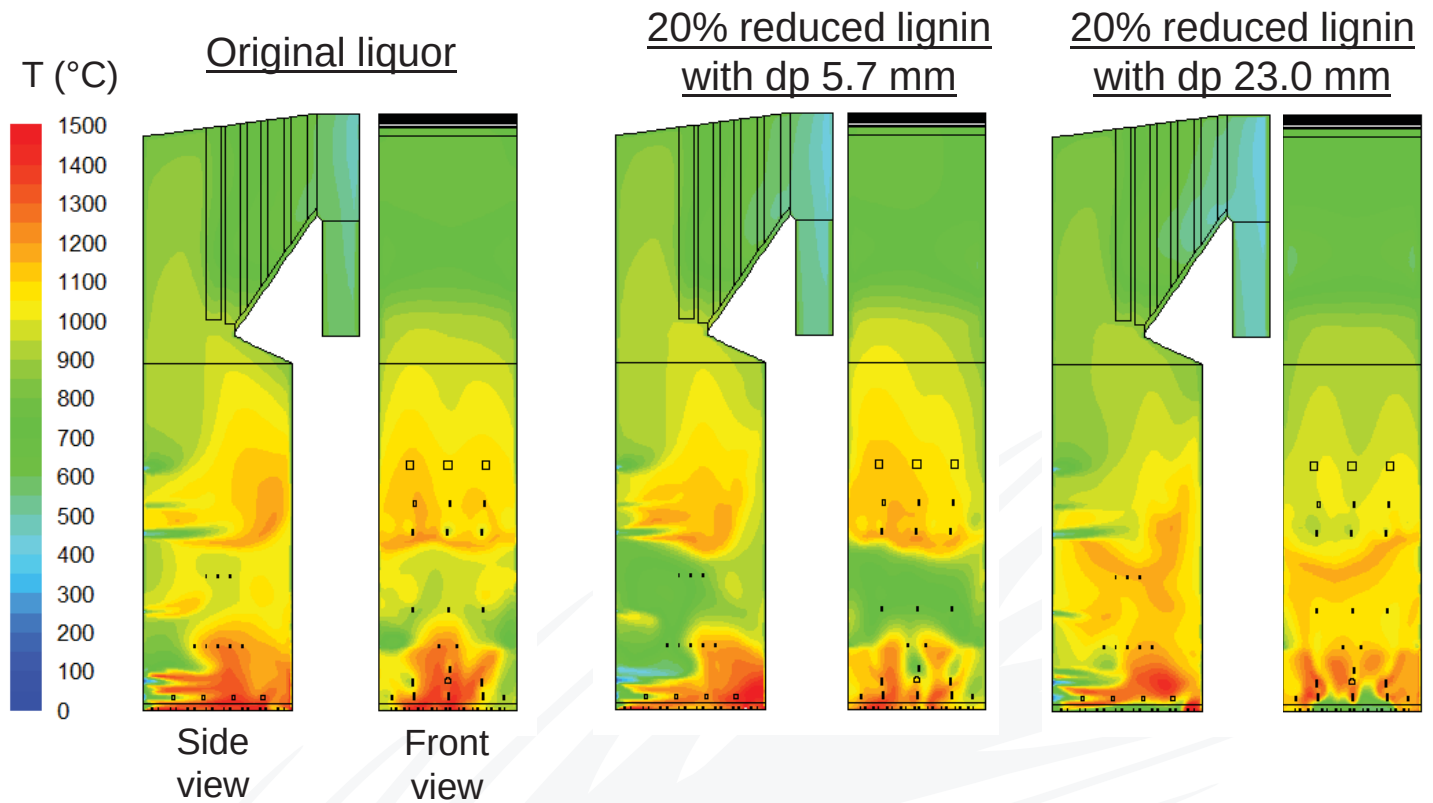
Temperature (-10% lignin)



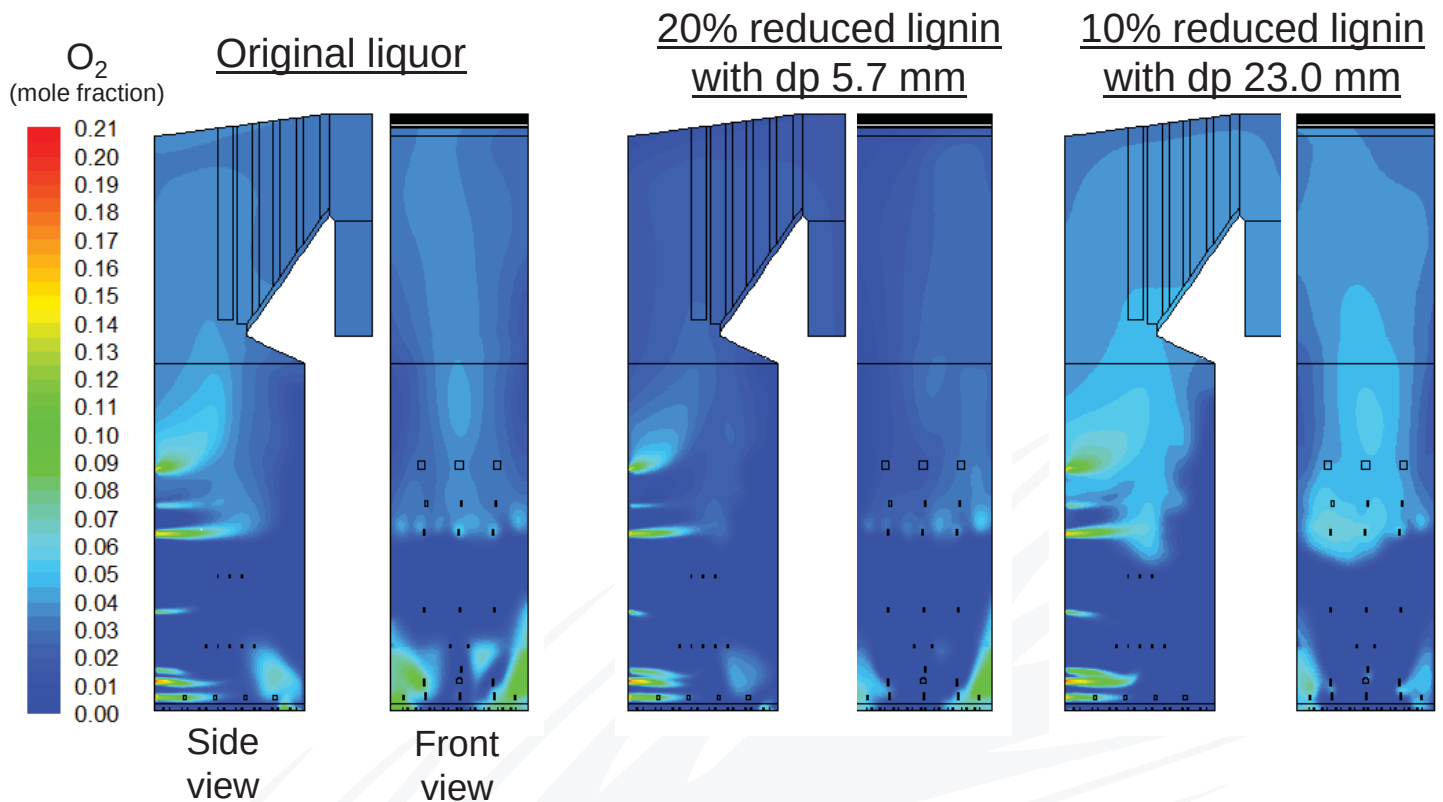
O₂ concentration (-10% lignin)



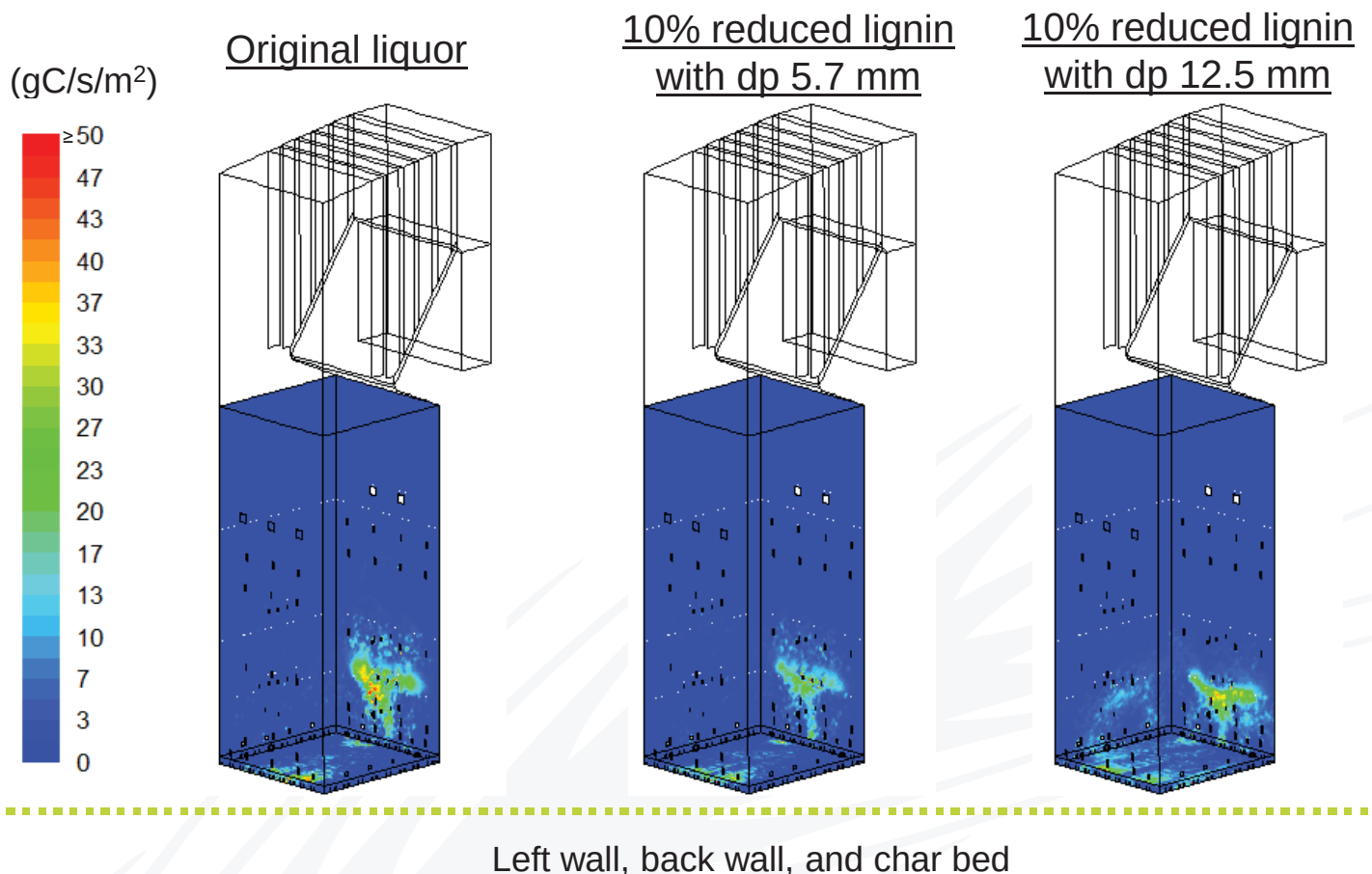
Temperature (-20% lignin)



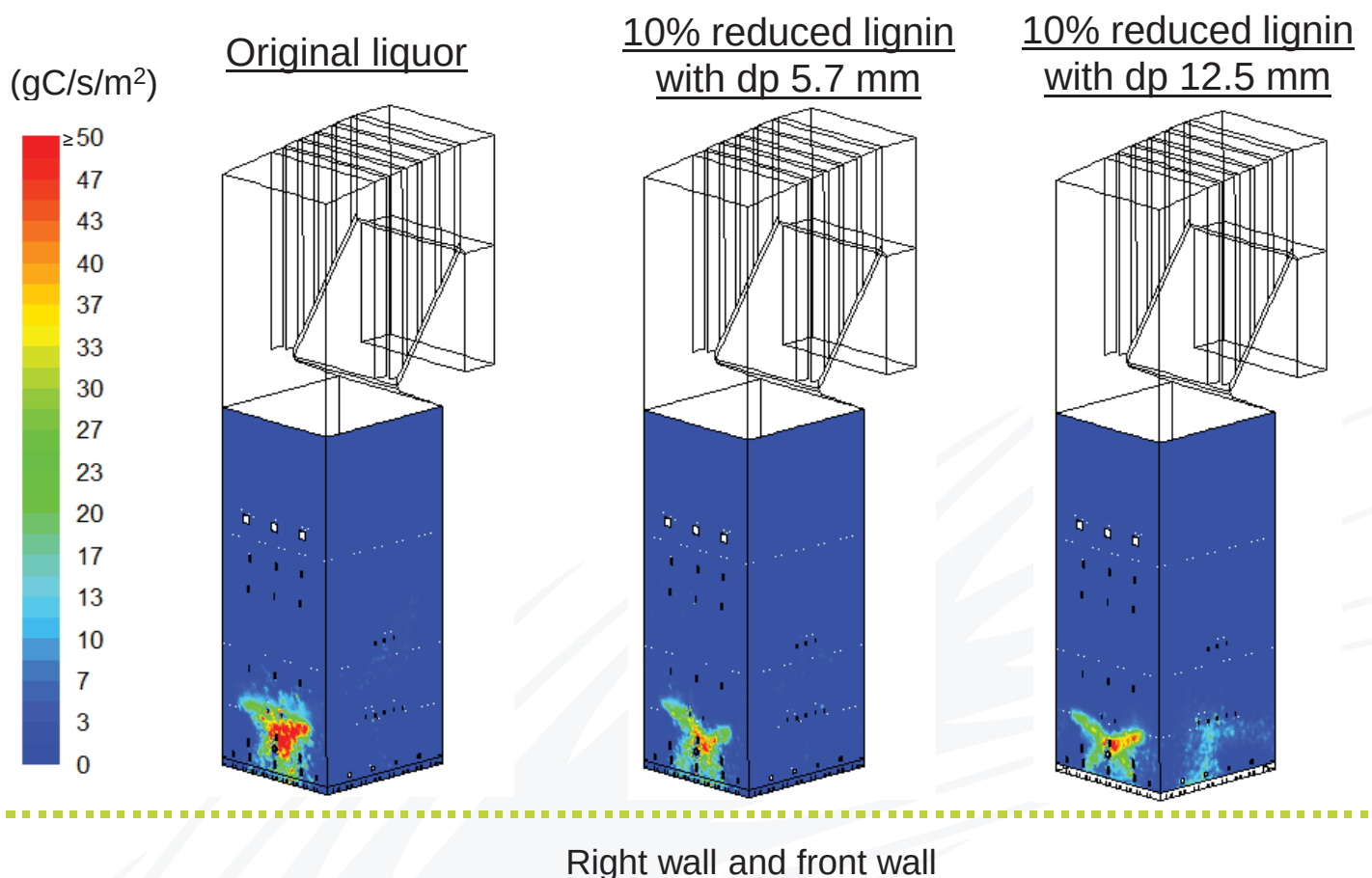
O₂ concentration (-20% lignin)



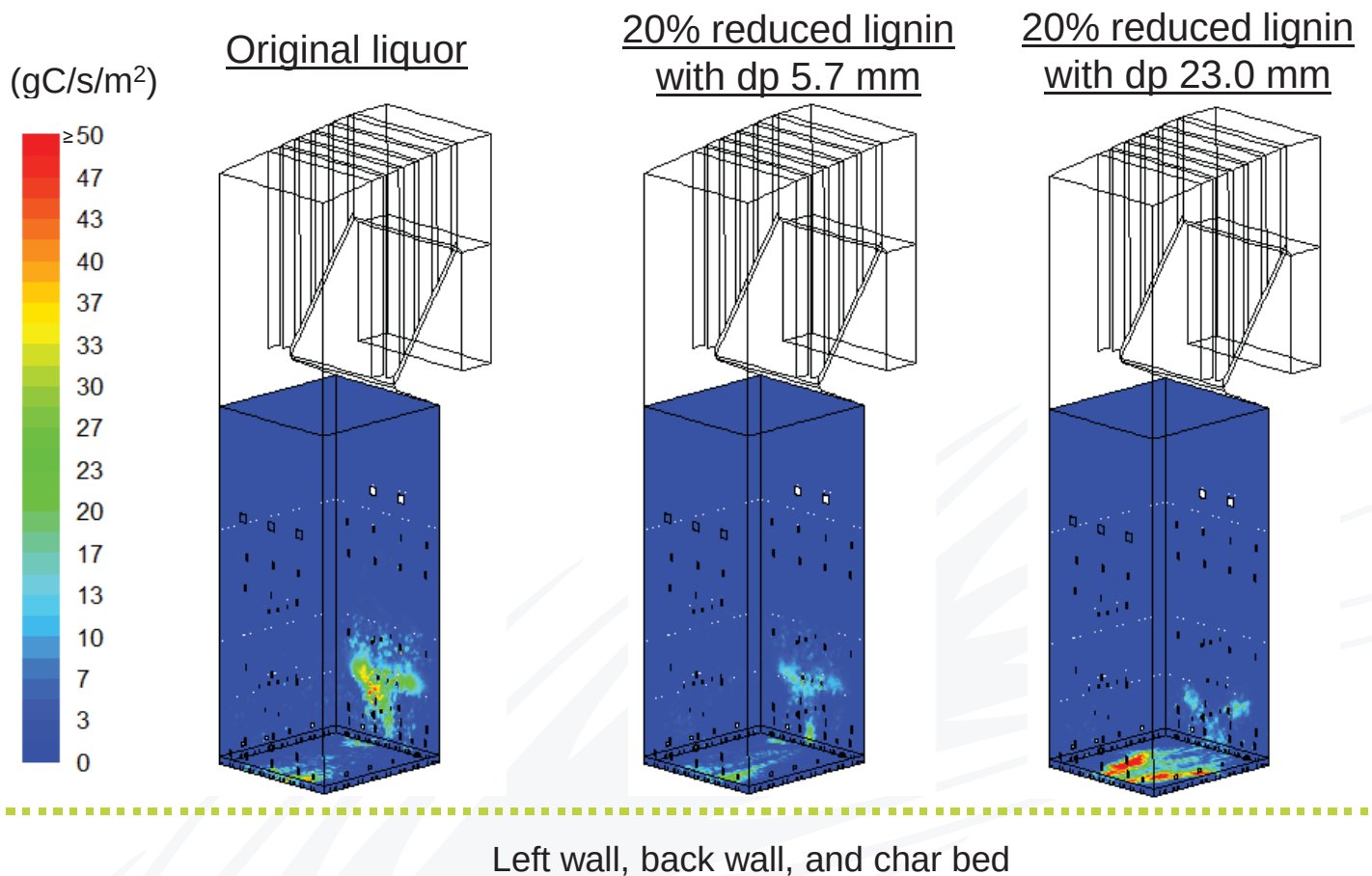
Carbon to walls/bed (-10% lignin)



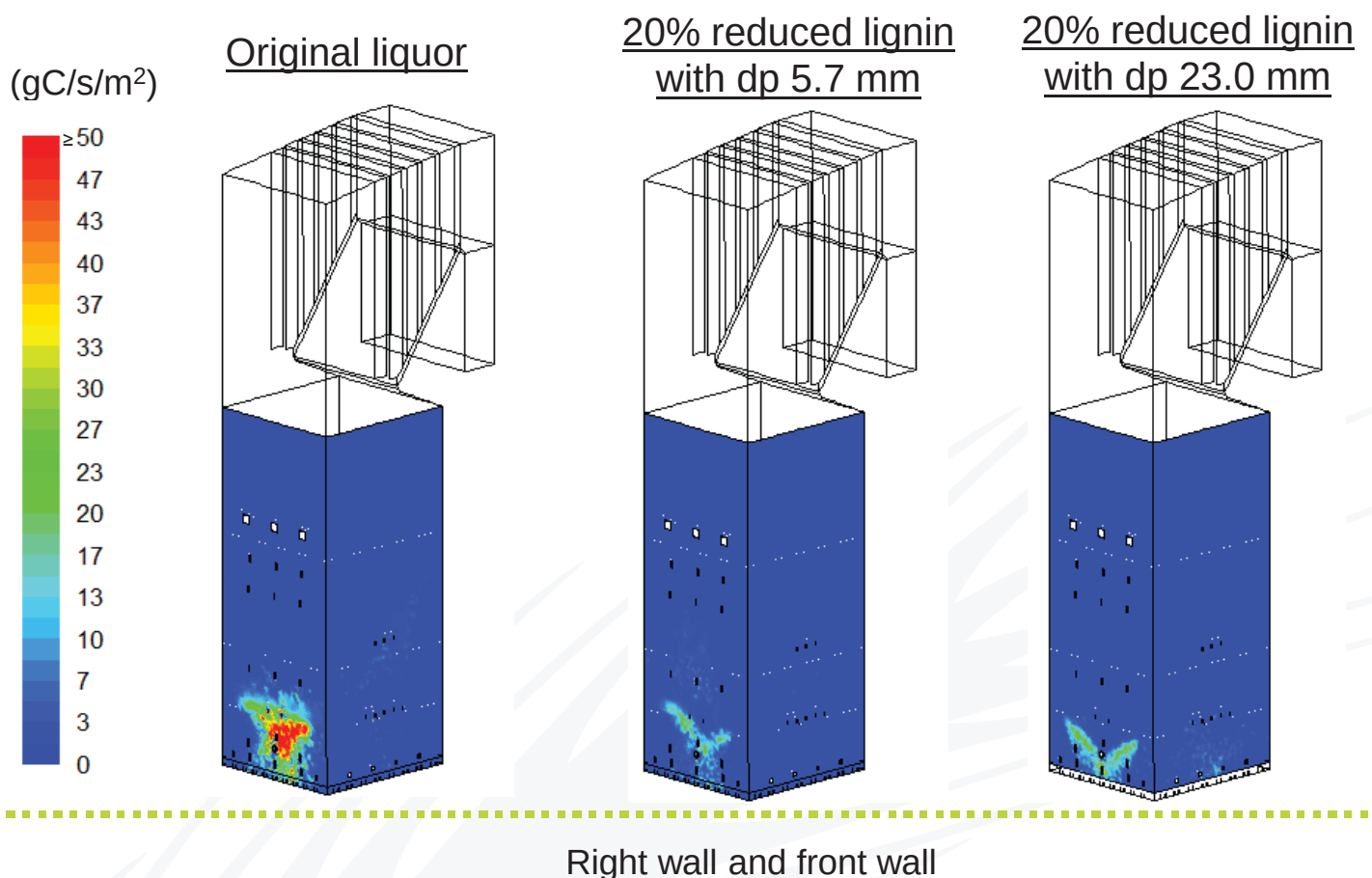
Carbon to walls/bed (-10% lignin)



