



M Nieminen/EPT

8.9.2009

1 (8)

Suomen Soodakattilayhdistys ry

LIPEÄTYÖRYHMÄN KOKOUS III/2009

AIKA 1.9.2009 klo 10.00 – 14.30

PAIKKA Pöyry-talo, Vantaa

LÄSNÄ

Miia Tehomaa	VTT
Markus Nieminen	Pöyry Industry Oy, Vantaa, siht.
Patrik Yrjas	Åbo Akademi
Esa Vakkilainen	Lappeenrannan teknillinen yliopisto
Toni Orava	UPM-Kymmene, Kymi
Olli Talaslahti	Oy Metsä-Botnia Ab, Rauma, pj
Juha Koskiniemi	Andritz Oy
Erkki Välimäki	Metso Power Oy (saapui kohdassa 5)
Niklas Vähä-Savo	Åbo Akademi
Niko DeMartini	Åbo Akademi
Kurt Sirén	Sirra T:mi

LIITE I Esitys, ÅA: Minuuttisondiprojekti 1.9.2009

LIITE II Loppuraportti, ÅA: Minuuttisondiprojekti

LIITE III Esitys, AÅ: Co-firing Black Liquor and Biomass

LIITE IV Loppuraportti, AÅ: Co-firing Black Liquor and Biomass

LIITE V Esitys, Sirra T:mi: Emävesi-projekti

LIITE VI Tarjous, LTY: Sellutehtaan lipeäsäiliöiden optimaalinen koko – toiminnan simulointi

JAKELU

Julkaisu: Soodakattilayhdistyksen kotisivulla
Tiedote: Hallitus Lipeätyöryhmä OMP MNN EPT

1 POISSAOILOILMOITUKSET

Kokoukseen olivat estyneet osallistumasta:

Ilpo Rätty	Enocell Oy
Sami Metiäinen	Pöyry Industry Oy, Vantaa
Mikko Hupa	Åbo Akademi

Mikko Hupan, Åbo Akademi, sijaista kokoukseen osallistui Patrik Yrjas.

2 EDELLISEN KOKOUKSEN PÖYTÄKIRJA

Edellisen kokouksen pöytäkirja hyväksyttiin muutoksella:

Kokouksen läsnäolijoihin lisätään Toni Orava, UPM-Kymmene, Kymi.

3 PROJEKTI: MINUUTTISONDI

Tavoite

Kehitetään nopea menetelmä kvantifioida soodakattilan kerrostuman muodostumisnopeus. Projektissa kalibroidaan ko. menetelmä. Menetelmästä voidaan kehittää yhteinen ja vertailukelpoinen (standardi) suomalaisille soodakattiloille, jolla voidaan mitata kerrostumanopeutta eri ajotilanteissa nopealla ja suhteellisen yksinkertaisella tavalla.

Mittauksia tehdään kolmella eri soodakattilalla useasta eri kohdasta ja korkeuksilta, sekä mahdollisesti kattilan 2 eri ajomallilla. Ilmajäähdytteisen sondin rinnalla otetaan näytteet ns. minuuttisondilla. Minuuttisondin partikkelimääriä verrataan kerrostumanopeuden lukuarvoon joka on saatu ilmajäähdytteisen sondin mittauksen avulla. Näiden mittausten keskinäinen riippuvuus määritetään ja muodostetaan standardi-kuvasarja kerrostumanopeuden arvoille (mm/h). Kerrostumanopeuden (mm/h) arvoista voidaan laskea carry-over muotoon g/Nm^3 .

Projektin tilanne

Niklas Vähä-Savo esitti loppuyhteenvedon diplomityöstään kokouksessa. Esitys on liitteessä I ja loppuyhteenvedo liitteessä II. Suomenkielinen loppuyhteenvedo sekä ruotsinkielinen diplomityö julkaistaan yhdistyksen kotisivuilla. Yksi sidottu versio sijoitetaan yhdistyksen arkistoon.

Yhdistyksen sivuille tulee ladattavaksi/tulostettavaksi standardikuvasarja, excel-laskupohja sekä ohjeet. Excel-pohjaan syötetään mustalipeän tietoja mm. lipeän ruiskutusmäärä, kuiva-ainepitoisuus, tiheys sekä standardikuvasarjasta saatu peittävyysaste sekä mittausaika. Excel laskee carry-overin määrän mm/h ja g/Nm^3 .

Projektista pidetään koulutusluento Konemestaripäivillä 2010.

Julkaisu ja painatus

Suomenkielinen loppuyhteenvedo sekä ruotsinkielinen diplomityö julkaistaan yhdistyksen kotisivuilla.

Kommentit**4 SKYREC: CO-FIRING BLACK LIQUOR AND BIOMASS**

Työssä vahvan mustalipeän joukkoon sekoitetaan (10 % ja 20