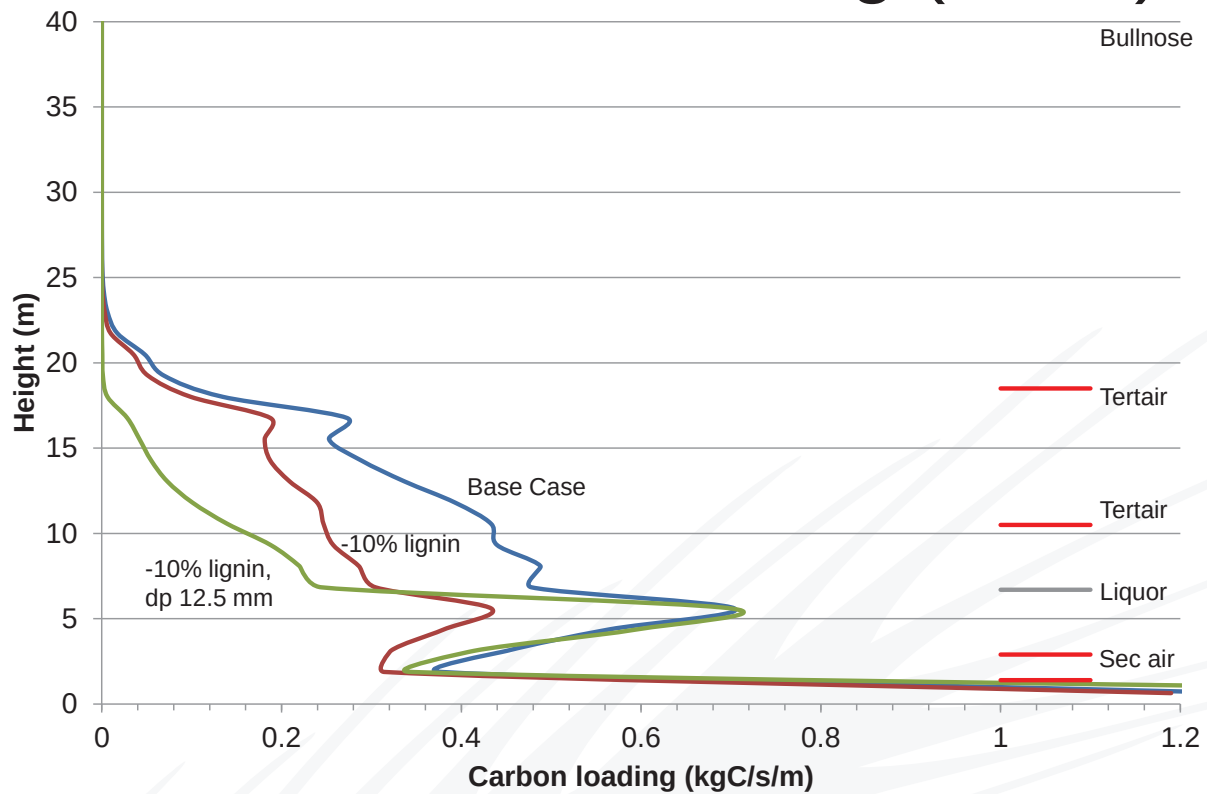
Carbon to walls/bed (-20% lignin)



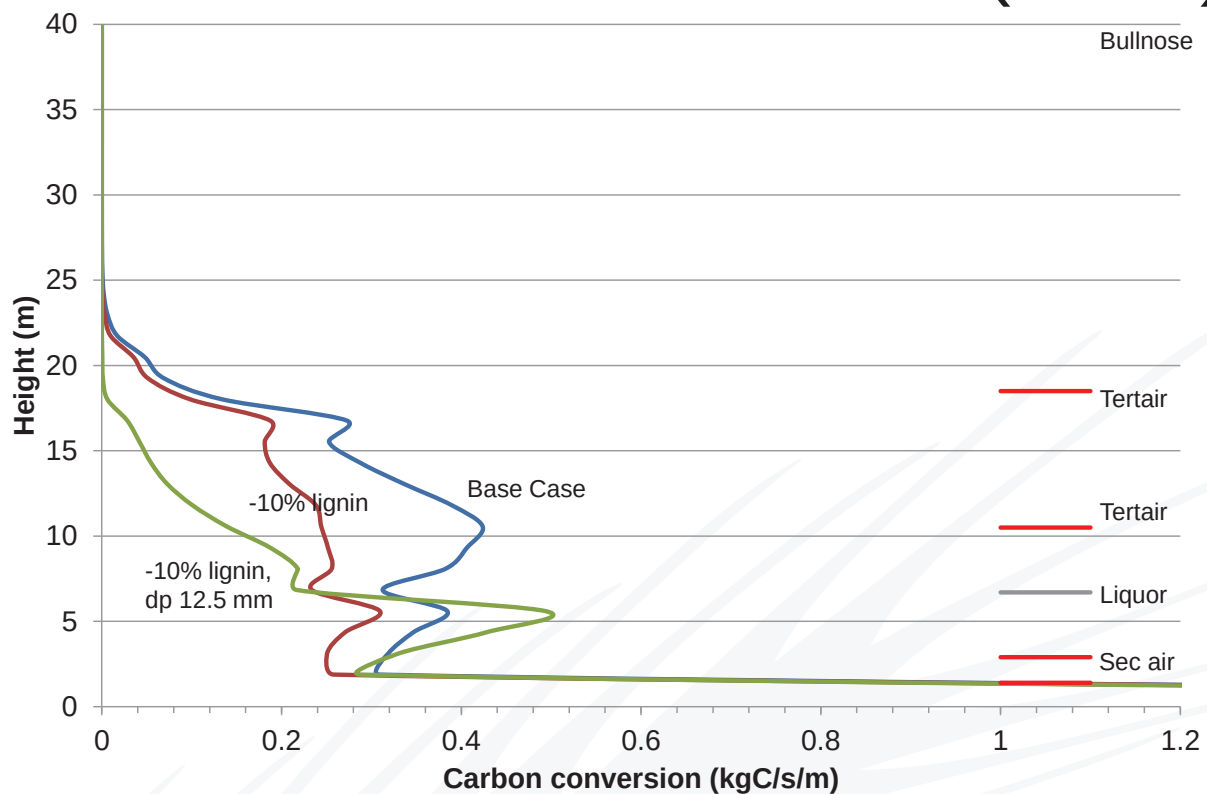
Carbon to walls/bed (-20% lignin)



Furnace carbon loading (-10%)



Furnace carbon conversion (-10%)



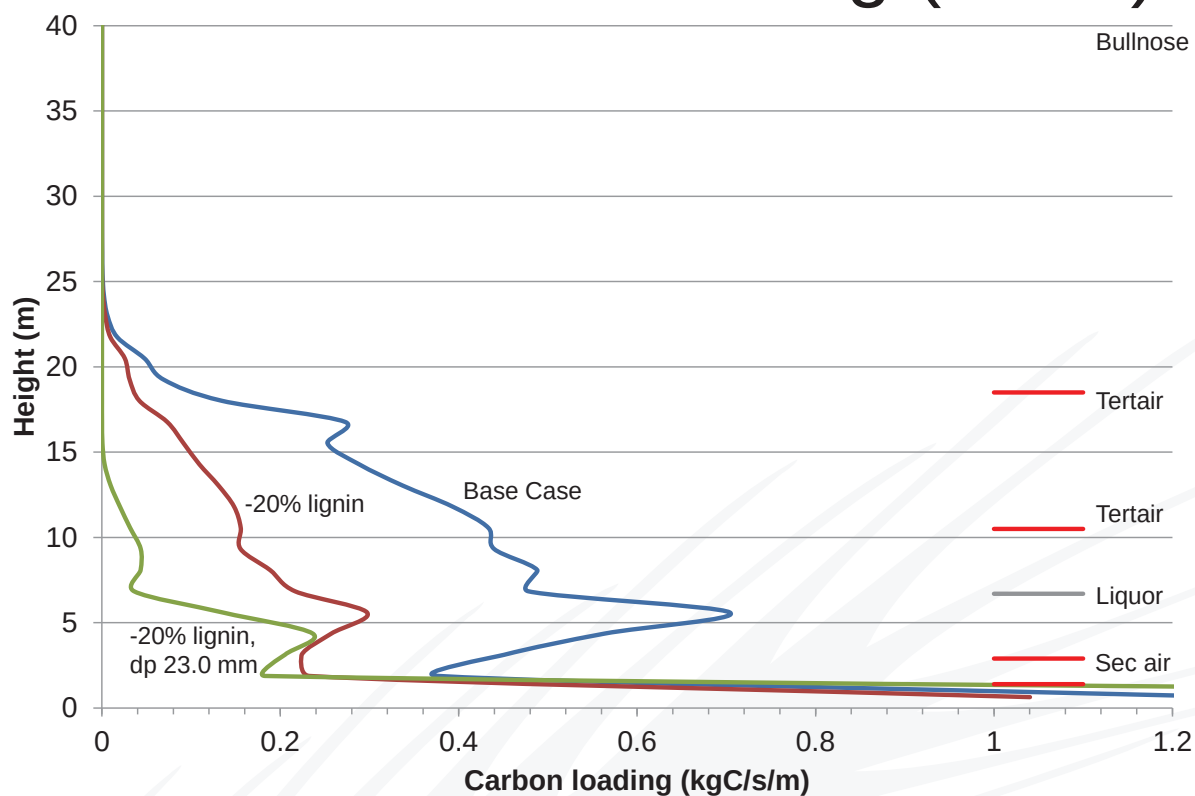
Fate of char carbon (-10%)

(kg/s)	Base Case	10% reduced lignin, dp 5.7 mm	10% reduced lignin, dp 12.5 mm
In liquor feed	8.81	6.19	6.19
in-flight conversion	3.90	2.60	1.01
to bed/walls	4.91	3.59	5.18
conversion on bed/walls	4.70	4.37	5.16
carbon accumulation	0.21	-0.78	0.02

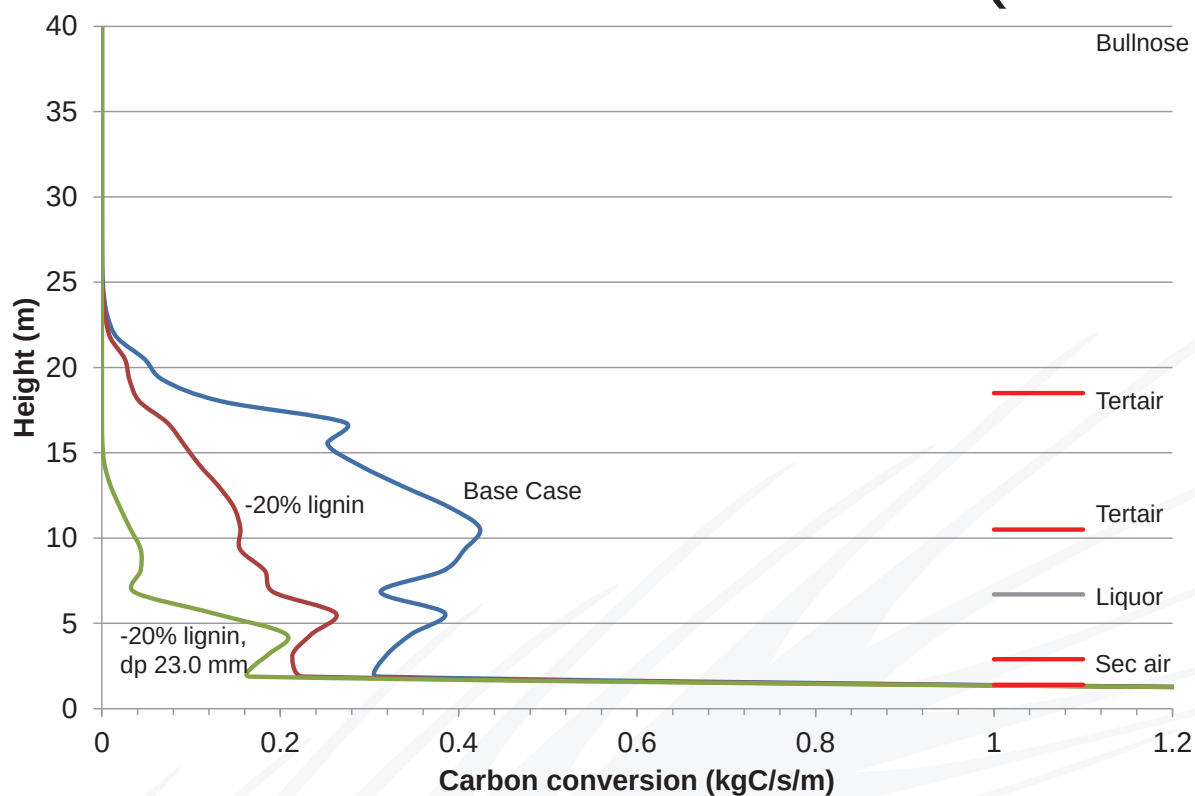
Fate of char carbon (-10%)

(%)	Base Case	10% reduced lignin, dp 5.7 mm	10% reduced lignin, dp 12.5 mm
In liquor feed	100.0	100.0	100.0
in-flight conversion	44.3	42.0	16.3
to bed/walls	55.7	58.0	83.7
conversion on bed/walls	53.4	70.5	83.4
carbon accumulation	2.3	-12.5	0.3

Furnace carbon loading (-20%)



Furnace carbon conversion (-20%)



Fate of char carbon (-20%)

(kg/s)	Base Case	20% reduced lignin, dp 5.7 mm	20% reduced lignin, dp 23.0 mm
In liquor feed	8.81	4.30	4.30
in-flight conversion	3.90	1.79	0.24
to bed/walls	4.91	2.51	4.05
conversion on bed/walls	4.70	4.10	4.02
carbon accumulation	0.21	-1.59	0.03

Fate of char carbon (-20%)

(%)	Base Case	20% reduced lignin, dp 5.7 mm	20% reduced lignin, dp 23.0 mm
In liquor feed	100.0	100.0	100.0
in-flight conversion	44.3	41.6	5.7
to bed/walls	55.7	58.4	94.3
conversion on bed/walls	53.4	95.5	93.6
carbon accumulation	2.3	-37.1	0.7

Conclusions - Runs 6 and 7

- With lignin removal and air split unchanged considerably larger droplets are needed to reach carbon balanced situation (= "steady operation")
 - Estimated to correspond to a decrease in liquor temperature of 4.7 °C or 11.9 °C when 10% or 20% lignin removed respectively
 - Results suggest both liquor temperature and air distribution will need to be adjusted
-

Conclusions - Runs 1-7

- Less char-C with lignin removal
 - Lower furnace less loaded with char-C
 - Operational changes
 - Reduce prim/sec air **and**
 - Change spraying – larger droplets
-

Conclusions – candidates for additional runs

- Reduced lignin 10% and 20%, but with 100% MCR (runs so far have been 97% MCR and 94% MCR respectively)
 - Spray tilt (10% and 20% reduced lignin)
 - Combination of changes to spray (T or tilt) and air distribution
-

LIITE 9

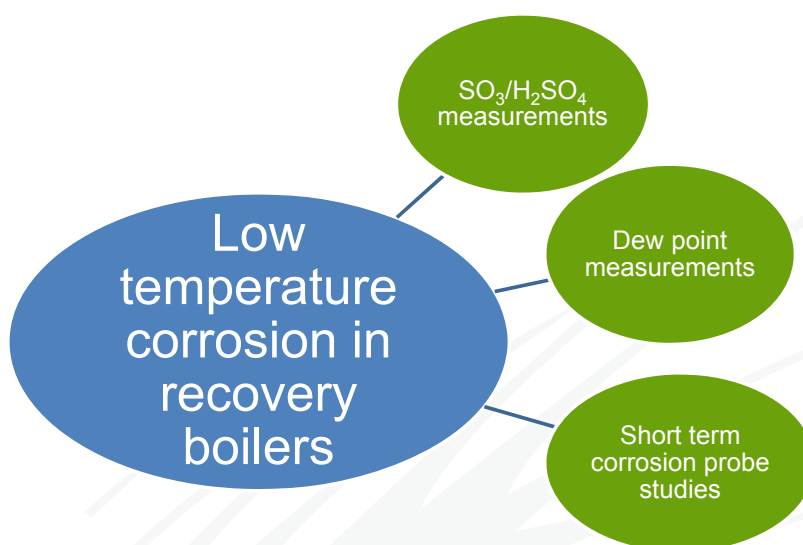
**LTR: Understanding Low Temperature Corrosion in BL Combustion,
ÅA – esitys 3.12.2014**



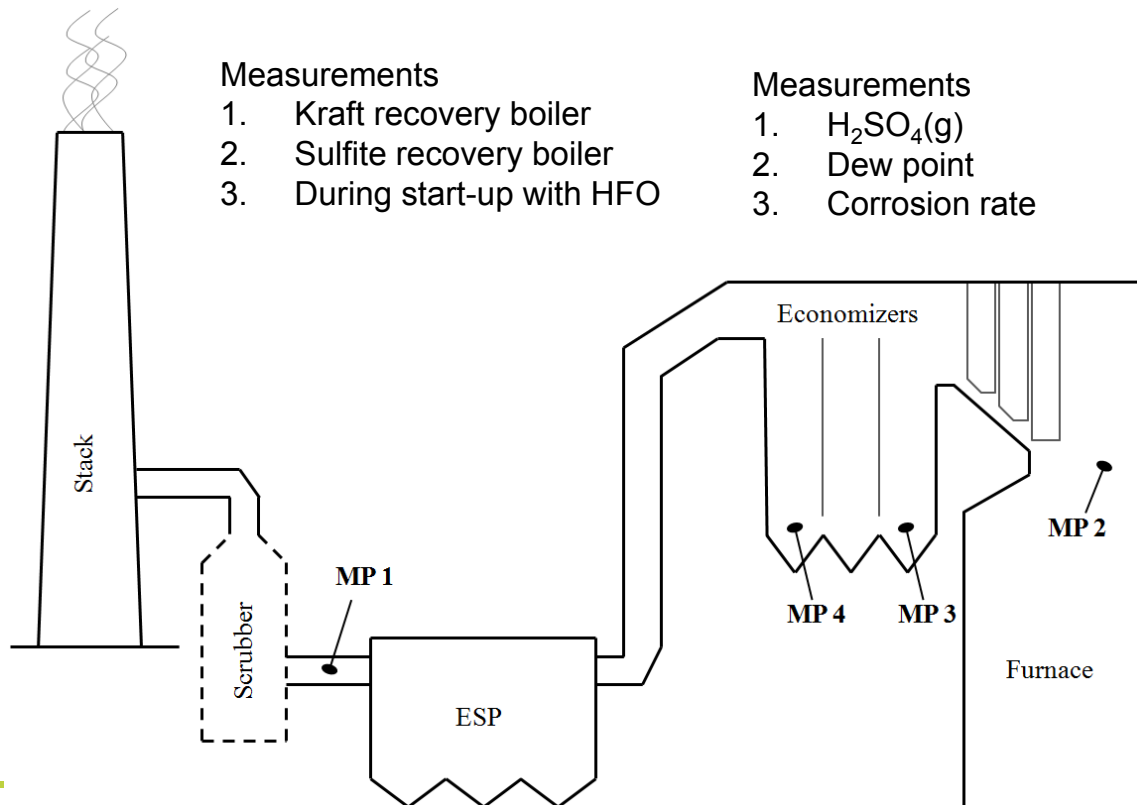
Understanding Low Temperature Corrosion in Black Liquor Combustion

Niklas Vähä-Savo, Emil Vainio, Nikolai
DeMartini, Patrik Yrjas & Mikko Hupa
Åbo Akademi

Overview



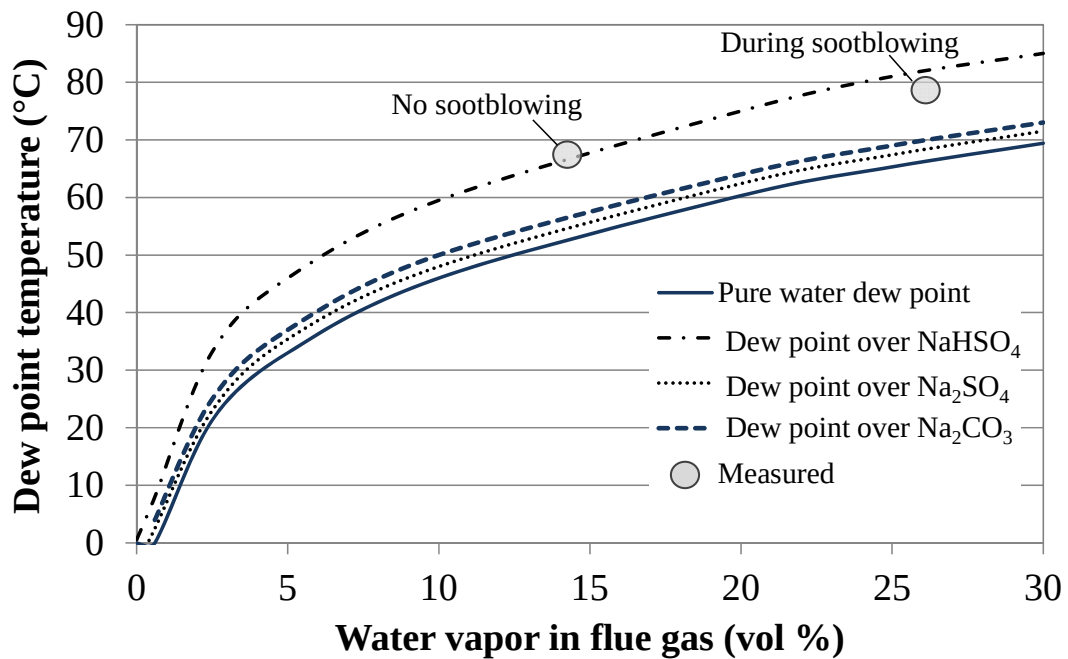
Measurement campaigns



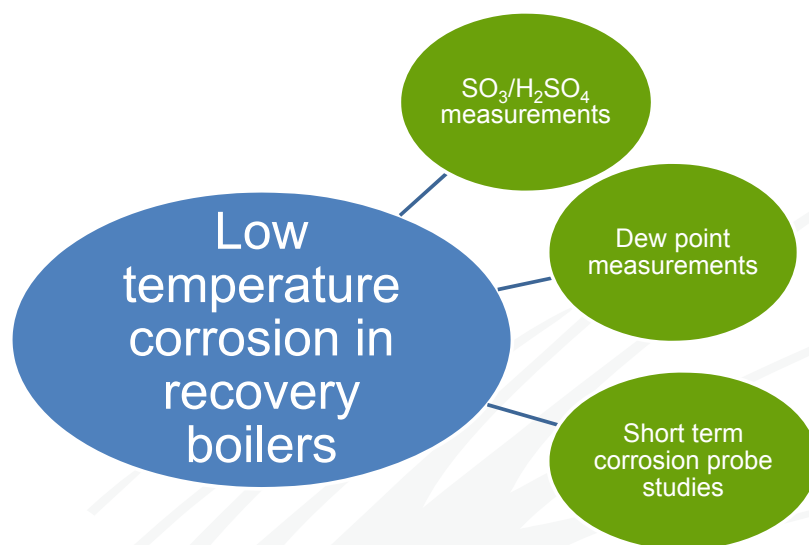
Conclusions

- The work showed that the studied boilers did not show any signs of potential to low temperature corrosion caused by the condensation of sulfuric acid
- During start-up with heavy fuel oil there is a risk of condensing sulfuric acid
- An elevated dew point was observed due to hygroscopic salts

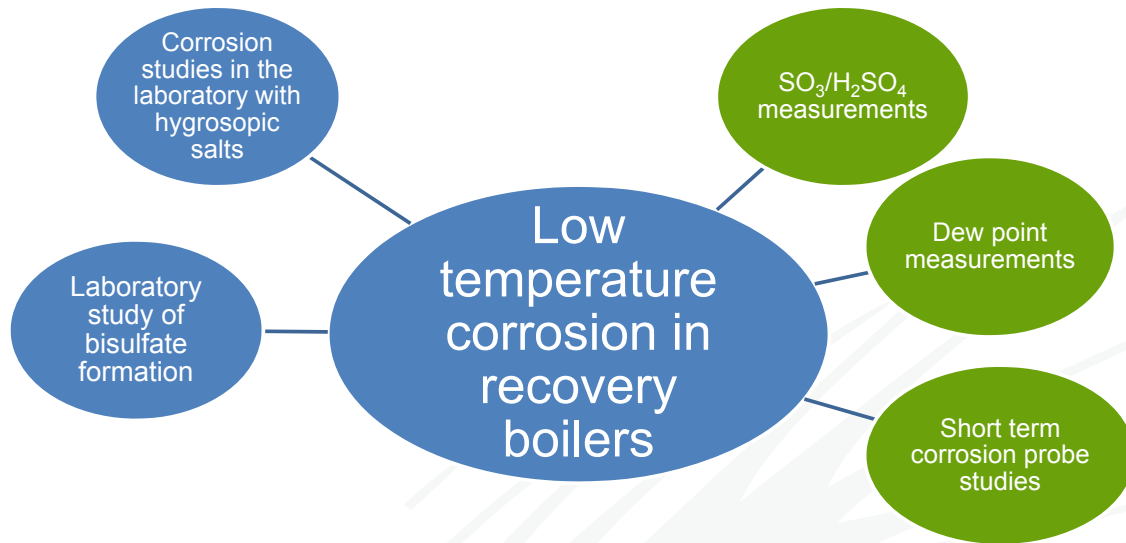
Dew point over salts



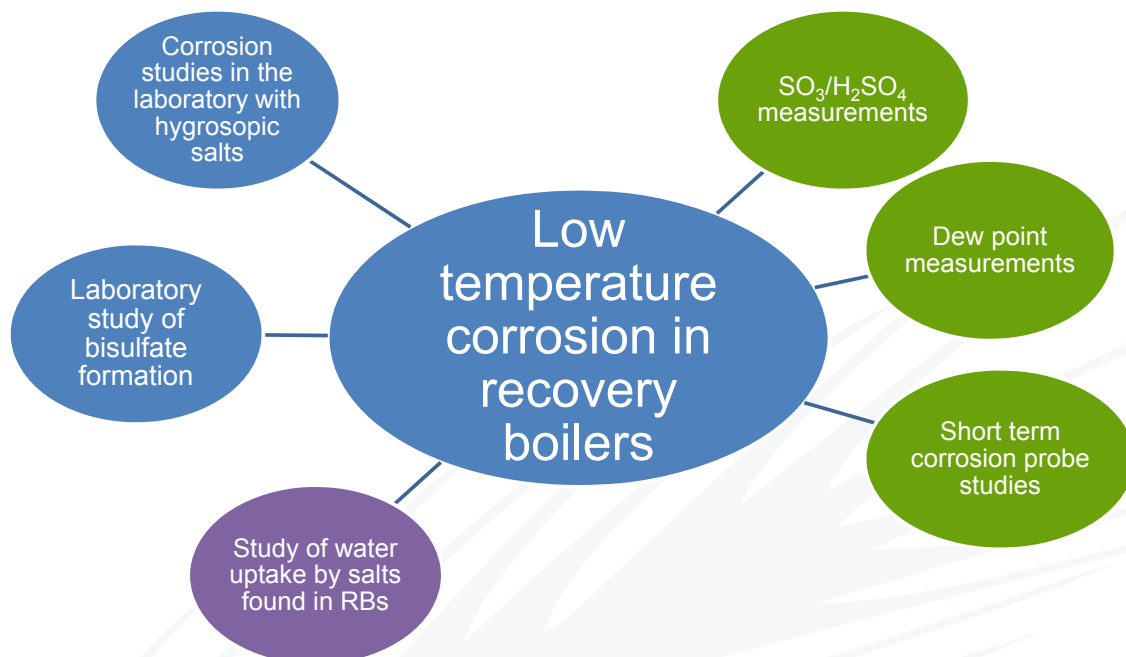
Overview



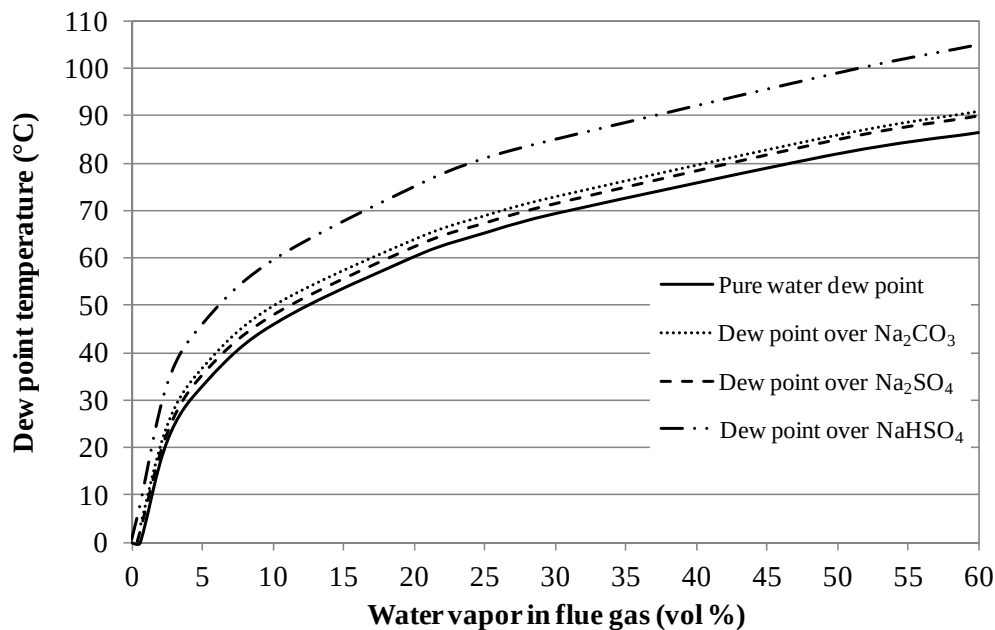
Overview



Overview



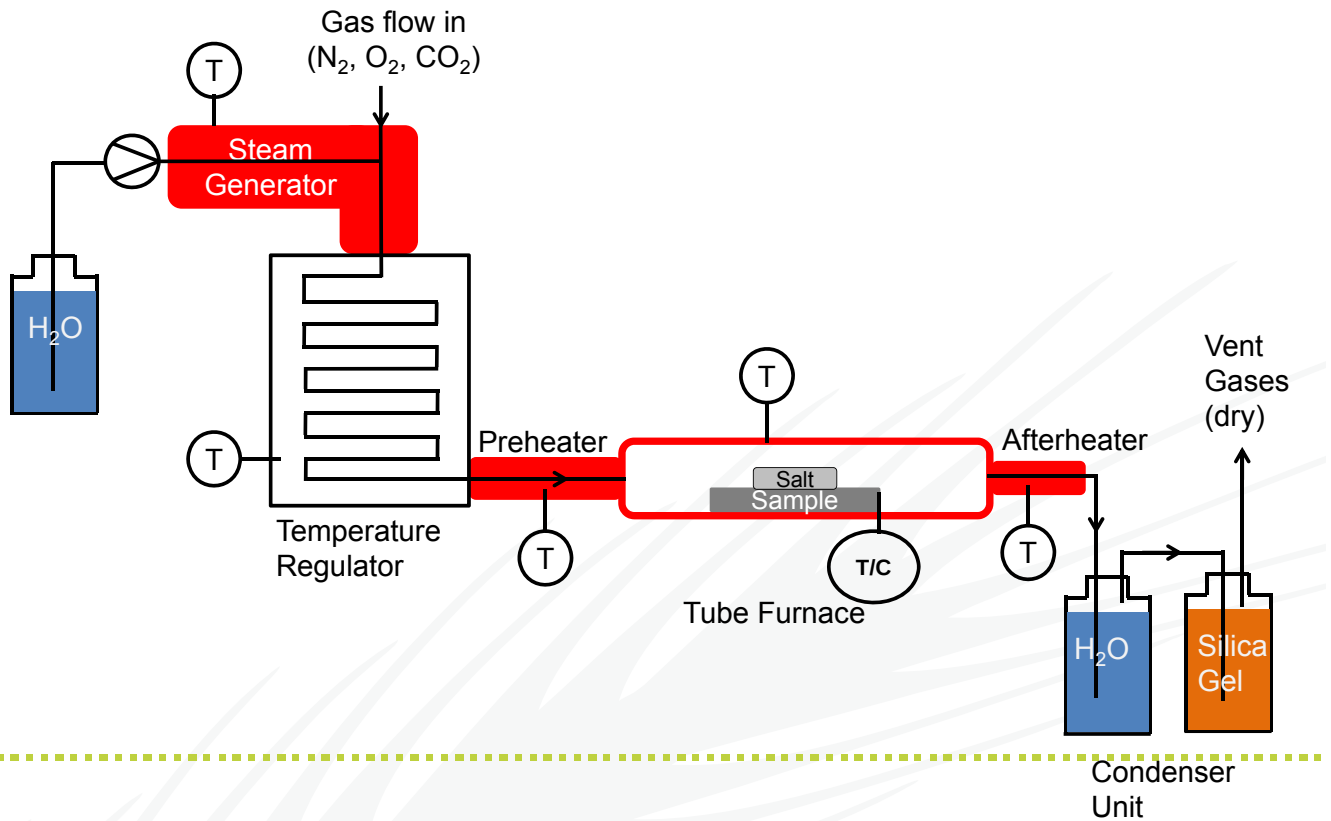
Water "dew point" over salts



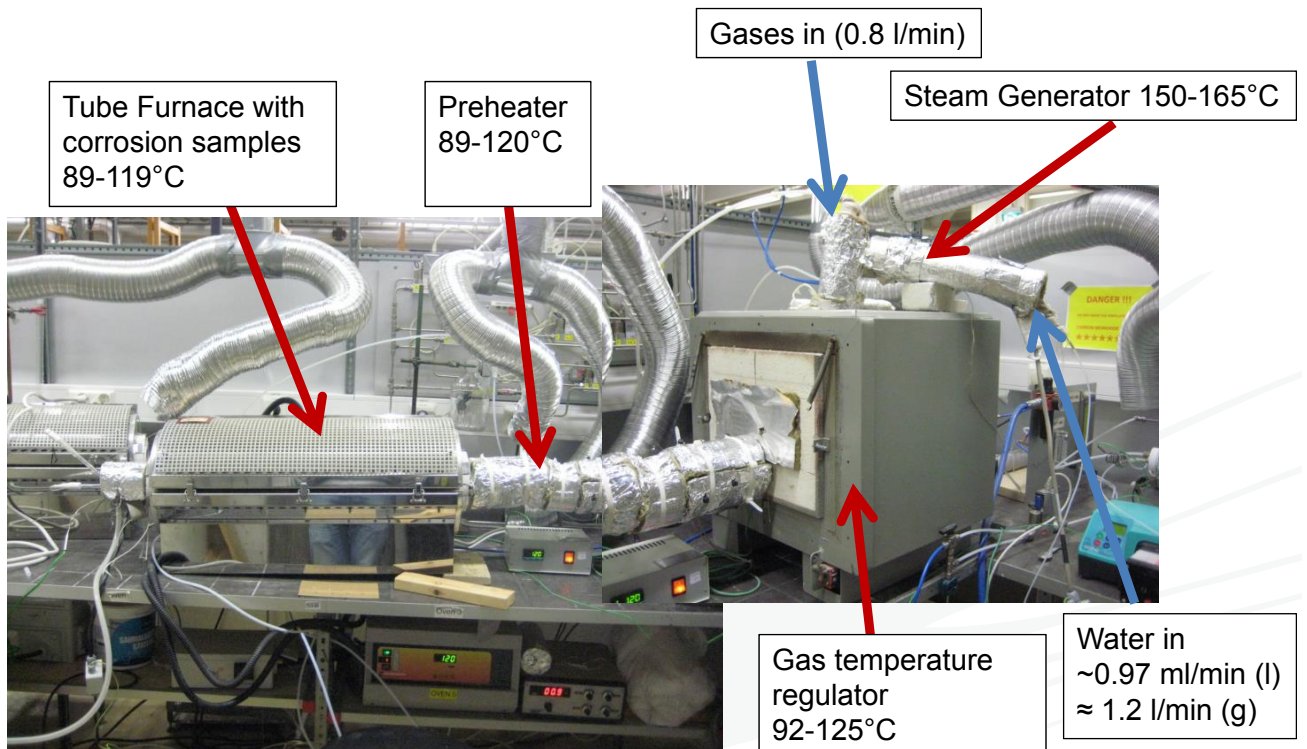
Objectives

- Understand the role of hygroscopic salts on low temperature corrosion for various water vapor concentrations
- Build a setup to study this with controlled conditions and with an even flow of water vapor (60vol%) at 90-120°C

Experimental setup



Experimental setup



Experimental work

- corrosion sample:
 - 2x2 cm carbon steel coupon
 - 3-4 coupons per experiment
 - ~0.1 g of salt on the corrosion sample
 - Total gas flow 2l/min
 - Gas composition during experimental runs:
60% H₂O, 31% N₂, 7% CO₂ & 2% O₂
 - Corrosion determined by:
 - Weight loss
 - Visual inspection
 - SEM analysis
-

Experimental setup



Experimental Plan

Run	Salt	Temperature (°C)	Water vapor content (%)	Time (h)	Steel
1	NaHSO ₄	90	60	4	Carbon Steel
2	NaHSO ₄	100	60	4	Carbon Steel
3	NaHSO ₄	110	60	4	Carbon Steel
4	NaHSO ₄	120	60	4	Carbon Steel
5	Na ₂ SO ₄	90	60	4	Carbon Steel
6	Na ₂ SO ₄	90	60	24	Carbon Steel
7	Na ₂ SO ₄	100	60	4	Carbon Steel
8	Na ₂ SO ₄	100	60	24	Carbon Steel
9	Na ₂ SO ₄	110	60	24	Carbon Steel
10	Na ₂ SO ₄	120	60	4	Carbon Steel

Results

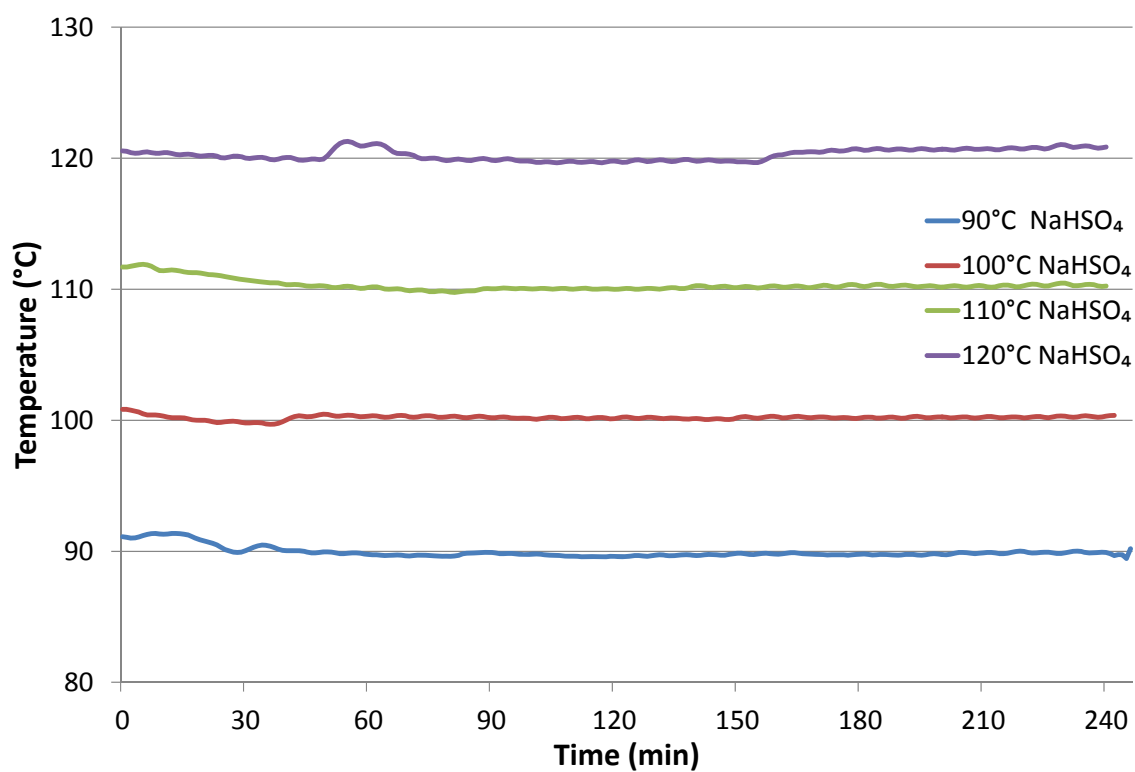
(from the experimental setup)

Calculated gas composition

	Target (vol %)	Average (vol%)	Highest (vol %)	Lowest (vol %)
H ₂ O	60	59.3	59.9	58.7
N ₂	31	31.6	31.1	32
CO ₂	7	7.1	7	7.2
O ₂	2	2	2	2.1

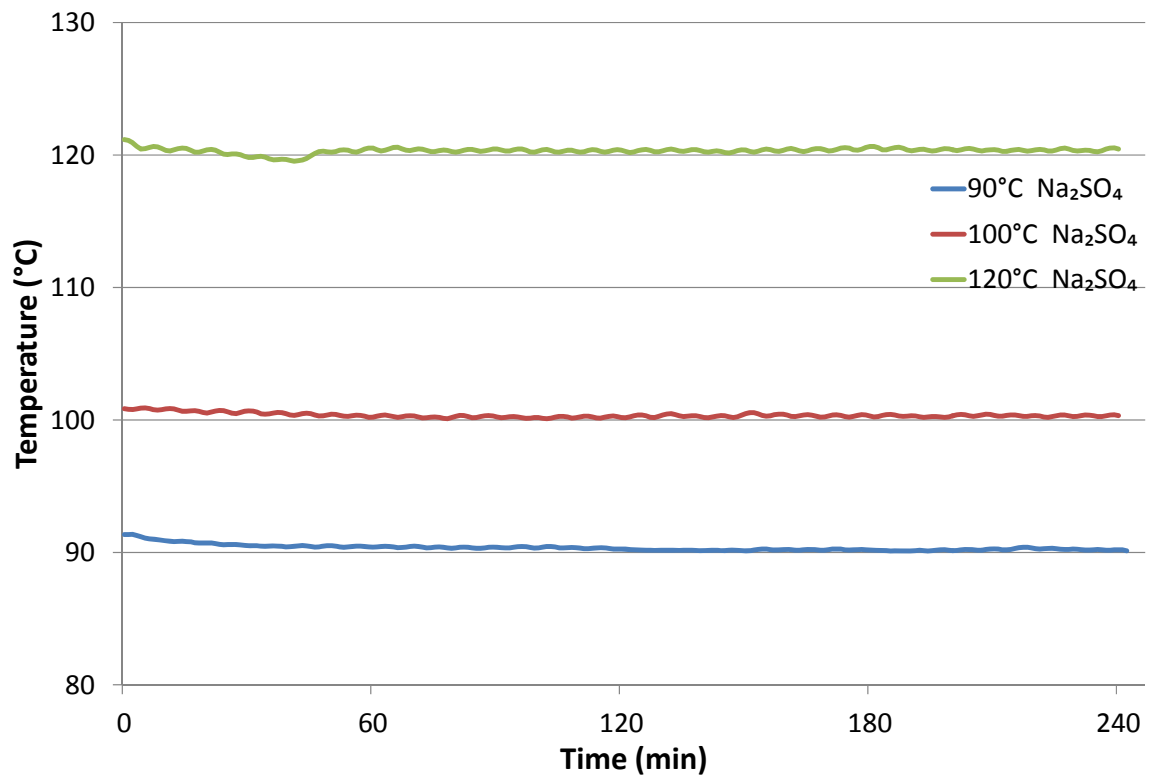
Temperature

NaHSO₄ 4 h experiments



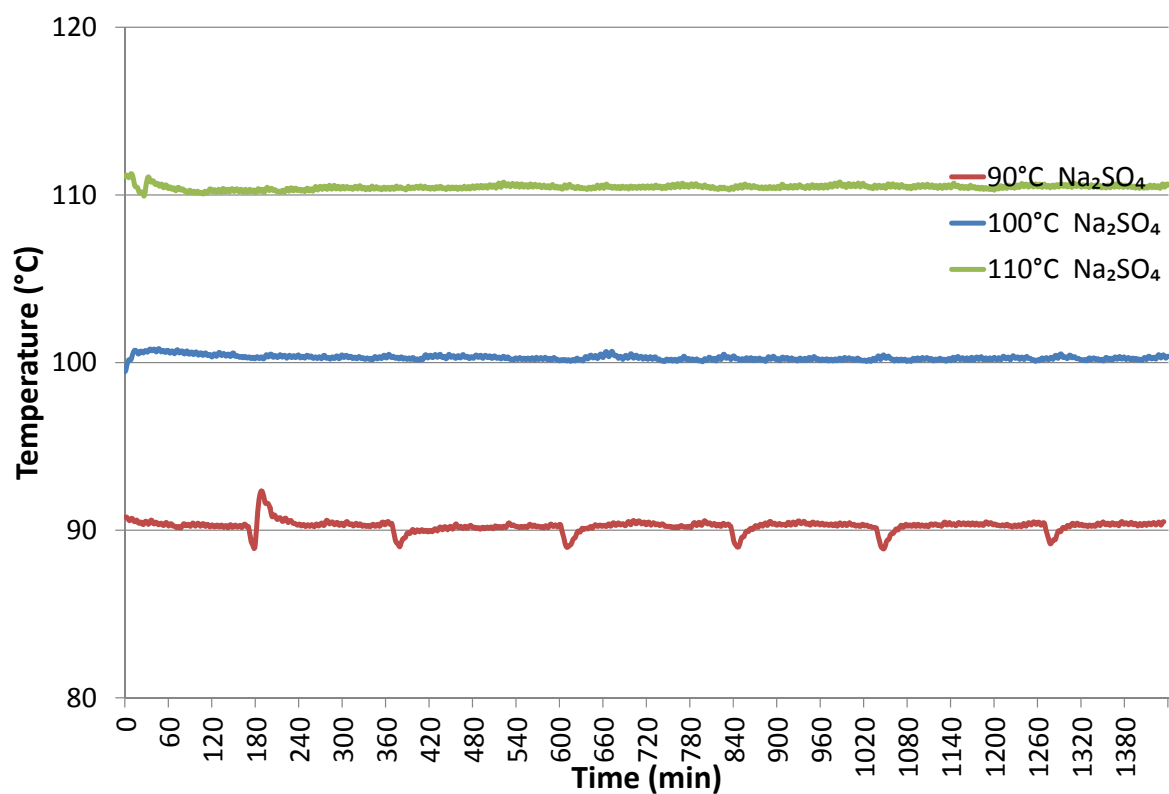
Temperature

Na₂SO₄ 4 h experiments



Temperature

Na₂SO₄ 24 h experiments



Results

(from the corrosion experiments)



PROCESS CHEMISTRY CENTRE



Temperature: 90°C

Salt: NaHSO₄

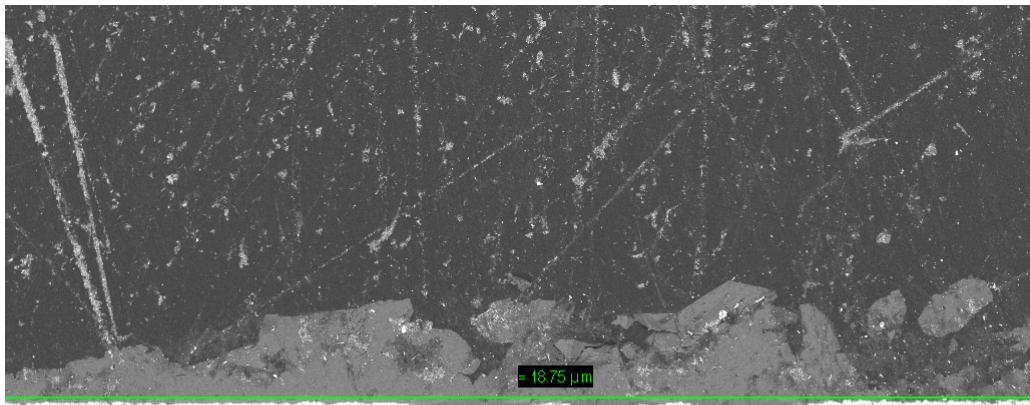
Exposure: 4h



Temperature: 90°C

Salt: NaHSO₄

Exposure: 4h



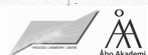
200μm
LEO 1530

Mag = 100 X
WD = 12 mm

EHT = 15.00 kV
Signal A = QBSD

Aperture Size = 60.00 μm
Image Pixel Size = 1.172 μm

Date :30 Sep 2014

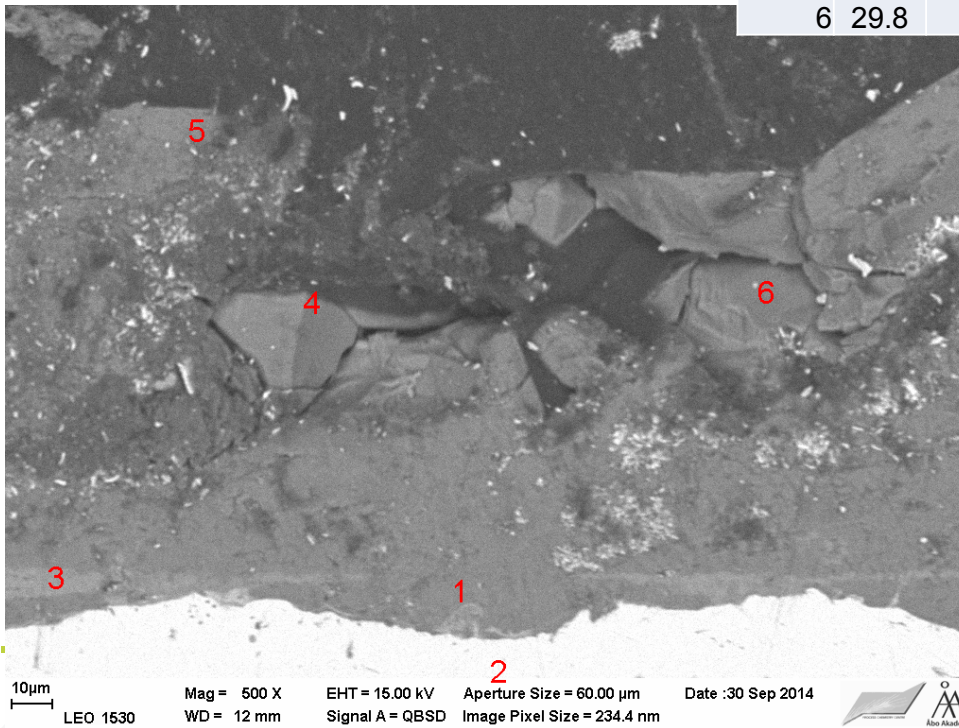


Temperature: 90°C

Salt: NaHSO_4

Exposure: 4h

WT%				
	Fe	S	Na	O
1	17.4	19.6	16.7	46.2
2	98.7			
3	23.3	20.6	8.6	47.3
4	22.2	25.8	13.0	38.3
5	18.0	21.5	16.4	43.7
6	29.8	20.9		48.6

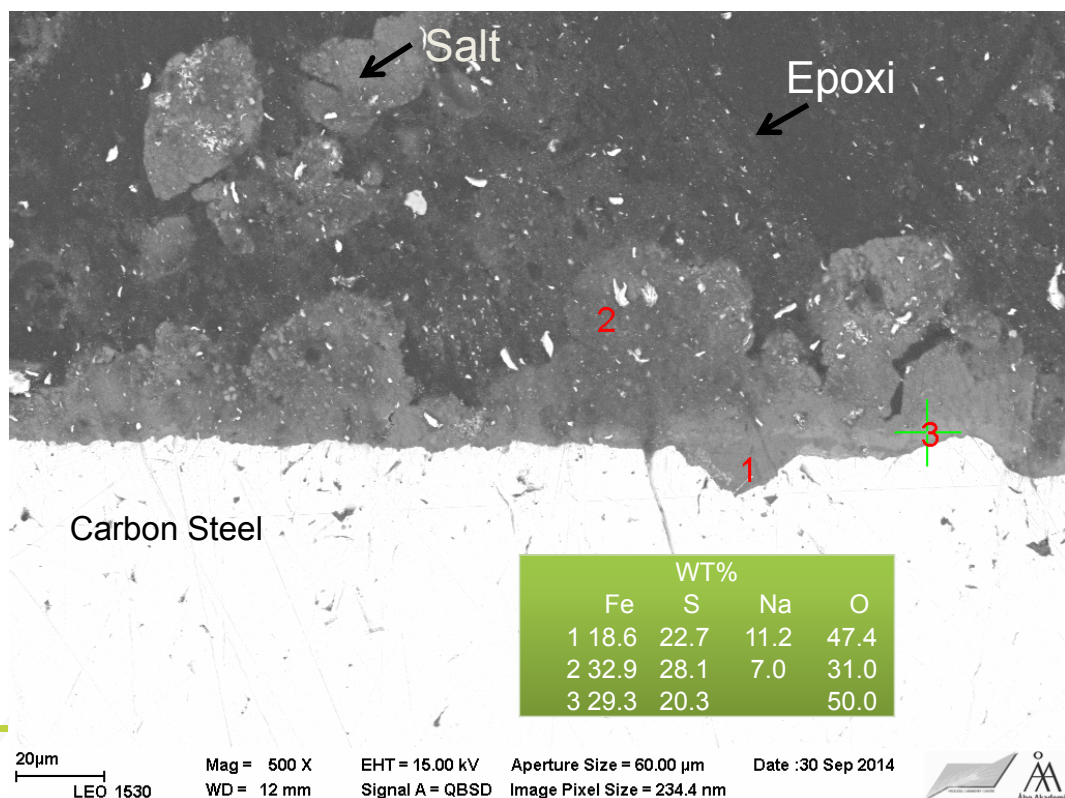


middle

Temperature: 90°C

Salt: NaH_2SO_4

Exposure: 4h



Carbon Steel

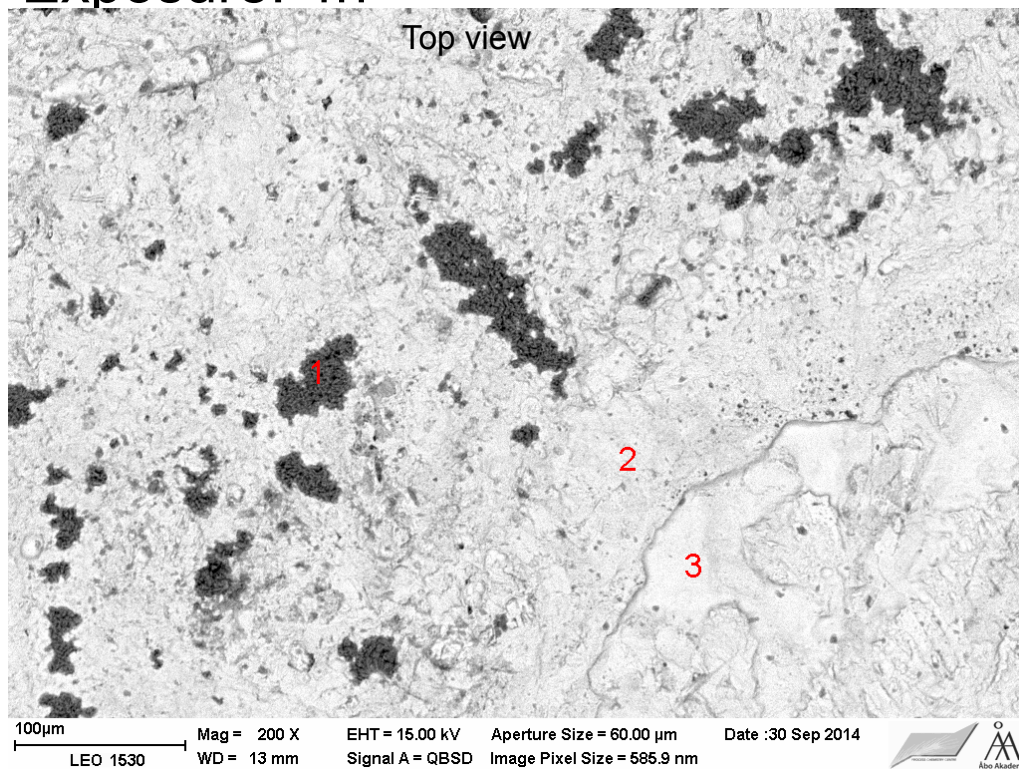
WT%				
	Fe	S	Na	O
1	18.6	22.7	11.2	47.4
2	32.9	28.1	7.0	31.0
3	29.3	20.3		50.0

Temperature: 90°C

Salt: NaHSO₄

Exposure: 4h

WT%				
	Fe	S	Na	O
1	33.4	20.1		45.1
2	95.9	0.3		2.4
3	97.0	0.3		1.3



Temperature: 100°C

Salt: NaHSO₄

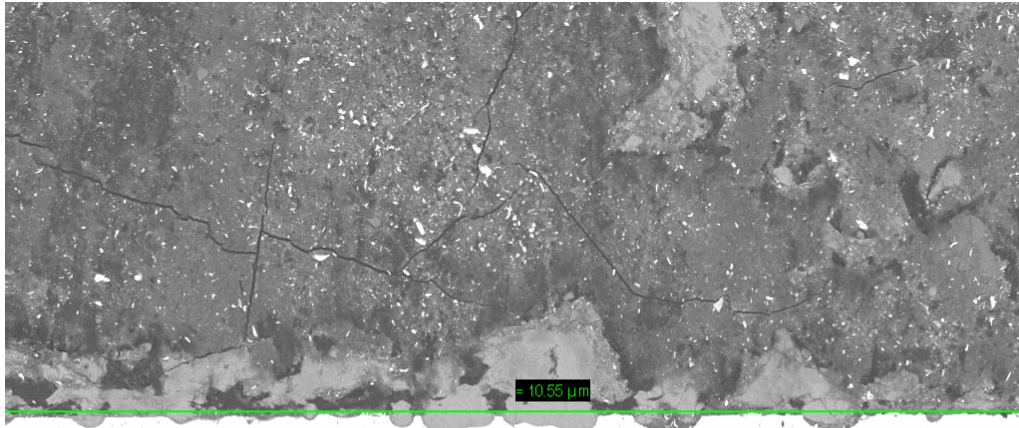
Exposure: 4h



Temperature: 100°C

Salt: NaHSO₄

Exposure: 4h



100μm

LEO 1530

Mag = 200 X
WD = 11 mm

EHT = 15.00 kV
Signal A = QBSD

Aperture Size = 60.00 μm
Image Pixel Size = 585.9 nm

Date :30 Sep 2014



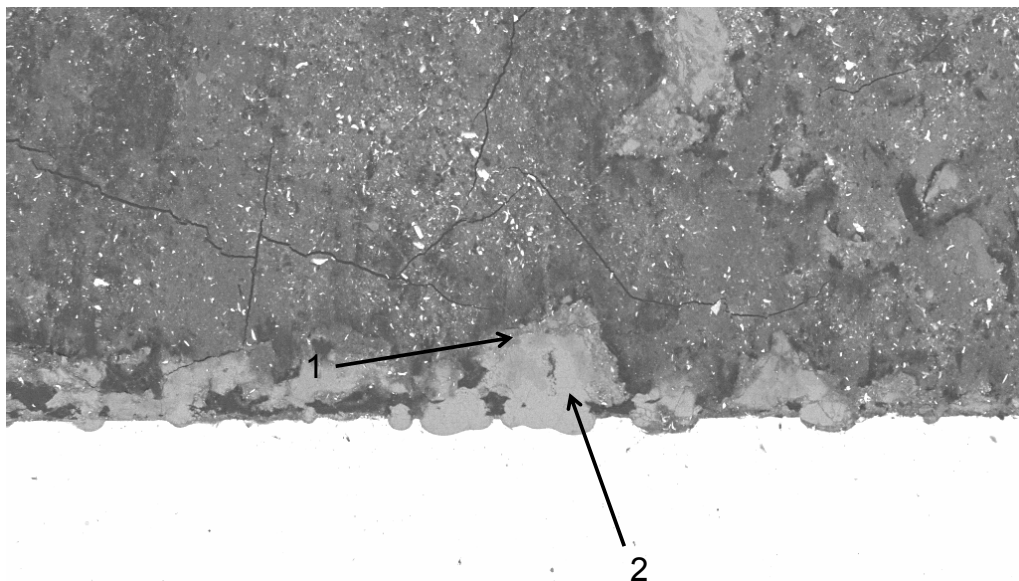
Abo Akademi

Temperature: 100°C

Salt: NaHSO₄

Exposure: 4h

WT%				
	Fe	S	Na	O
1	15.3	23.7	14.7	46.1
2	32.2	21.9		45.6



100μm

LEO 1530

Mag = 200 X
WD = 11 mm

EHT = 15.00 kV
Signal A = QBSD

Aperture Size = 60.00 μm
Image Pixel Size = 585.9 nm

Date :30 Sep 2014



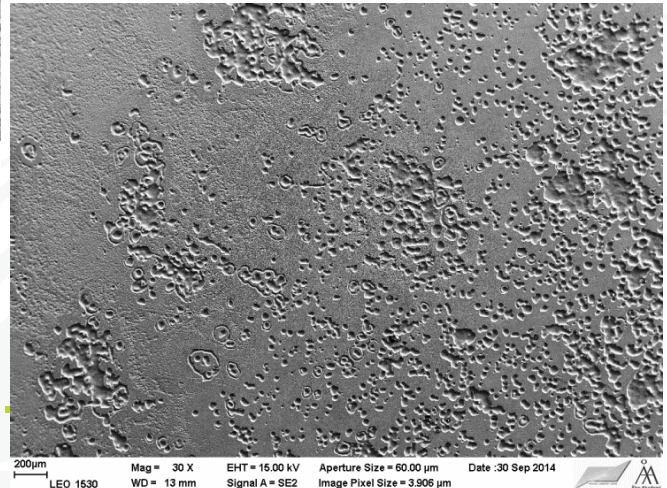
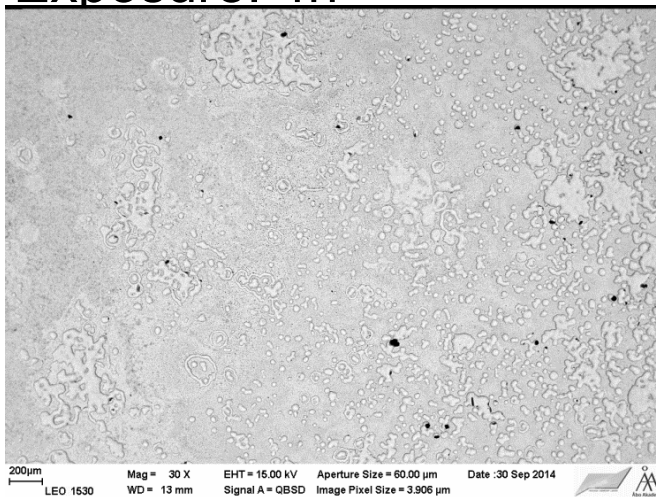
Abo Akademi

Temperature: 100°C

Salt: NaHSO_4

Exposure: 4h

Top view



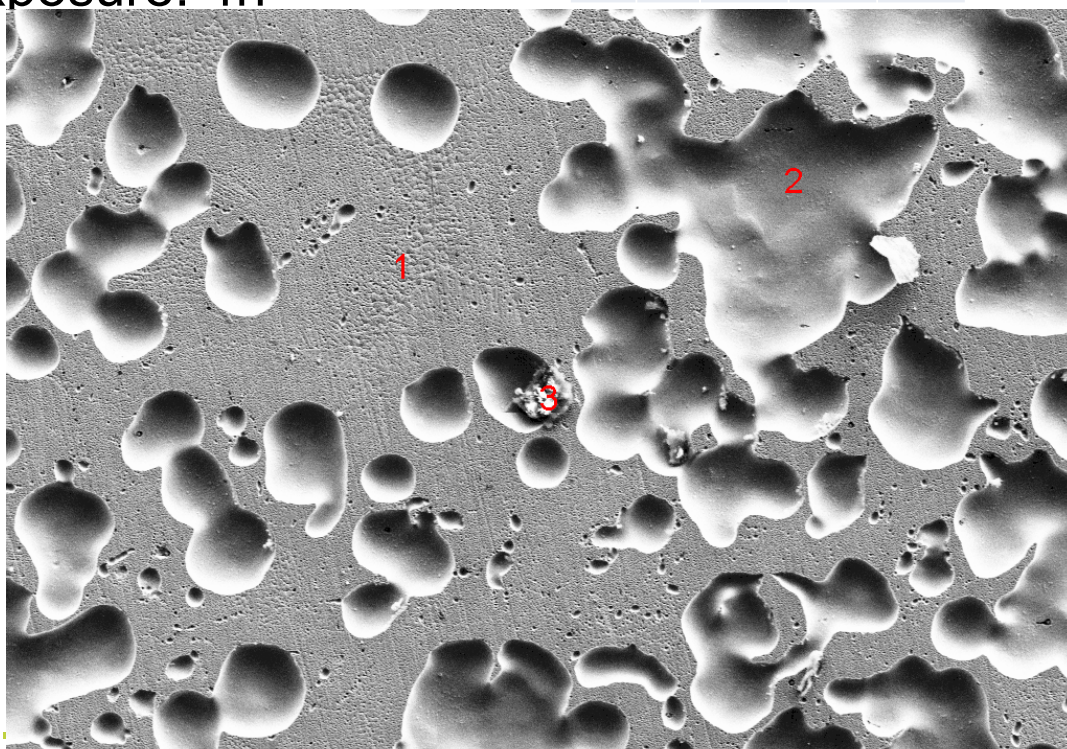
Temperature: 100°C

Salt: NaHSO_4

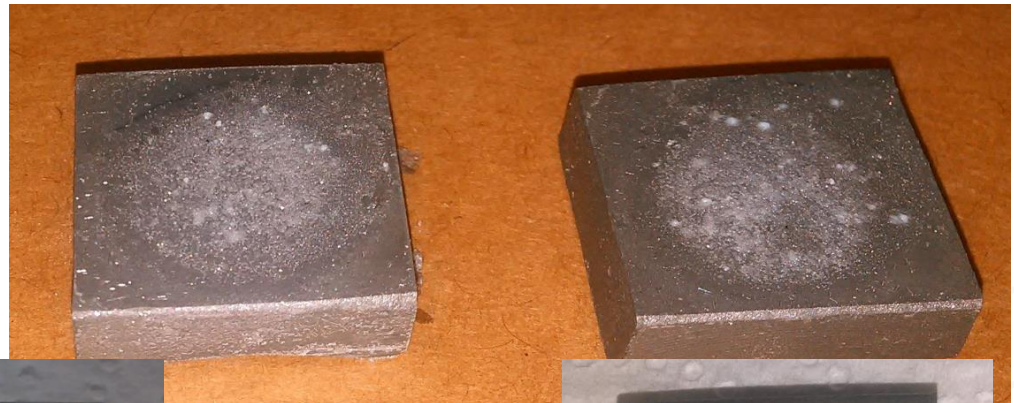
Exposure: 4h

Top view

WT%				
	Fe	S	Na	O
1	97.0			
2	98.2			
3	18.6	1.2	2.3	31.9



Temperature: 110°C
Salt: NaHSO₄
Exposure: 4h



Temperature: 110°C
Salt: NaHSO₄
Exposure: 4h



10µm

LEO 1530

Mag = 500 X
WD = 11 mm

EHT = 15.00 kV
Signal A = QBSD

Aperture Size = 60.00 µm
Image Pixel Size = 234.4 nm

Date :30 Sep 2014

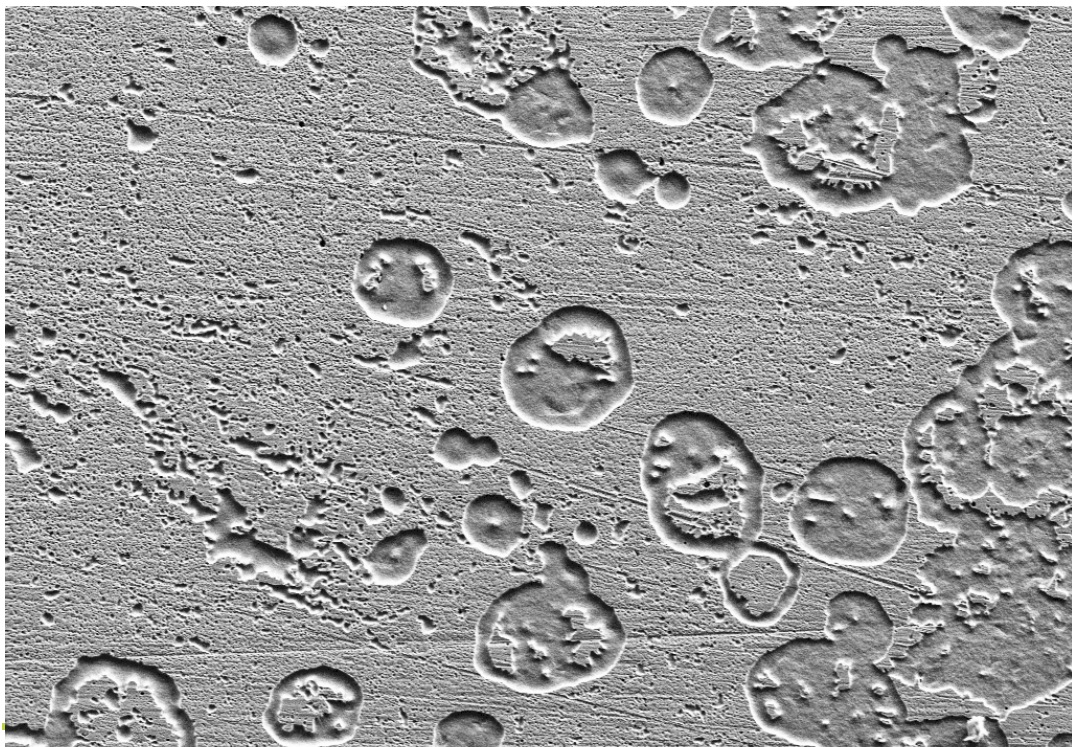


Temperature: 110°C

Salt: NaHSO_4

Exposure: 4h

Top view



100μm

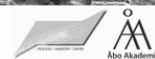
LEO 1530

Mag = 200 X
WD = 13 mm

EHT = 15.00 kV
Signal A = SE2

Aperture Size = 60.00 μm
Image Pixel Size = 585.9 nm

Date :30 Sep 2014



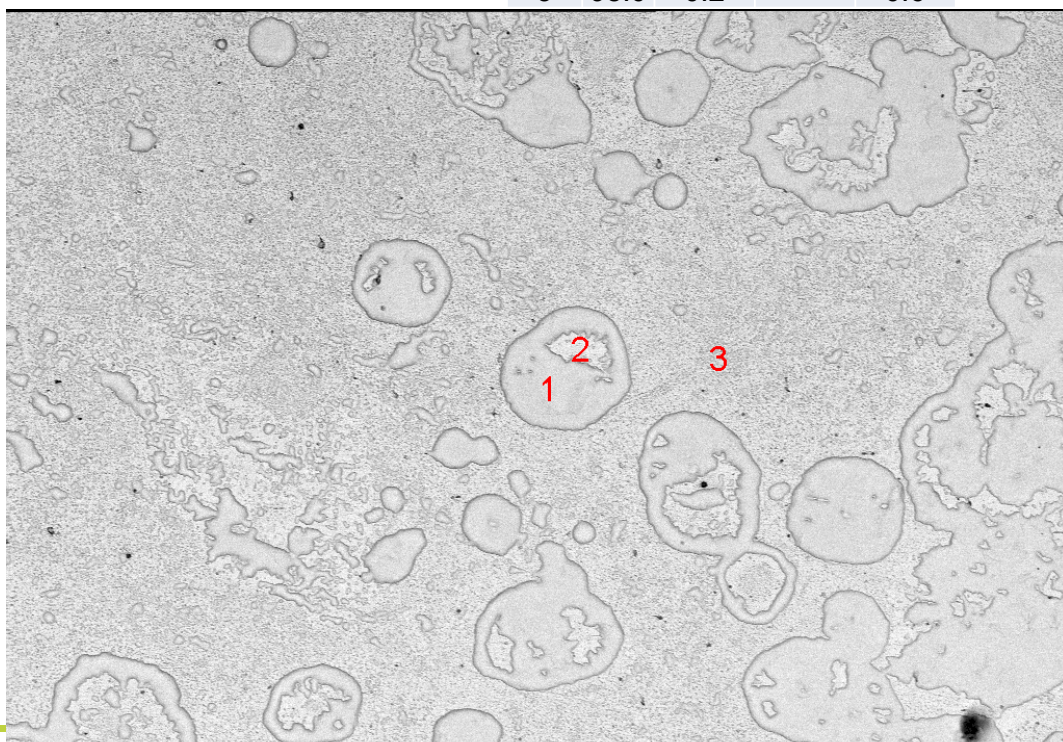
Temperature: 110°C

Salt: NaHSO_4

Exposure: 4h

Top view

WT%				
	Fe	S	Na	O
1	98.0	0.1		0.4
2	98.4			
3	98.0	0.2		0.6



100μm

LEO 1530

Mag = 200 X
WD = 13 mm

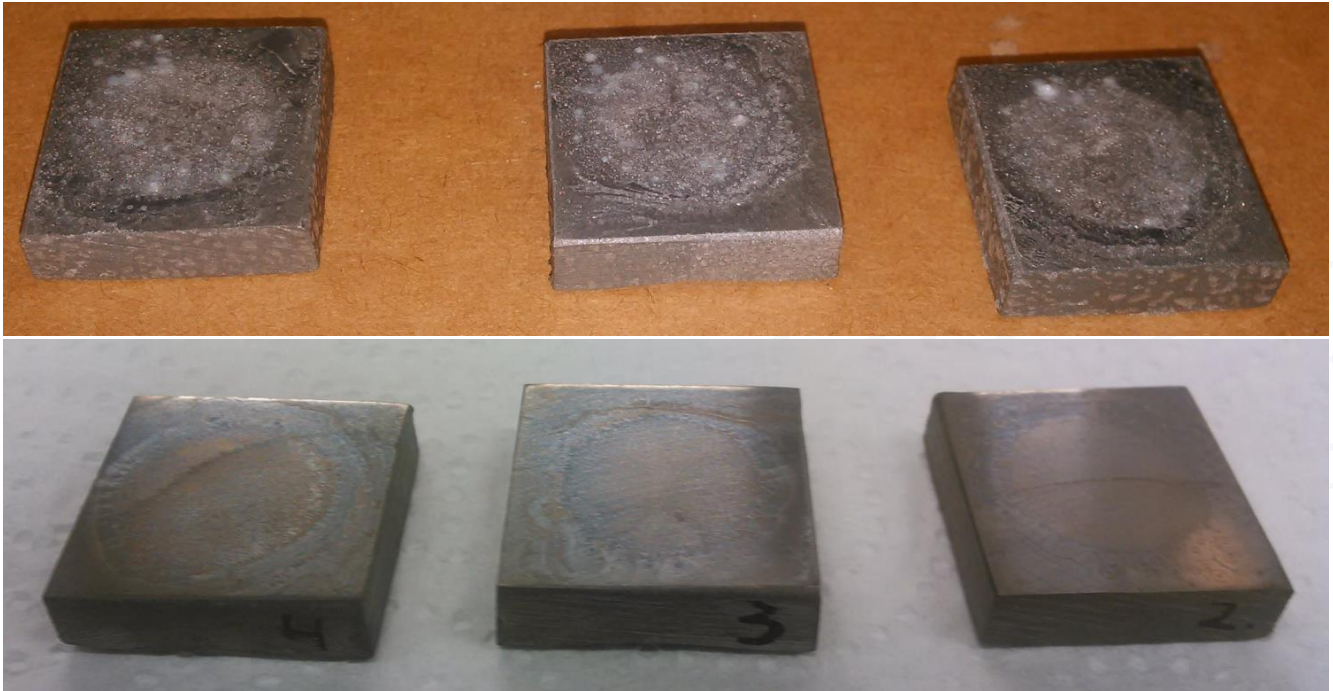
EHT = 15.00 kV
Signal A = QBSD

Aperture Size = 60.00 μm
Image Pixel Size = 585.9 nm

Date :30 Sep 2014

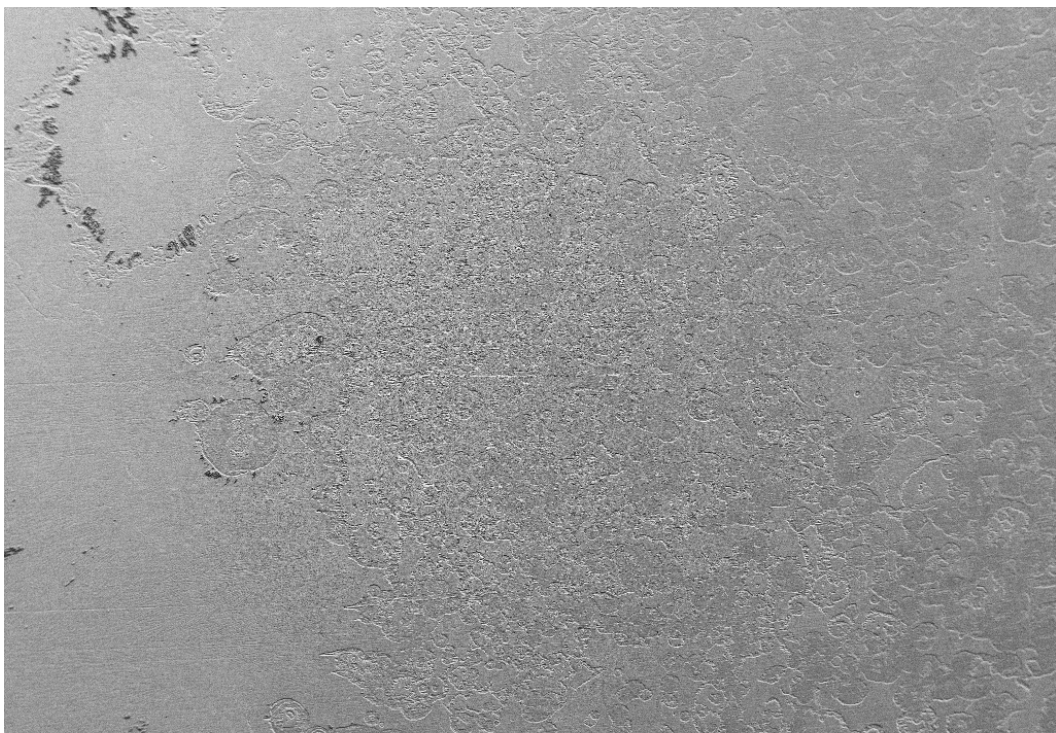


Temperature: 120°C
Salt: NaHSO₄
Exposure: 4h



Temperature: 120°C
Salt: NaHSO₄
Exposure: 4h

Top view



200µm

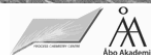
LEO 1530

Mag = 30 X
WD = 13 mm

EHT = 15.00 kV
Signal A = SE2

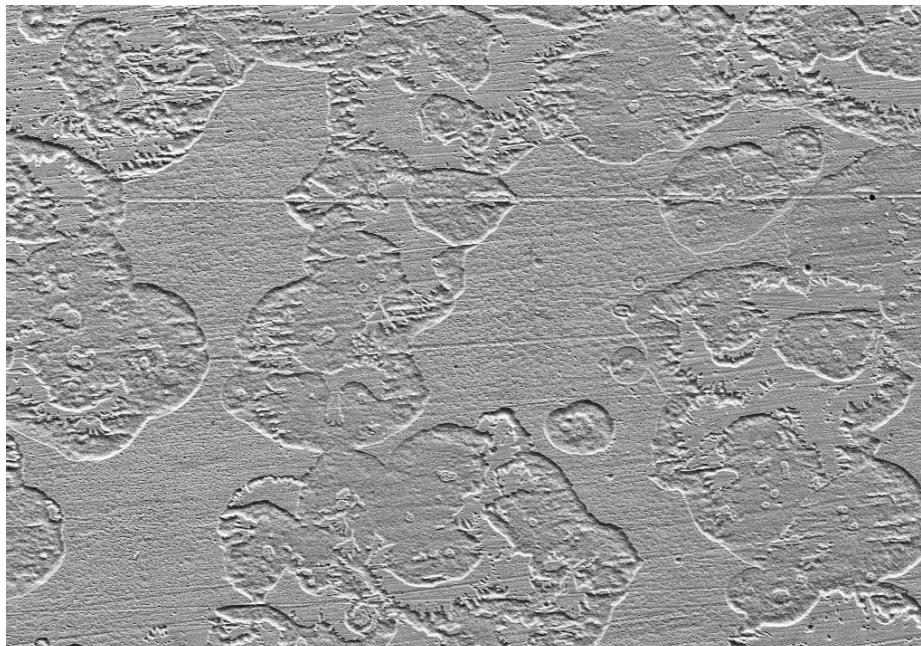
Aperture Size = 60.00 µm
Image Pixel Size = 3.906 µm

Date :30 Sep 2014

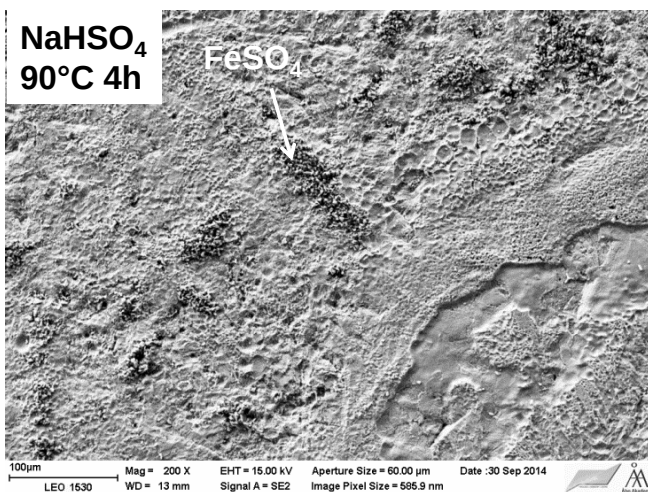
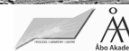


Temperature: 120°C
Salt: NaHSO₄
Exposure: 4h

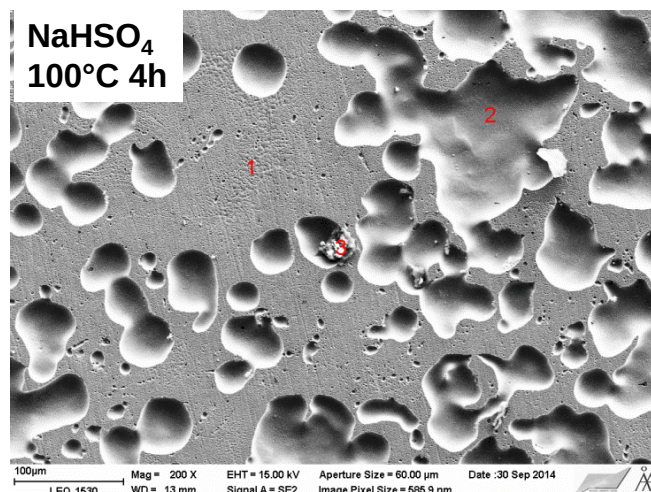
Top view



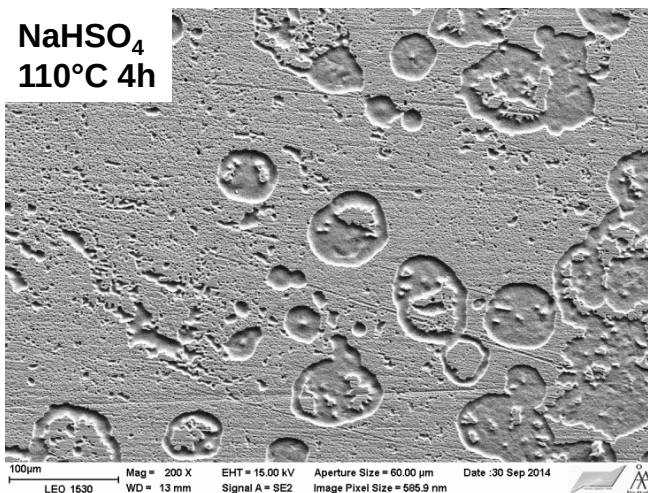
100µm Mag = 200 X EHT = 15.00 kV Aperture Size = 60.00 µm Date :30 Sep 2014
LEO 1530 WD = 13 mm Signal A = SE2 Image Pixel Size = 585.9 nm



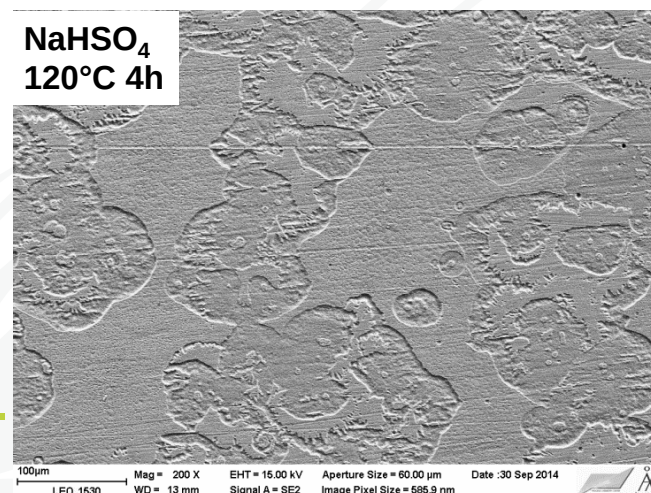
100µm Mag = 200 X EHT = 15.00 kV Aperture Size = 60.00 µm Date :30 Sep 2014
LEO 1530 WD = 13 mm Signal A = SE2 Image Pixel Size = 585.9 nm



100µm Mag = 200 X EHT = 15.00 kV Aperture Size = 60.00 µm Date :30 Sep 2014
LEO 1530 WD = 13 mm Signal A = SE2 Image Pixel Size = 585.9 nm

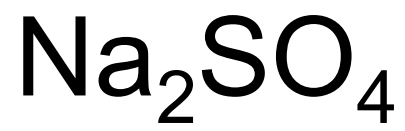


100µm Mag = 200 X EHT = 15.00 kV Aperture Size = 60.00 µm Date :30 Sep 2014
LEO 1530 WD = 13 mm Signal A = SE2 Image Pixel Size = 585.9 nm



100µm Mag = 200 X EHT = 15.00 kV Aperture Size = 60.00 µm Date :30 Sep 2014
LEO 1530 WD = 13 mm Signal A = SE2 Image Pixel Size = 585.9 nm





Temperature: 90°C

Salt: Na_2SO_4

Exposure: 4h

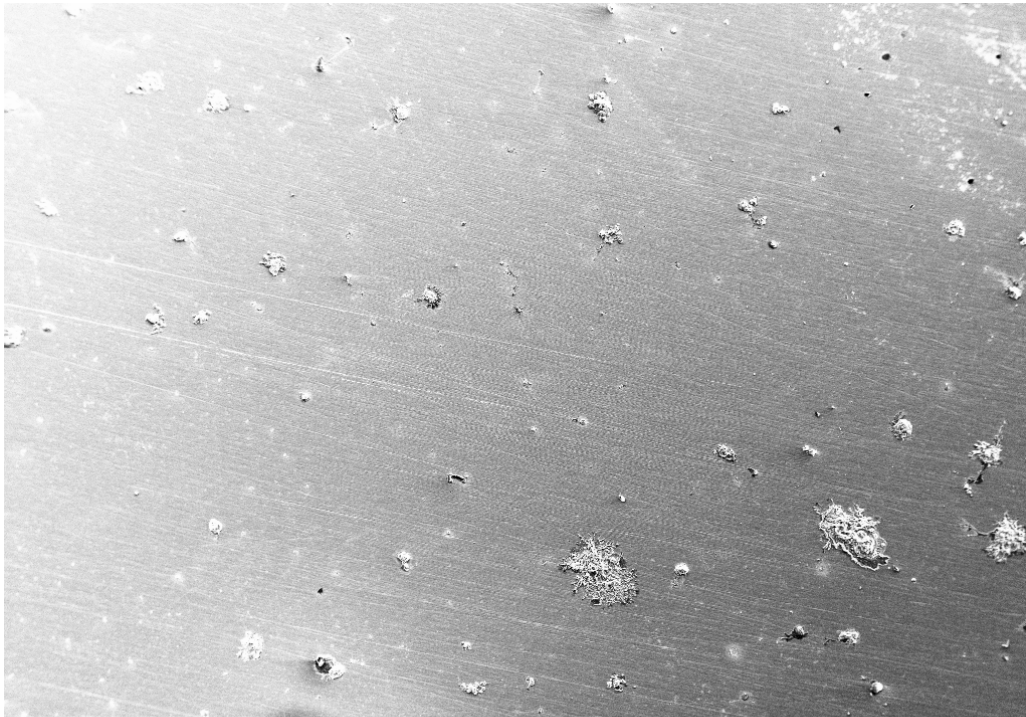


Temperature: 90°C

Salt: Na_2SO_4

Exposure: 4h

Top view



200 μm
LEO 1530

Mag = 30 X
WD = 13 mm

EHT = 15.00 kV
Signal A = SE2

Aperture Size = 60.00 μm
Image Pixel Size = 3.906 μm

Date :30 Sep 2014



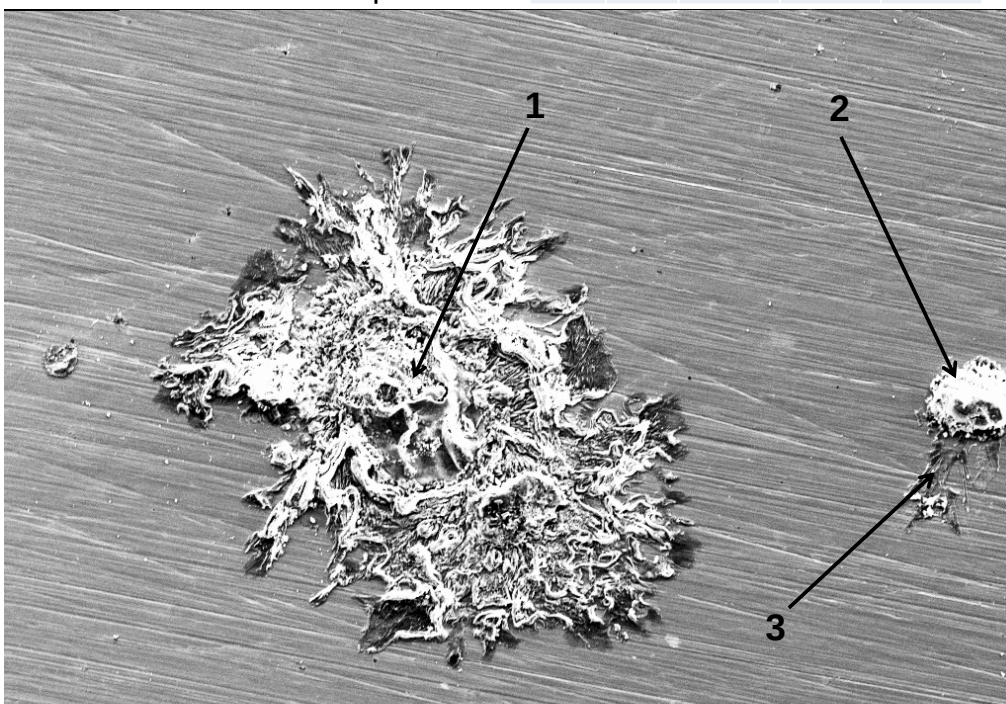
Temperature: 90°C

Salt: Na_2SO_4

Exposure: 4h

Top view

WT%				
	Fe	S	Na	O
1	64.0	1.1	1.4	31.7
2	40.7	5.7	16.6	35.1
3	62.9	3.9	20.9	11.7



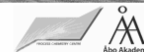
100 μm
LEO 1530

Mag = 200 X
WD = 13 mm

EHT = 15.00 kV
Signal A = SE2

Aperture Size = 60.00 μm
Image Pixel Size = 586.9 nm

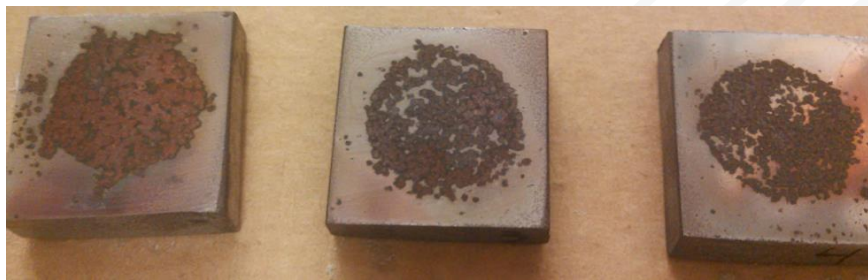
Date :30 Sep 2014



Temperature: 90°C

Salt: Na_2SO_4

Exposure: 24h

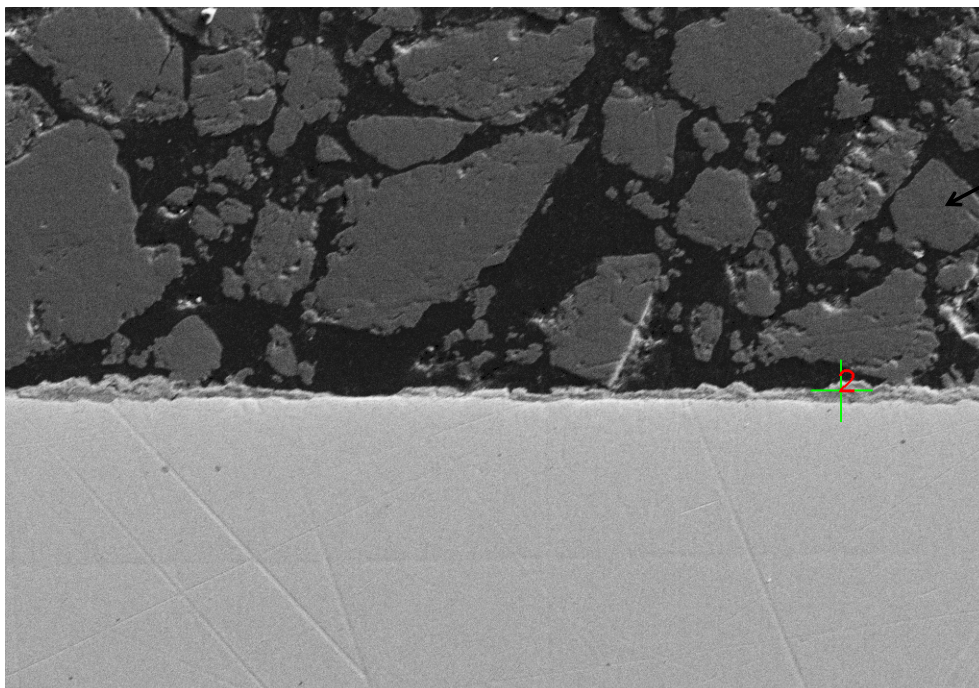


Temperature: 90°C

Salt: Na_2SO_4

Exposure: 24h

WT%				
	Fe	S	Na	O
1	0.3	24.0	35.5	40.2
2	62.0	1.1	4.9	30.8



100µm

LEO 1530

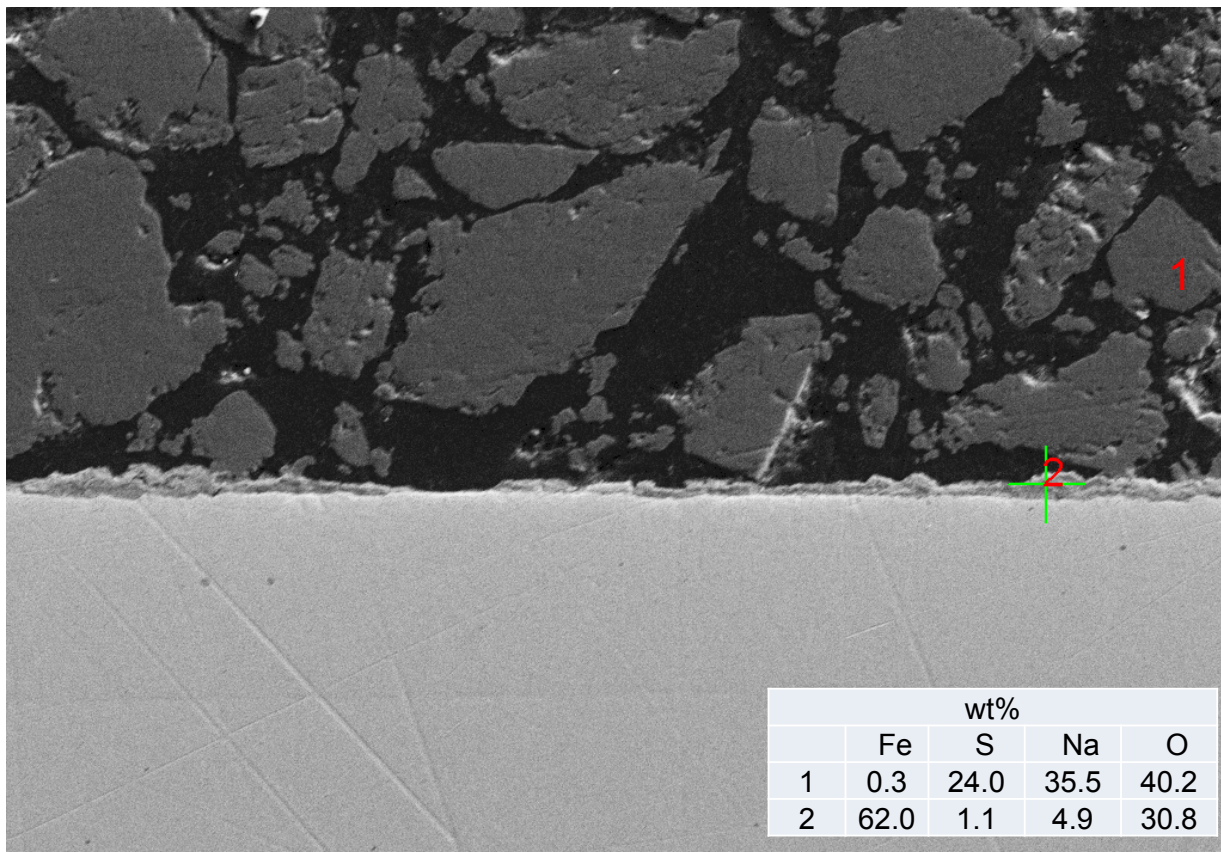
Mag = 200 X
WD = 11 mm

EHT = 15.00 kV
Signal A = SE2

Aperture Size = 60.00 µm
Image Pixel Size = 585.9 nm

Date :30 Sep 2014

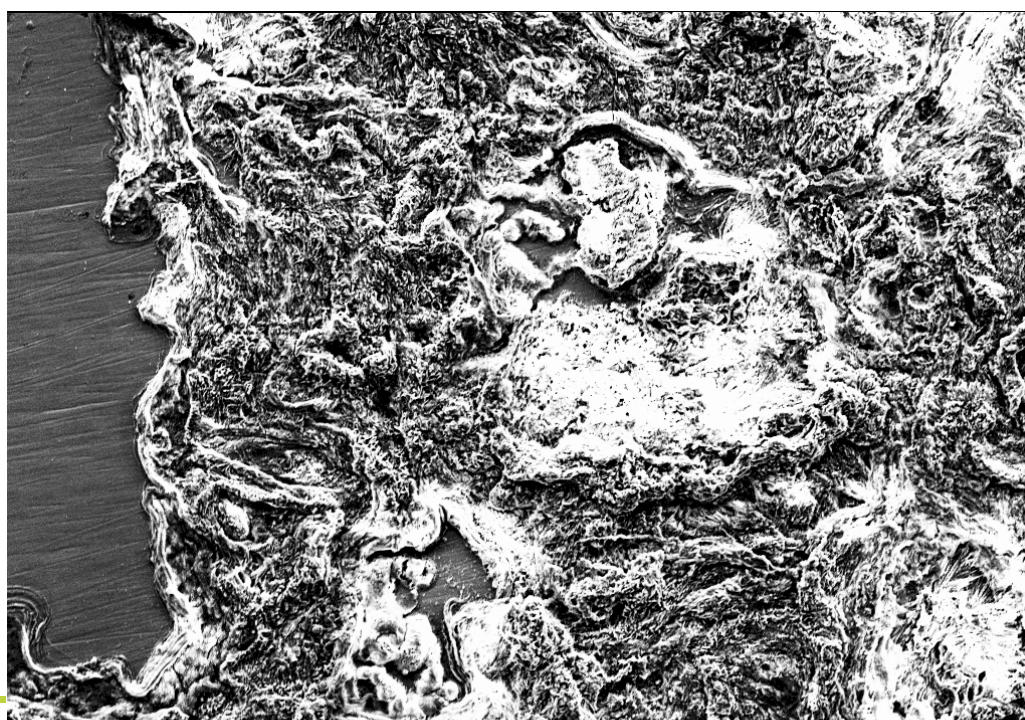




100µm | LEO 1530 | Mag = 200 X | EHT = 15.00 kV | Aperture Size = 60.00 µm | Date :30 Sep 2014
 WD = 11 mm | Signal A = SE2 | Image Pixel Size = 585.9 nm

Temperature: 90°C
 Salt: Na_2SO_4
 Exposure: 24h

Top view



100µm | LEO 1530 | Mag = 200 X | EHT = 15.00 kV | Aperture Size = 60.00 µm | Date :30 Sep 2014
 WD = 13 mm | Signal A = SE2 | Image Pixel Size = 585.9 nm

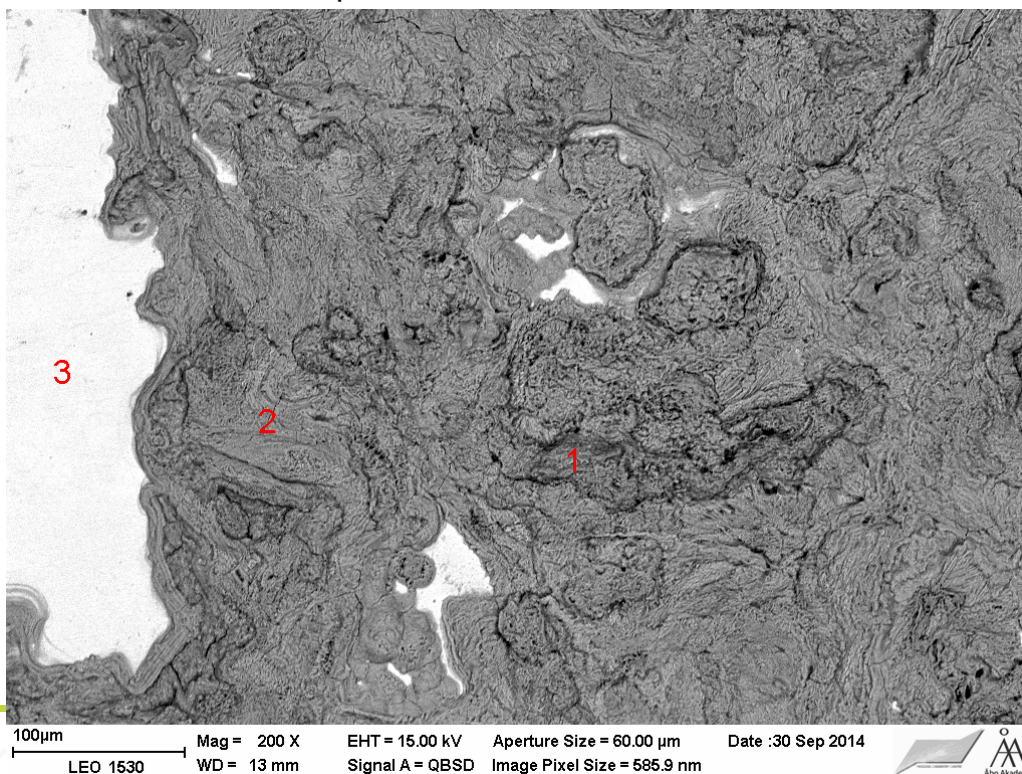
Temperature: 90°C

Salt: Na_2SO_4

Exposure: 24h

Top view

WT%				
	Fe	S	Na	O
1	65.0	0.5	1.5	31.9
2	63.8	0.6		34.5
3	98.6			0.0



Temperature: 100°C

Salt: Na_2SO_4

Exposure: 4h



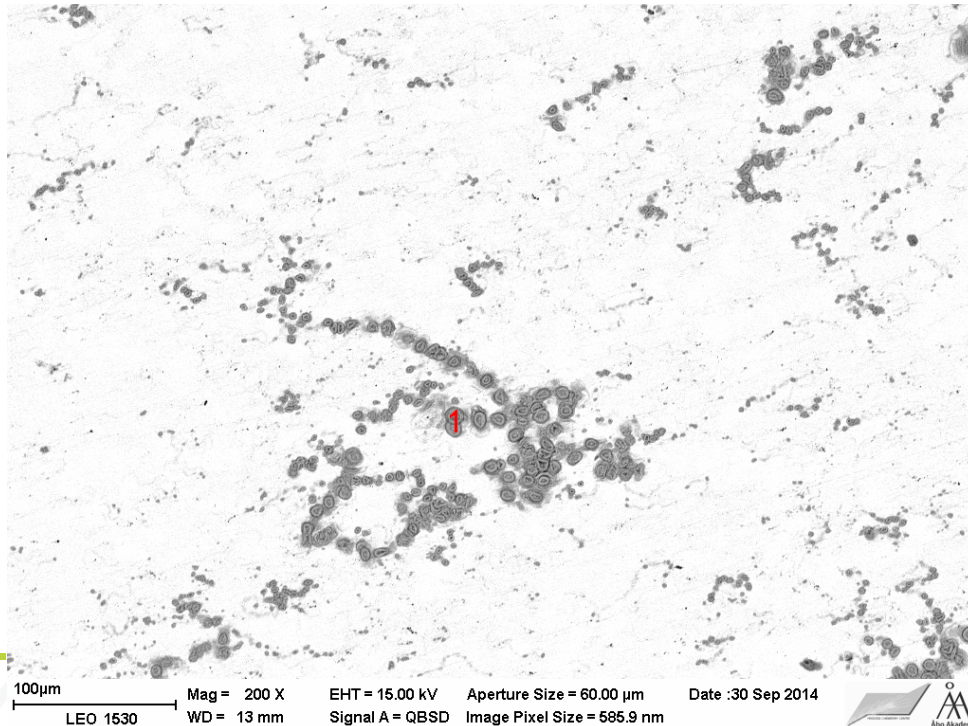
Temperature: 100°C

Salt: Na_2SO_4

Exposure: 4h

WT%				
	Fe	S	Na	O
1	67.1	0.1		31.6

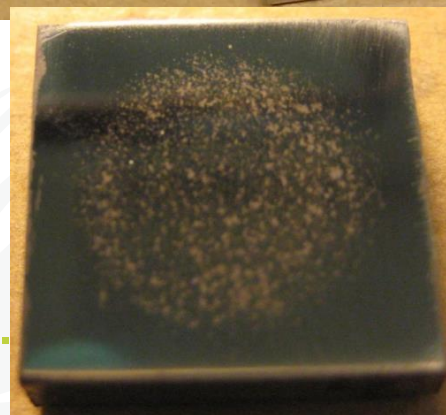
Top view



Temperature: 100°C

Salt: Na_2SO_4

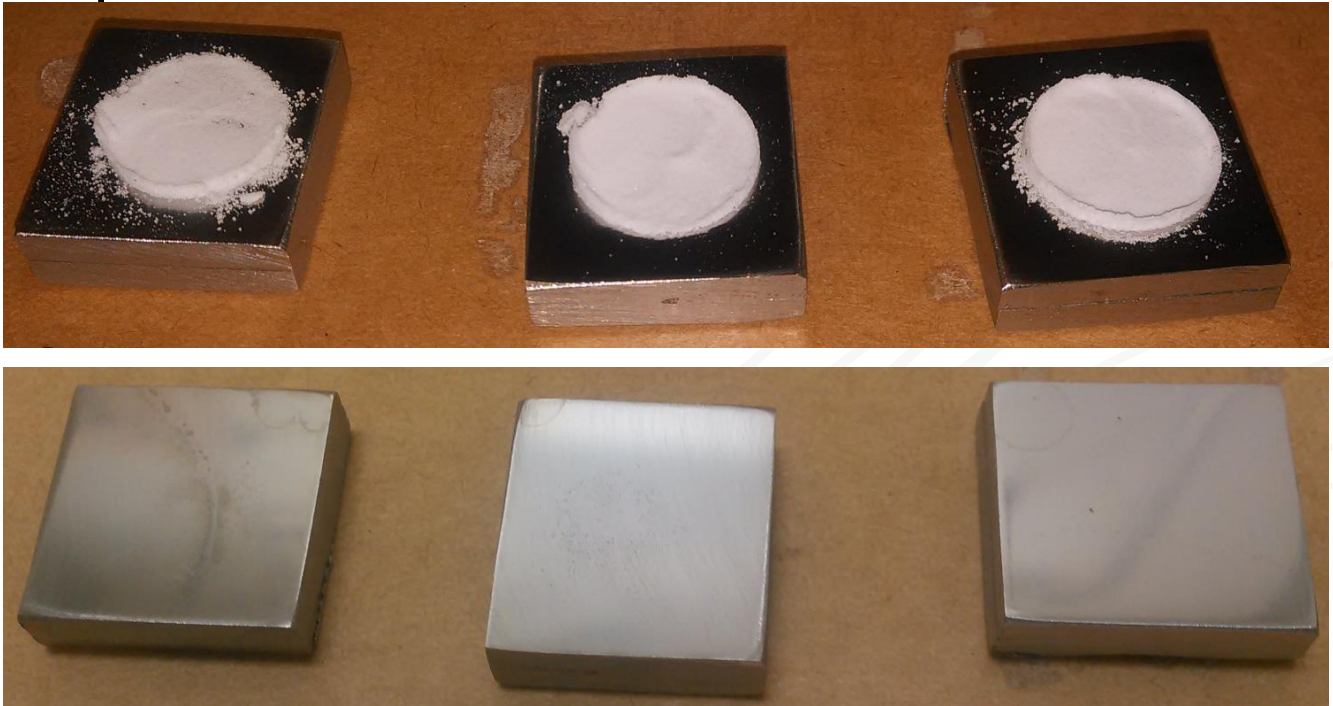
Exposure: 24h



Temperature: 110°C

Salt: Na_2SO_4

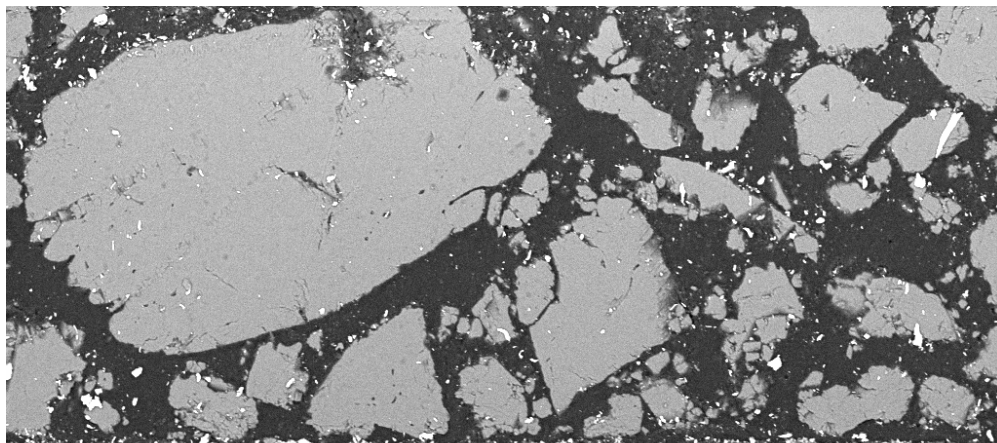
Exposure: 24h



Temperature: 110°C

Salt: Na_2SO_4

Exposure: 24h



100µm

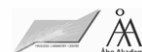
LEO 1530

Mag = 200 X
WD = 12 mm

EHT = 15.00 kV
Signal A = QBSD

Aperture Size = 60.00 µm
Image Pixel Size = 585.9 nm

Date :30 Sep 2014



Temperature: 110°C

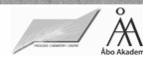
Salt: Na_2SO_4

Exposure: 24h

Top view



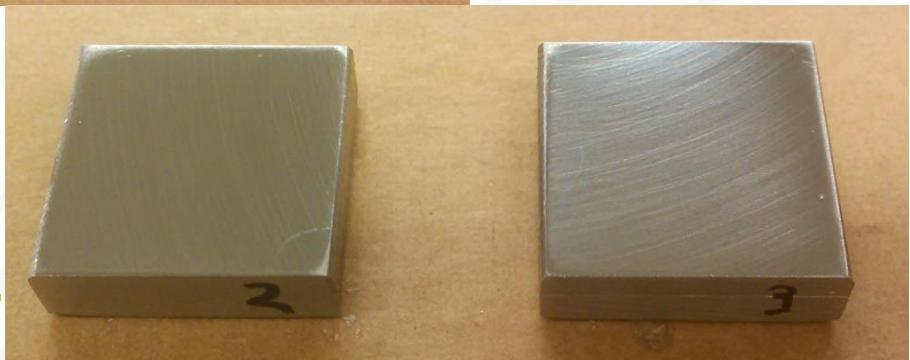
100µm
LEO 1530
Mag = 200 X
WD = 14 mm
EHT = 15.00 kV
Signal A = QBSD
Aperture Size = 60.00 µm
Image Pixel Size = 585.9 nm
Date :30 Sep 2014



Temperature: 120°C

Salt: Na_2SO_4

Exposure: 4h

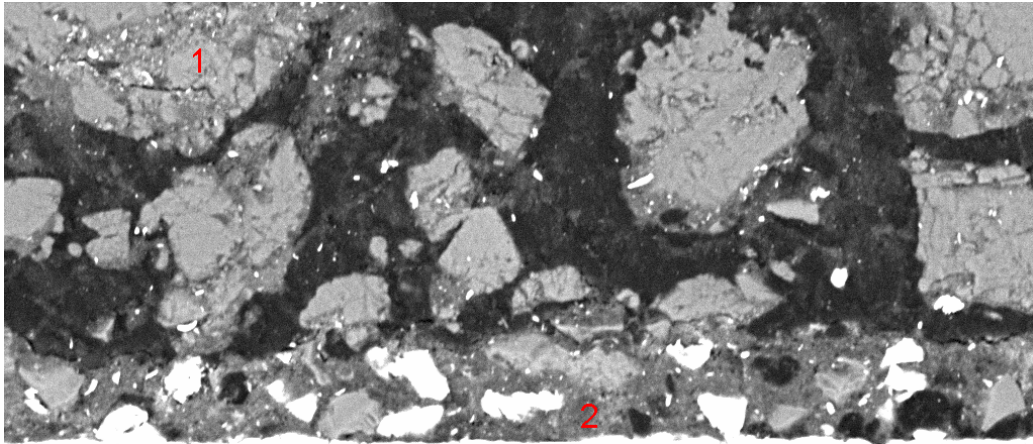


Temperature: 120°C

Salt: Na_2SO_4

Exposure: 4h

WT%					
	Fe	S	Na	O	
1	3.3	23.1	34.0	39.1	Salt
2	56.8	0.9	0.3	33.5	Epoxi



10µm

LEO 1530

Mag = 500 X
WD = 11 mm

EHT = 15.00 kV
Signal A = QBSD

Aperture Size = 60.00 µm
Image Pixel Size = 234.4 nm

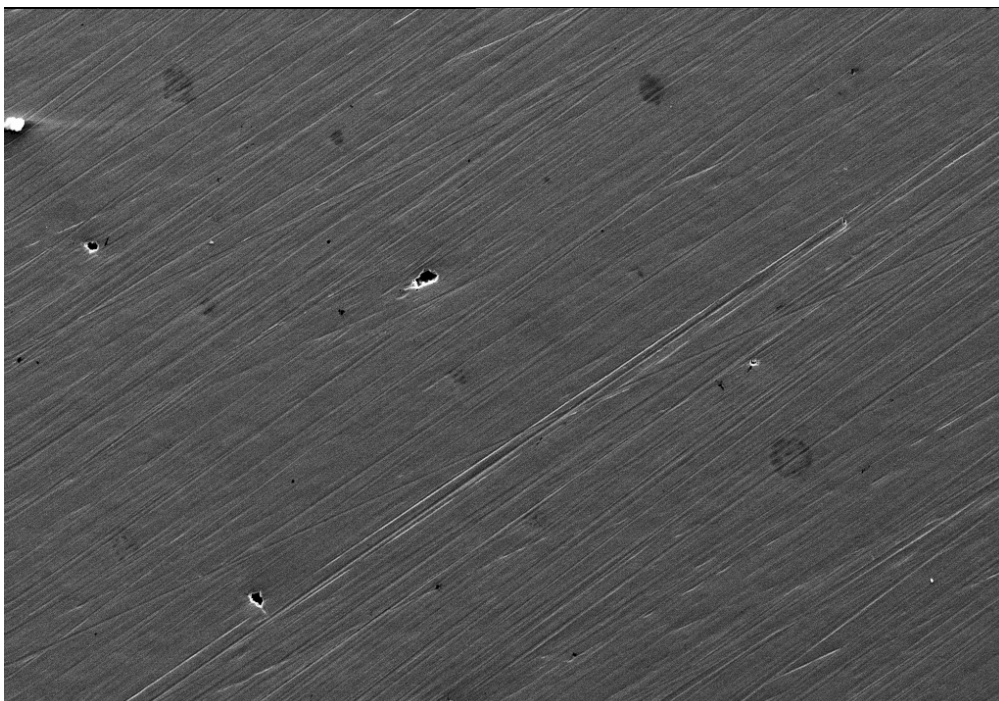
Date :30 Sep 2014



Temperature: 120°C

Salt: Na_2SO_4

Exposure: 4h



100µm

LEO 1530

Mag = 200 X
WD = 14 mm

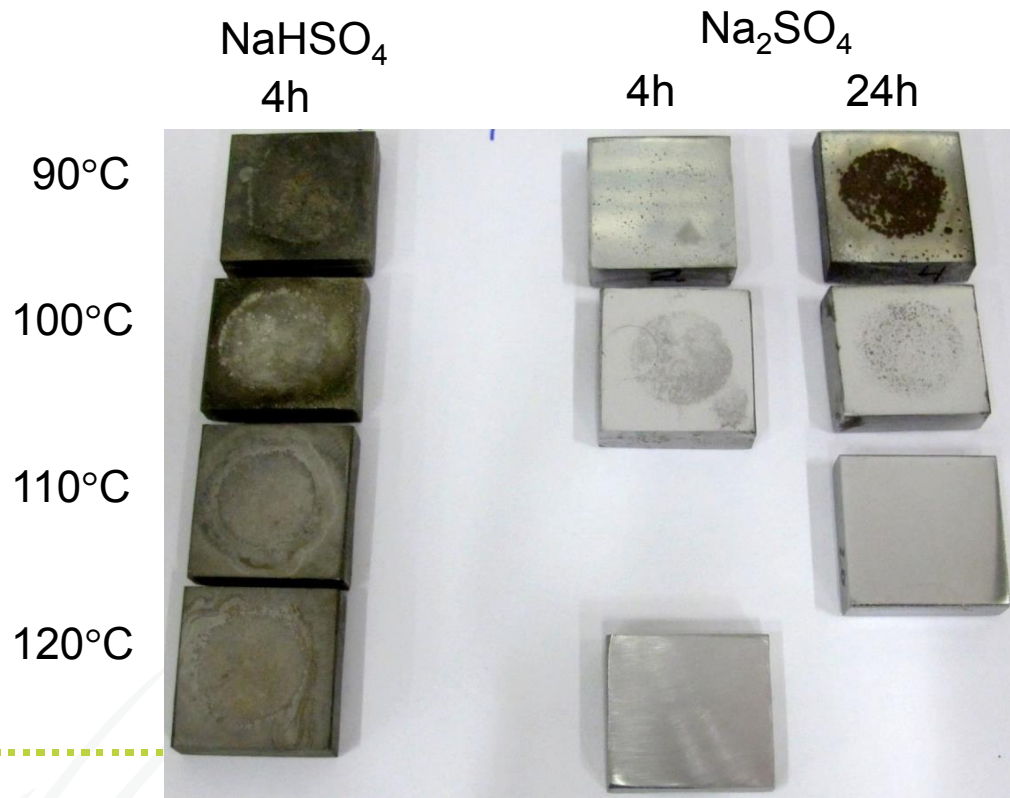
EHT = 15.00 kV
Signal A = SE2

Aperture Size = 60.00 µm
Image Pixel Size = 585.9 nm

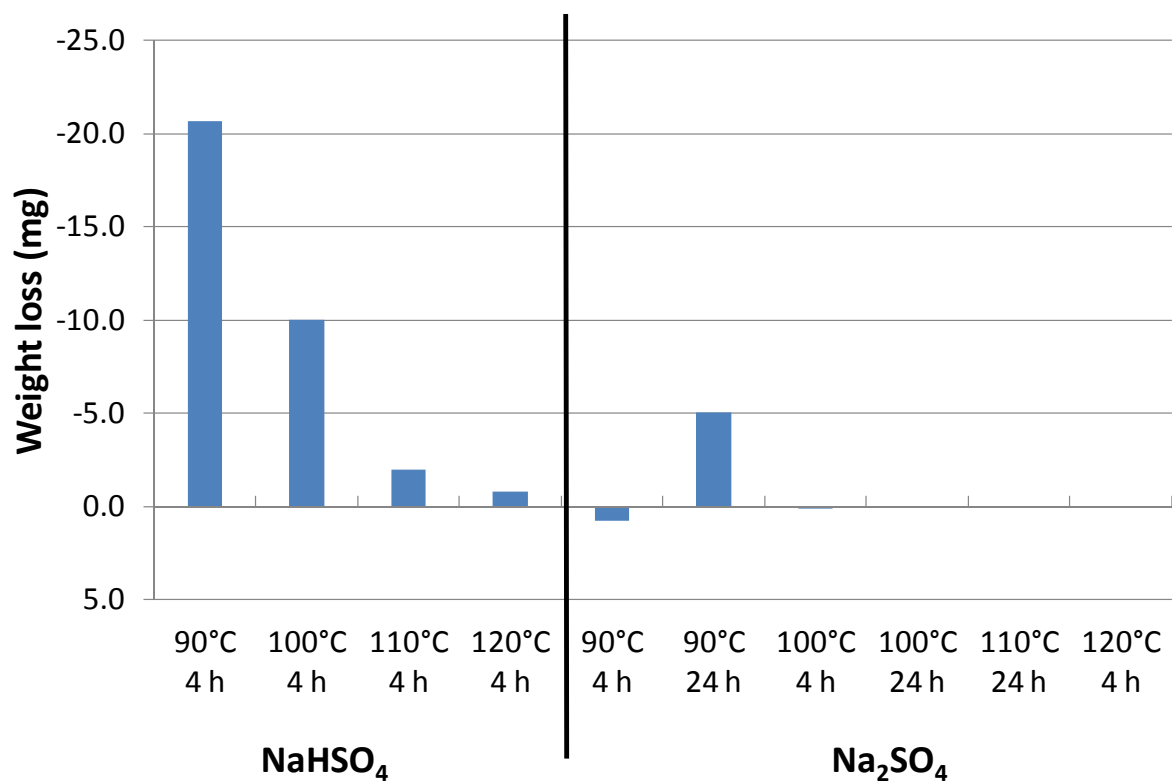
Date :30 Sep 2014



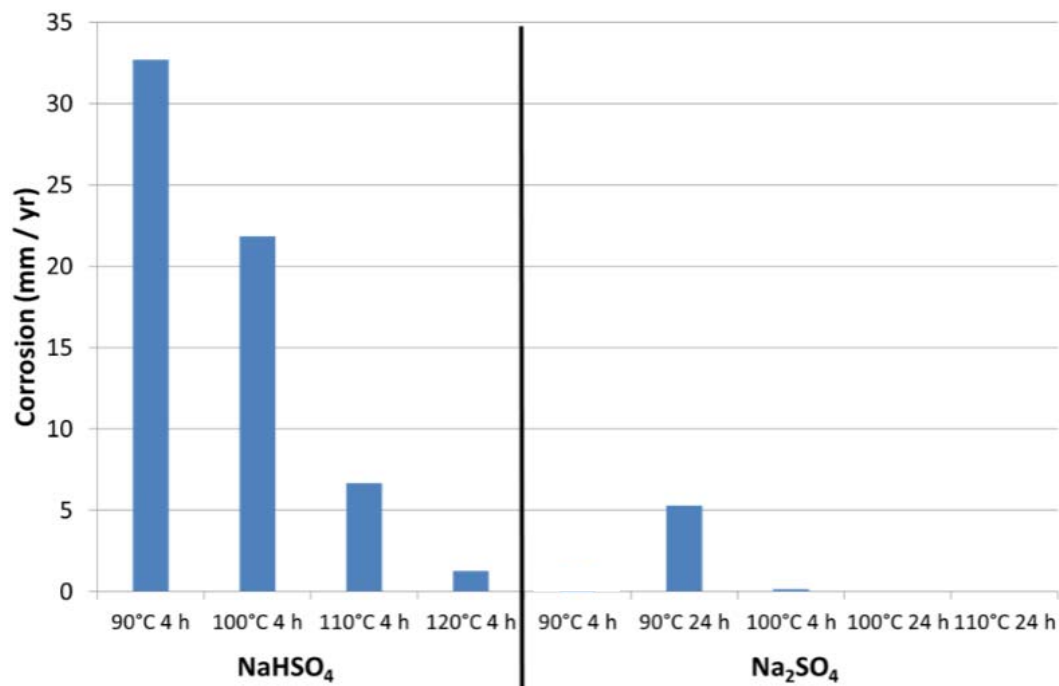
Wrap-up



Weight loss



Corrosion rate

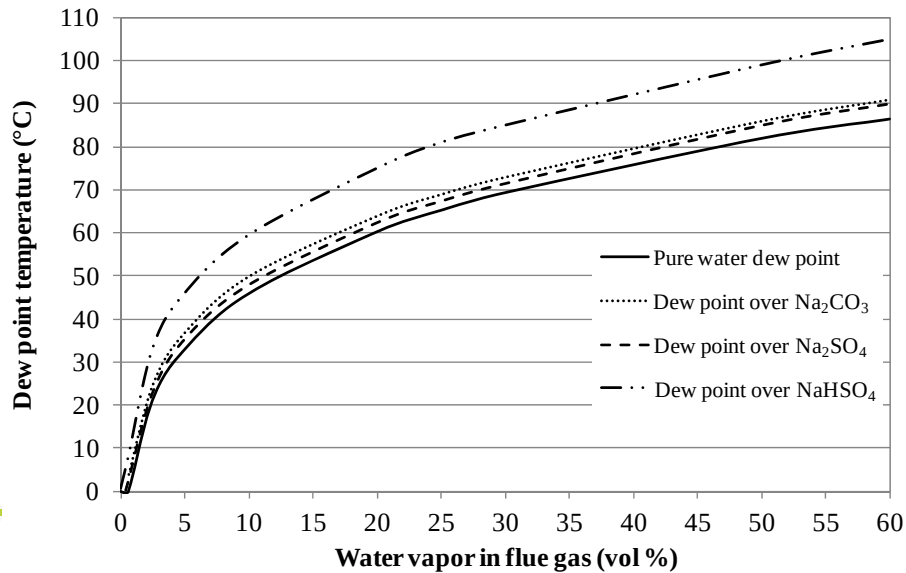


Conclusions

- Laboratory setup worked as planned
- For Na₂SO₄:
 - corrosion seen at 90°C and 100°C, but not at 110°C and 120°C
 - Iron oxide formation
- For NaHSO₄:
 - Increasing corrosion was seen at decreasing temperature
 - Clear acid corrosion
 - Iron sulfate in pits

Conclusions

- Salts seem to absorb moisture at a slightly higher temperature than the theoretical temperatures at 60vol% H₂O. The theoretical values are not from flue gas conditions (temperature gas composition)



LIITE 10

**LTR: Understanding Low Temperature Corrosion in BL Combustion,
ÅA – raportti 2.12.2014**

Understanding Low Temperature Corrosion in Black Liquor Combustion

Niklas Vähä-Savo, Emil Vainio, Nikolai DeMartini, Patrik Yrjas & Mikko Hupa

Åbo Akademi University

2 December 2014

1. Summary and Conclusions

A laboratory set-up to study low temperature corrosion was built and tested. The set-up worked as planned and stable water vapor concentrations were maintained. Corrosion of carbon steel coupons, measured as weight change, with either Na_2SO_4 or NaHSO_4 salt placed on top of the coupon was studied at the temperatures 90, 100, 110 and 120°C, Figure 1. The water vapor concentration was 60 vol% in the experiments, simulating the localized high humidity that can be seen near soot blowers. For the NaHSO_4 covered samples, pitting was found as well as an iron sulfate corrosion product, which is consistent with acid bisulfate solution corrosion. Corrosion increased with decreasing temperatures, with deeper pits at the lowest temperatures. For the Na_2SO_4 experiments, iron oxide formation was observed at 90°C and to a lesser extent at 100°C. No corrosion was observed at 110°C and 120°C under Na_2SO_4 .

Hygroscopic salts will absorb water above the water dew point. At a given temperature, the humidity at which a salt absorbs water is called the humidity of deliquescence. Based on the data available from literature, at 60 vol-% water the temperature at which the salts were expected to absorb water was 91 °C for Na_2SO_4 and 106 °C for NaHSO_4 . The corrosion seen is consistent with absorption of water by the salts, but this is occurring at a slightly higher temperature than would be expected based on predictions for the humidity of deliquescence based on the literature. Further research is needed both to map the conditions under which low temperature corrosion can occur and to measure the humidity of deliquescence for salts and salt mixtures at conditions relevant to recovery boilers.

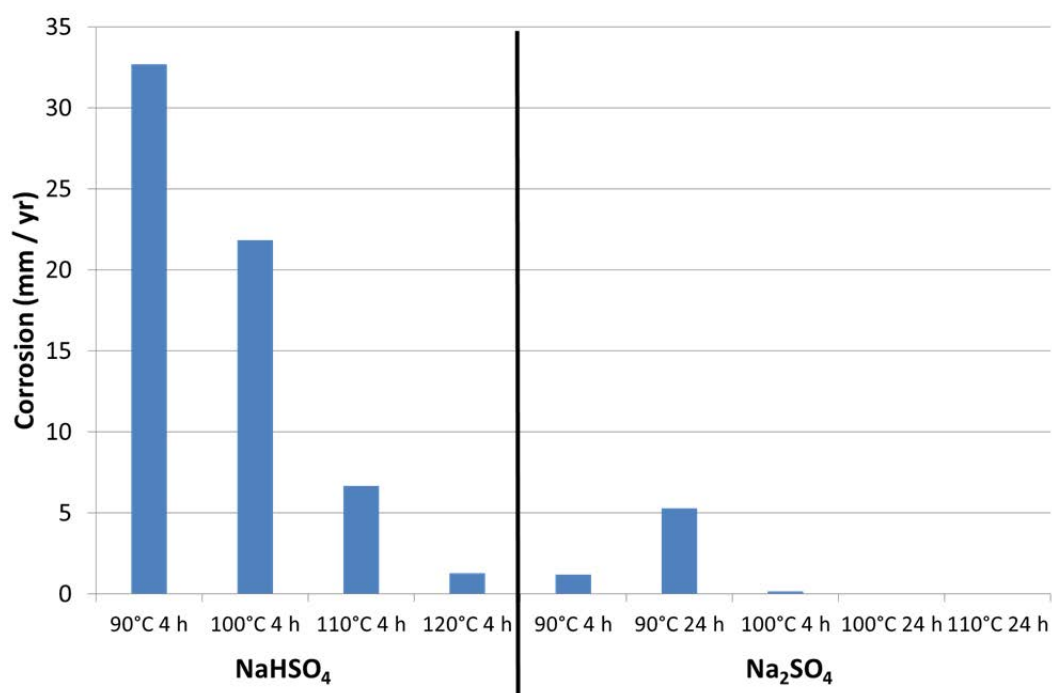


Figure 1. Calculated annual corrosion layer thickness based on mass loss after washing off corrosion layer in 4h and 24h tests.

Contents

1. Background.....	4
2. Experimental.....	4
3. Results	7
3.1. Experimental setup.....	7
3.2. Corrosion results.....	9
3.2.1. <i>Visual inspection</i>	<i>9</i>
3.2.2. <i>Weight change</i>	<i>10</i>
3.2.3. <i>SEM analysis</i>	<i>11</i>
3.2.3.1. <i>Experiments with NaHSO₄ salt.....</i>	<i>11</i>
3.2.3.2. <i>Experiments with Na₂SO₄ salt</i>	<i>13</i>

1. Background

Historically, some low temperature corrosion has been observed in recovery boilers. However, the underlying cause has not been clearly documented. One hypothesis had been the presence of a sulfuric acid dew point. This was the driving force for maintaining an elevated flue gas temperature. For companies to drop their flue gas temperatures lower and consider changing the construction materials of flue gas stacks, it is important to understand the cause of low temperature corrosion and map the conditions in which it can occur.

Corrosion probe studies and $\text{SO}_3/\text{H}_2\text{SO}_4$ measurements have shown that there is no H_2SO_4 and thus no acid dew point in modern recovery boilers. Furthermore, the measurements at Heinola, where there was high SO_2 , indicate that even in a high SO_2 environment, there is no acid dew point. However, at Heinola, we did see an elevated dew point that was above the water dew point, but well below the acid dew point. The fly ash in recovery boilers contains hygroscopic salts, such as Na_2CO_3 , Na_2SO_4 , and NaHSO_4 etc. These salts may have an impact on the corrosion of the heat exchangers in the flue gas duct. Hygroscopic salts will absorb moisture from the flue gas at a temperature higher than the pure water dew point. When the humidity in the flue gas reaches a critical level the solid salt particle transforms into an aqueous solution, which would lead to corrosion of the heat exchanger. Different salts have their own specific relative humidity at which the particle starts to absorb moisture. This is referred to as the relative humidity of deliquescence. A literature review found that salts can absorb water above the water dew point and that a salt such as NaHSO_4 can absorb water 10-20 °C above the water dew point depending on the relative humidity in the gas. Thus, one leading hypothesis is that if hygroscopic salts are present, water can be absorbed during periods of high humidity and form an aqueous solution at the steel surface, resulting in corrosion.

This initial study is focused around setting up and testing a reactor system for these low temperature corrosion studies and to make the first runs with NaHSO_4 and Na_2SO_4 salts and varying reactor temperature (90-120°C).

2. Experimental

The first part of this study was to set up a reactor system with stable temperature and water vapor concentration. Maintaining stable conditions throughout the experiment is crucial when studying low temperature corrosion due to water uptake by salts. Fluctuations in the water vapor concentration or temperature could lead to false interpretation of the results.

A schematic picture of the final experimental setup is shown in Figure 1. To create a constant feed of water vapor, the water is pumped with a Masterflex L/S pump at a constant flow to the steam generator. The steam generator consists of a thin pipe with heating. The temperature in the steam generator was set to 165°C in order to insure that water was vaporized at a constant rate. The hot steam was mixed with N_2 , O_2 and CO_2 , and the temperature of the wet gas

mixture flowed to a temperature regulator in which the temperature of the wet gas mixtures was cooled to the desired temperature. After the temperature regulator unit the wet gases flowed through a preheater before entering the quartz reactor, where the corrosion samples were placed, located in a tube furnace. The back end of the quartz reactor was heated to minimize water condensation and water from flowing back into the reactor. The wet gases exited the tube furnace to a water condenser unit where water was condensed and finally dry gases were vented out. With this setup the gas composition, gas flow, water vapor content and temperature can be easily adjusted.

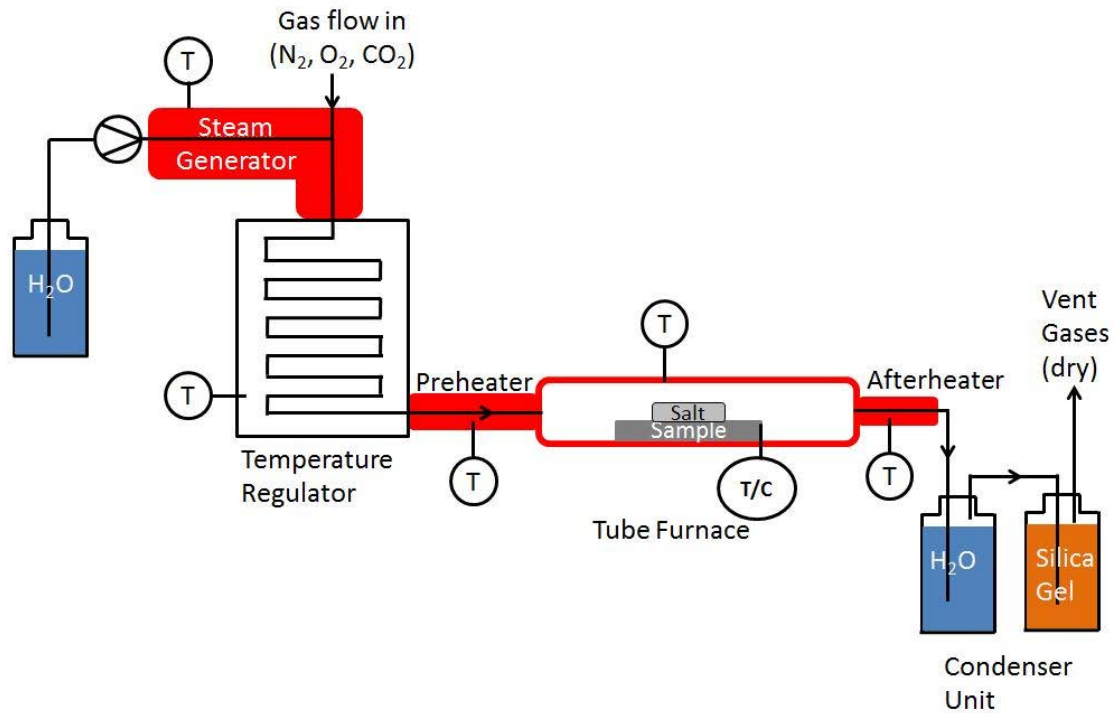


Figure 1. Schematic picture of the experimental setup.

The experimental plan for this work is shown in Table I. The corrosion of carbon steel (ST45) coupons was measured. The gas composition used during the experiments was 60% H₂O, 31% N₂, 7% CO₂, and 2% O₂ and the flow of wet gases was 2 Nl/min. This represents a gas composition near the soot blowers, i.e. a flue gas that is diluted with water vapor. The salts studied were sodium sulfate (Na₂SO₄) and sodium bisulfate (NaHSO₄) and the exposure time was 4 hours with some runs 24 hours to validate the 4 hour test results. The temperatures used during the experiments were between 90, 100, 110 and 120°C.

Table I. Experimental plan

Run	Salt	Temperature (°C)	Water vapor content (%)	Time (h)	Steel
1	NaHSO ₄	90	60	4	Carbon Steel
2	NaHSO ₄	100	60	4	Carbon Steel
3	NaHSO ₄	110	60	4	Carbon Steel
4	NaHSO ₄	120	60	4	Carbon Steel
5	Na ₂ SO ₄	90	60	4	Carbon Steel
6	Na ₂ SO ₄	90	60	24	Carbon Steel
7	Na ₂ SO ₄	100	60	4	Carbon Steel
8	Na ₂ SO ₄	100	60	24	Carbon Steel
9	Na ₂ SO ₄	110	60	24	Carbon Steel
10	Na ₂ SO ₄	120	60	4	Carbon Steel

The corrosion samples were 2x2 cm coupons of carbon steel and between 3-4 coupons were used during one experiment. The coupons were weighed before salt addition and roughly 0.1 g of the studied salt was added on top of the coupon. The carbon steel coupons with salts on top placed on the sample tray are shown in Figure 2. A thermocouple is located at the tip of the sample tray to record the temperature close to the samples during the experiments.

**Figure 2. Carbon steel coupons with salt in top placed on the sample tray.**

After the experiment one coupon was molded in epoxy and the cross section of the coupon was analyzed with scanning electron microscope (SEM). The remaining 2-3 coupons were washed with ultrapure water to remove the salt residue and then dried with acetone. The cleaned coupons were photographed and weighed in order to determine the weight change. The surface of one cleaned coupon was also analyzed with SEM.

3. Results

3.1. Experimental setup

The water pump was calibrated to obtain the desired water flow to the steam generator, and thus the desired vapor concentration during the experiments. After the experiments the weight difference in the water container was determined in order to calculate the exact water vapor concentration during the experiment. The target gas composition, gas composition with the measured highest water vapor concentration, lowest water vapor concentration and the average gas composition of all of the experiments are shown in Table II. From Table II it can be seen that with the experimental setup the water vapor concentration was within 1.3% of the desired water vapor concentration.

Table II. Target gas composition and gas composition at the measured highest, lowest, and average water flows during the experiments.

	Target (vol %)	Average (vol%)	Highest (vol %)	Lowest (vol %)
H ₂ O	60	59.3	59.9	58.7
N ₂	31	31.6	31.1	32
CO ₂	7	7.1	7	7.2
O ₂	2	2	2	2.1

The recorded temperatures at the sample tray for the 4 hour NaHSO₄ experiments are shown in Figure 3, 4 hour Na₂SO₄ experiments in Figure 4, and the 24 hour Na₂SO₄ experiments in Figure 5. When the experiments started it took roughly 30 minutes for the temperature inside the tube furnace to stabilize. This is because the steam exits the generator at 165 C and the other temperature controllers have to adjust to get the system temperature down to the target temperature. However, the key is that the temperature is only very slightly above the target temperature for those approximately 30 minutes and won't affect the corrosion results. The temperature was stable during the experiments and the tube furnace was suitable for running experiments in low temperatures. For some reason during the 24 hour 90°C Na₂SO₄ experiment every 4 hours a small decrease in temperature was detected. The reason behind this regular decrease remained unknown.

Based on the observations during the experiments and the measured temperature and water vapor concentration, the experimental setup worked well. The temperature was stable during the experiments and the desired water vapor content was obtained with the experimental setup.

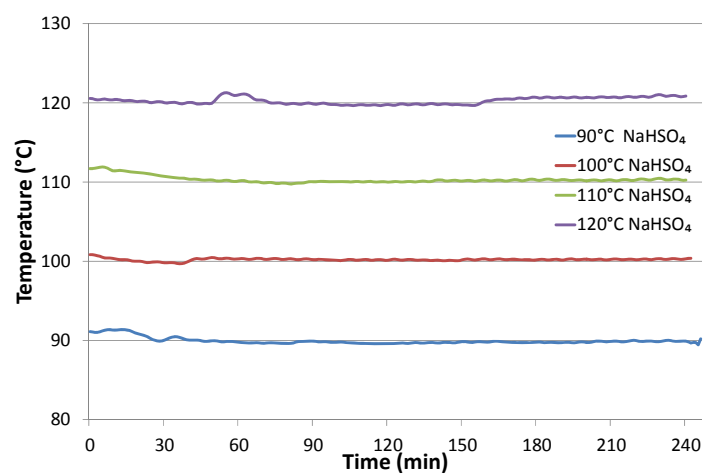


Figure 3. Temperature during 4 hour NaHSO₄ experiments.

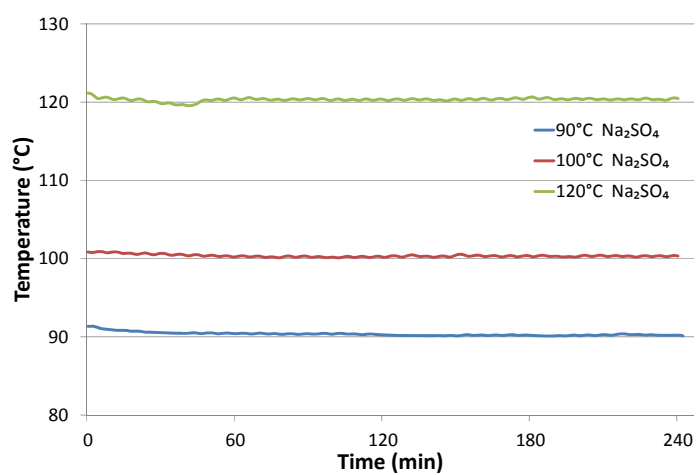


Figure 4. Temperature during 4 hour Na₂SO₄ experiments.

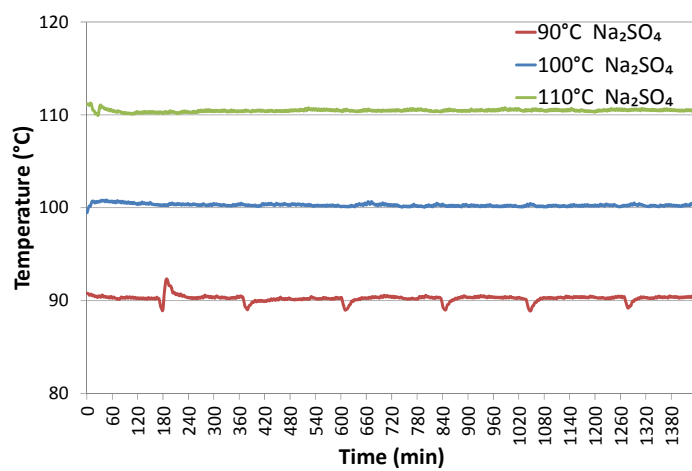


Figure 5. Temperature during 24 hour Na₂SO₄ experiments.

3.2. Corrosion results

3.2.1. Visual inspection

A photograph of the carbon steel coupons after the experiments before washing is shown in Figure 6. Sodium bisulfate was extremely hygroscopic, and absorbed moisture from the wet gas flow in all conditions. This can be seen as there was little to no salt remaining on the coupon after the experiments. This was not expected. Based on literature data for the humidity of deliquescence, it was expected that the temperature at which water would no longer be absorbed was ____ °C. Sodium sulfate is much less hygroscopic, and the salt was only slightly moist at the lower temperatures. It can be seen that the salt cake for the Na_2SO_4 experiments are more intact.

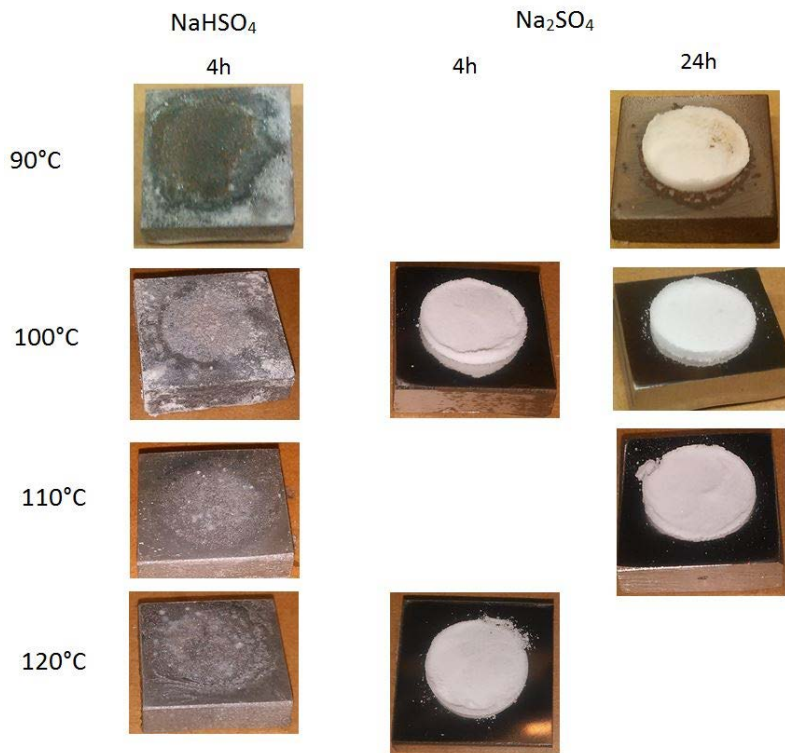


Figure 6. Corrosion samples after the experiments.

Figure 7 shows the carbon steel coupons after the salt residue was washed off. After the visual inspection it was clear that NaHSO_4 caused corrosion of the carbon steel at all temperatures with the corrosion being more severe the lower the temperature. This is due to the formation of an acidic bisulfate solution on the coupon. In the experiments with Na_2SO_4 , no corrosion was visible after the 110°C and 120°C. After the 4 h experiments at 90°C and 100°C small spots of corrosion could be observed. To these results, 24h runs were made. These runs showed the same, that corrosion occurs at 90°C and 100°C, with more corrosion at 90°C than 100 °C. The corrosion experiment with Na_2SO_4 at 110 °C was run for 24 hours since if corrosion were to occur at 4 hours it would have been very slight. The coupon from the 24 hour run at 110 °C, however, showed no corrosion.

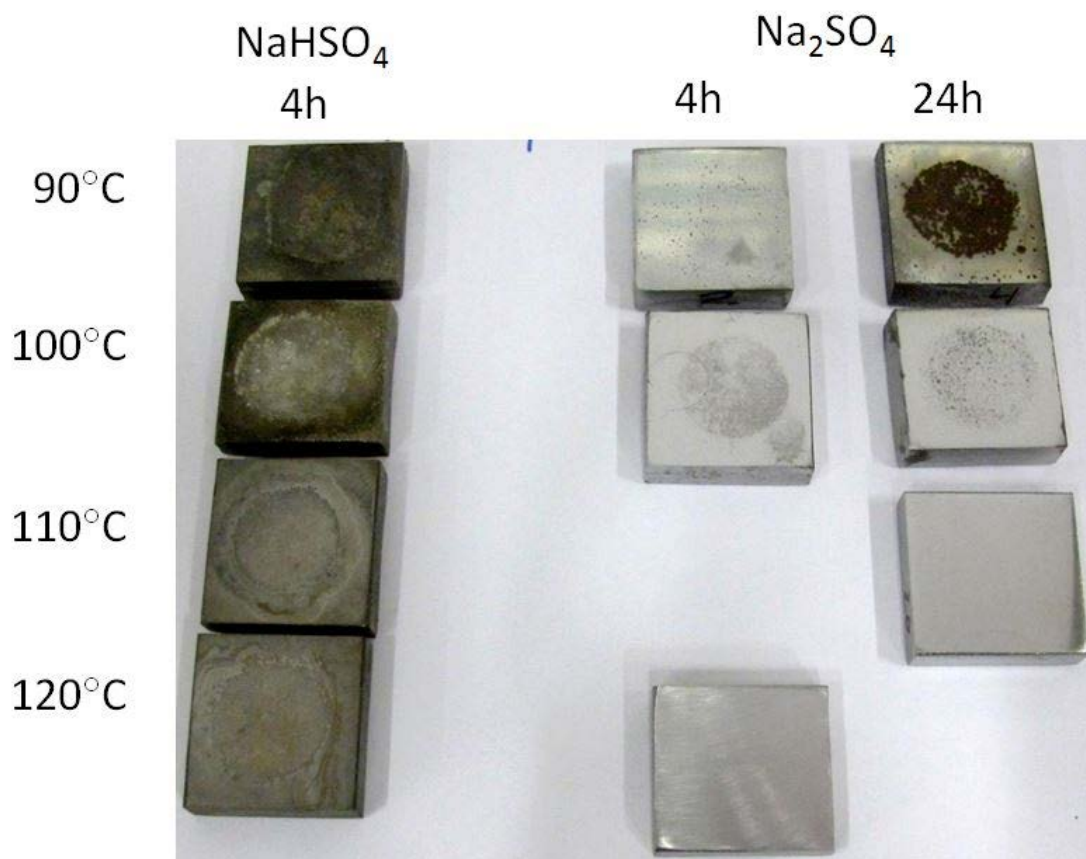


Figure 7. Visual inspection of the corrosion samples after washing

3.2.2. Weight change

After the experiment the carbon steel coupons were washed to remove the salt residue and then weighed in order to determine the weight change due to corrosion. Generally, the corrosion layer is removed during the washing process and the weight loss is due to the removal of the corrosion product. This weight was compared to the initial coupon weight, Figure 8. The results clearly show that the corrosion was more severe for the NaHSO_4 covered carbon steel samples at lower temperature than at higher temperatures. The 4 h 90°C Na_2SO_4 experiment showed a slight increase in weight after the experiments because the iron oxide was not removed by the washing process. The coupon from the 24 h 90°C Na_2SO_4 experiment, in which the corrosion was more severe, showed a decrease in weight. The formation of iron oxide during the 100°C Na_2SO_4 experiments was so low that no weight change was recorded. At higher temperatures no corrosion product was formed with Na_2SO_4 .

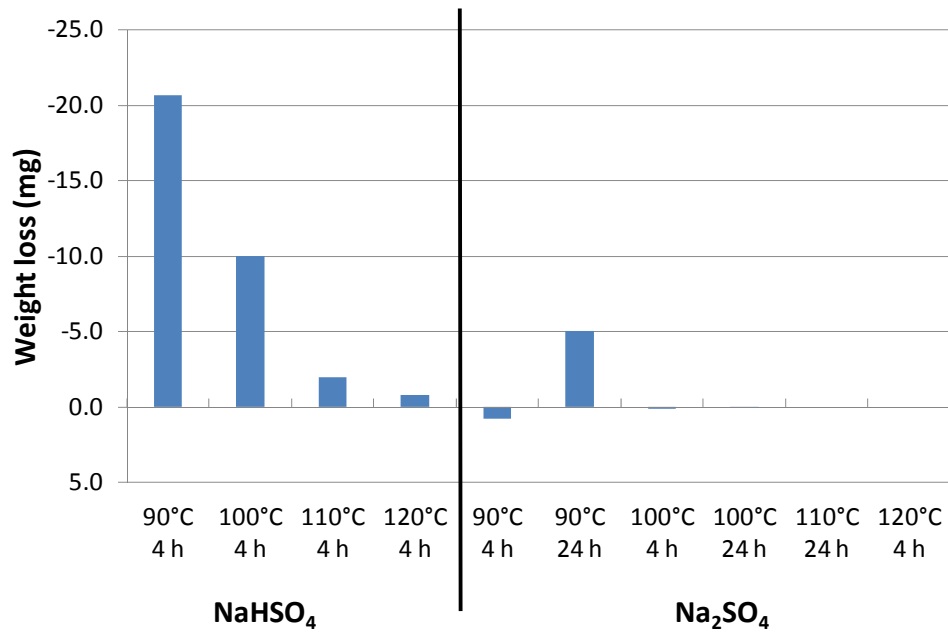


Figure 8. Material loss of the carbon steel samples due to corrosion.

3.2.3. SEM analysis

3.2.3.1. Experiments with NaHSO₄ salt

Figure shows the cross section SEM image of the carbon steel covered with NaHSO₄ after the 4h exposure at 90°C. The white flakes are pieces of metal originating from the cutting and polishing of the cross section sample. The dark grey areas are the epoxy mold and the light grey is either salt or salt mixed with the corrosion product. From the SEM image clear pitting corrosion can be observed. This is consistent with acidic corrosion due to the acid bisulfate solution produced when NaHSO₄ absorbed water from the gas. The corrosion products consisted of a mixture of iron, sodium, sulfur and oxygen (analysis spots 1 and 2 on the figure). The spot analysis (spot 3) showed clearly that FeSO₄ is formed as a corrosion product.

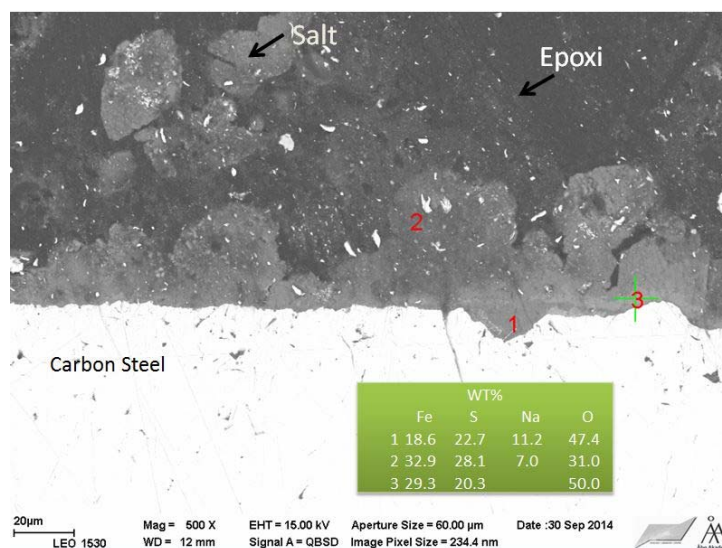


Figure 9. Cross section SEM image of the NaHSO₄ covered carbon steel after 4 h and 90°C experiment.

Figure clearly shows the pits formed from the acid corrosion after exposure with NaHSO₄ for 4h and 100°C. The pits are about 10µm deep and are filled with FeSO₄. Increasingly deep pits were observed with decreasing temperature.

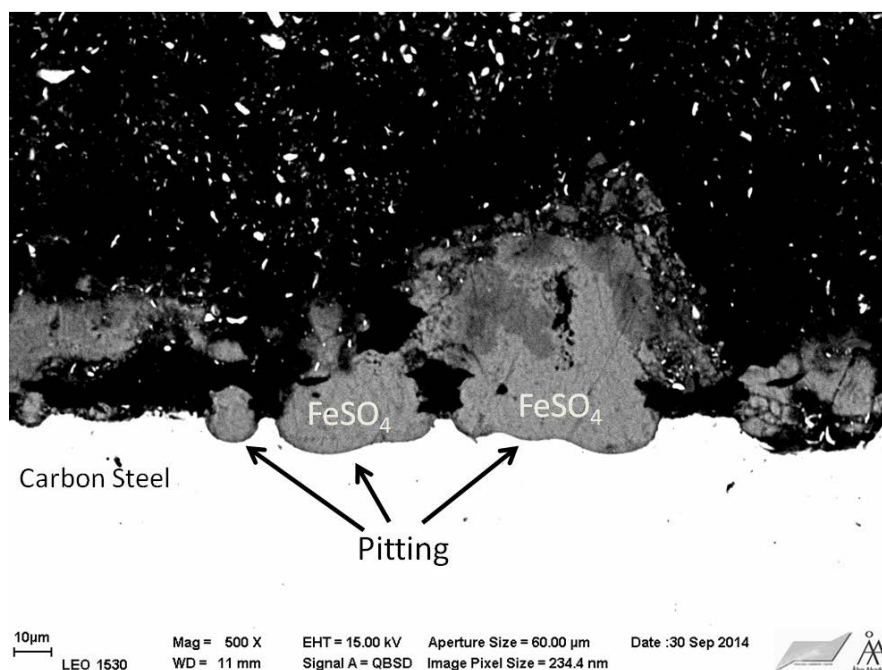


Figure 10. Cross section SEM image of the NaHSO₄ covered carbon steel after 4 h and 100°C experiment.

Figure 9 shows the top surface of the washed carbon steel coupons after the experiments with NaHSO₄ at different temperatures. After washing, some corrosion product (FeSO₄) remained on the surface of the carbon steel sample used in the 90°C experiment. The corrosion was more severe at lower temperatures than at higher. At the lowest temperature the whole sample was corroded, while at higher temperatures pit corrosion was only detected on the surface of the carbon steel sample. The cross section SEM images of the NaHSO₄ covered carbon steel samples showed increasingly deep pits at decreasing temperature; for the 90°C case the pits were around 19 µm deep, for 100°C 10 µm deep, and for 110°C the pits were approximately 4 µm deep. The pit depth for the 120°C NaHSO₄ corrosion sample was not measured.

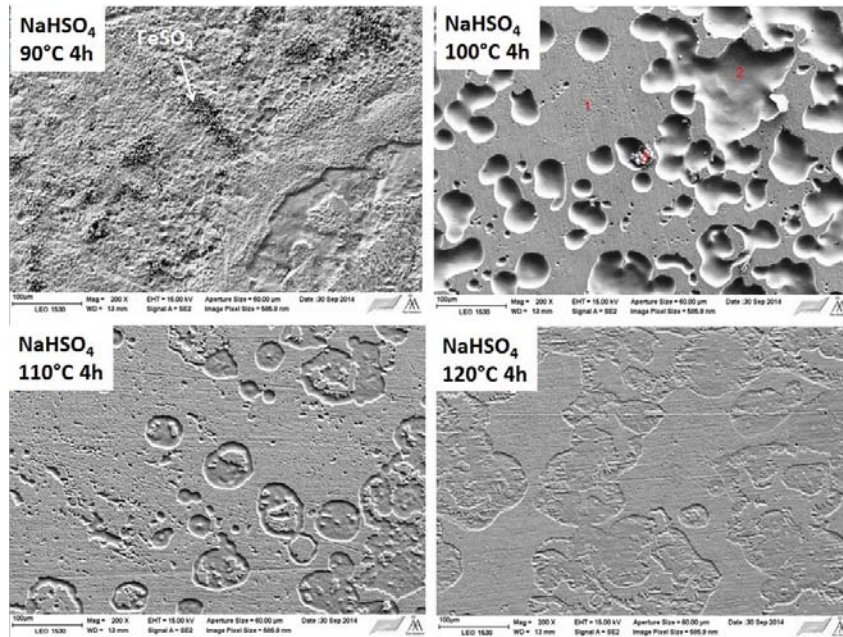


Figure 9. SEM surface image using 200x magnification with secondary electron detector of the washed NaHSO₄ corrosion coupons.

3.2.3.2. Experiments with Na₂SO₄ salt

Figure 10 shows the SEM cross section image of the carbon steel sample covered with Na₂SO₄ after 24h exposure at 90°C. The black in the Figure is the epoxy, lightest grey is the steel and the darkest grey is the salt crystals. There was a clear corrosion layer on top of the carbon steel which consisted of iron oxide (spot 2 in Figure 10) and had an average thickness of roughly 10 μm. Unlike with the NaHSO₄ samples, there is not pitting. This is characteristic of water dew point corrosion.

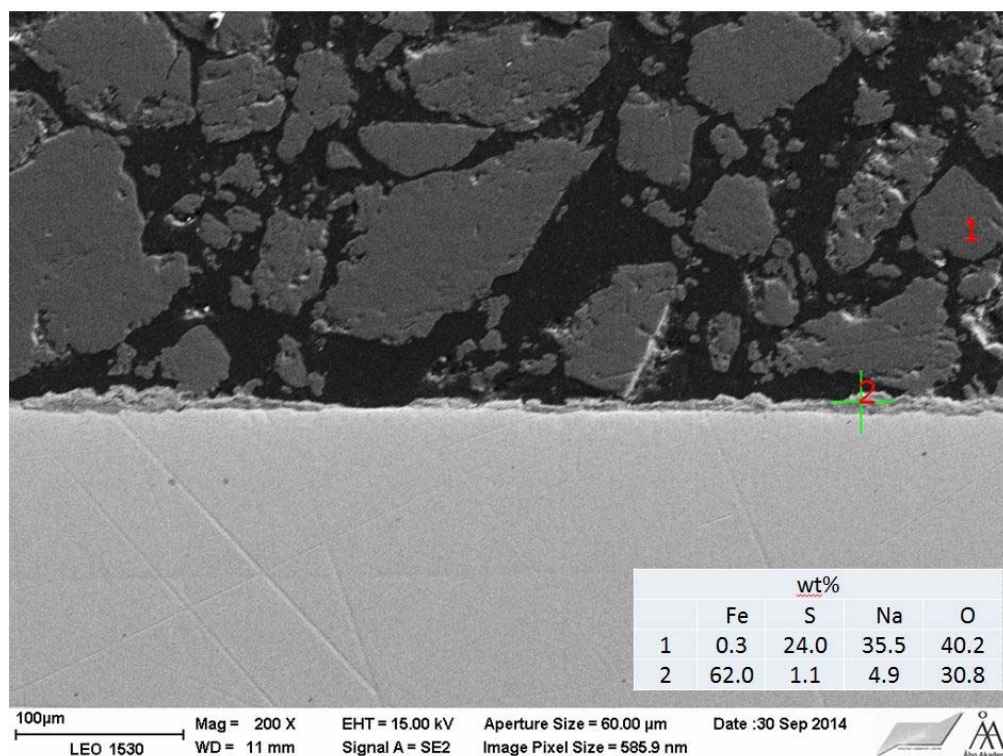


Figure 10. Cross section SEM image of the Na₂SO₄ covered carbon steel after 24 h 90°C experiment.

Figure 11 shows the surface SEM images of the washed carbon steel samples after the 4 hour experiments at different temperatures. At 90 °C, there are clear areas of iron oxide on the surface. At 100 °C, there has been significantly less corrosion of the surface, but iron oxide is still detected. No visible corrosion was seen in the corrosion coupon after the 4 hour experiment at 120°C.

Figure 12 shows the SEM images of the surfaces of the washed carbon steel samples after the 24 hour experiments at different temperatures. The same trend with the carbon steel samples was noted after the 4 h experiments as after the 24h experiments. The severest corrosion was seen at 90 °C, some corrosion at 100 °C and no corrosion at 110 °C.

The fact that corrosion is seen at 100 °C, indicates that more work needs to be done to measure the humidity of deliquesce for sodium sulfate at conditions relevant to the recovery boiler.

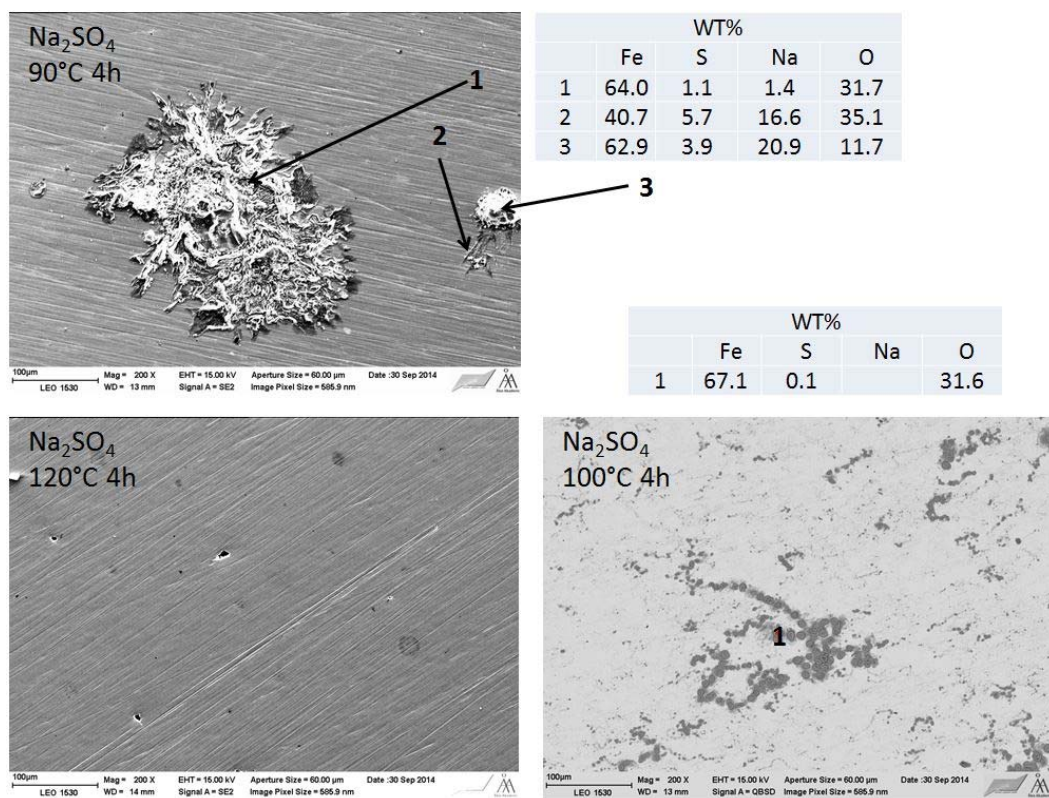


Figure 11. SEM surface image using 200x magnification of the washed Na₂SO₄ corrosion coupons after 4 hour exposure.

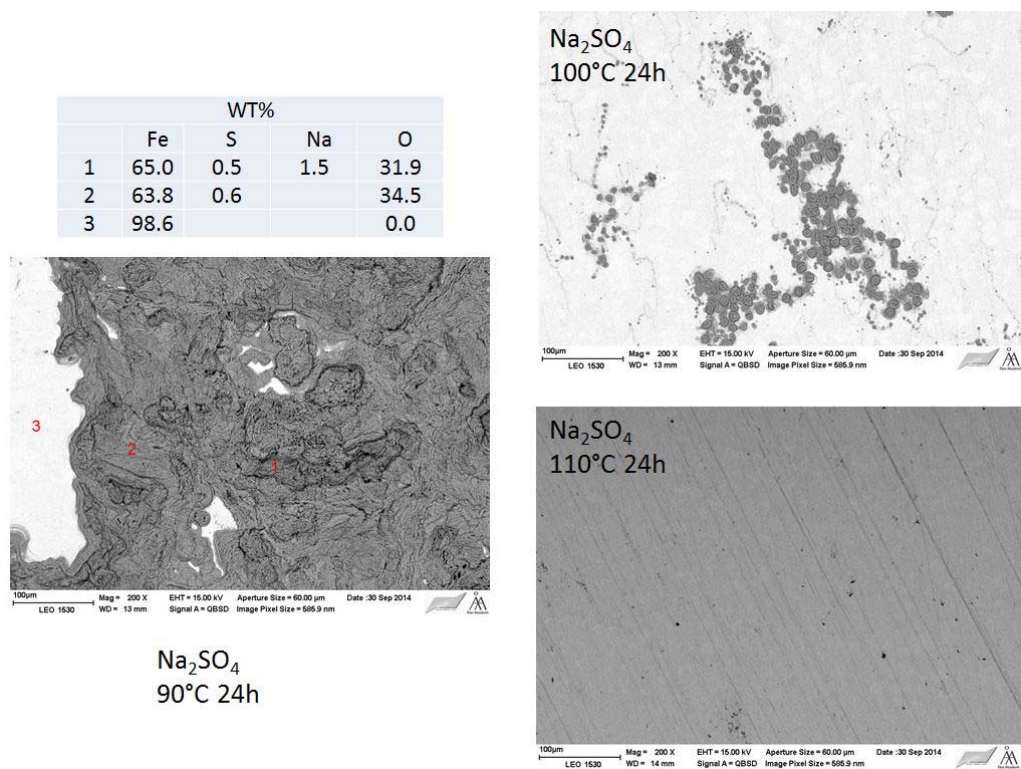


Figure 12. SEM surface image using 200x magnification of the washed Na₂SO₄ corrosion coupons after 24 hour exposure.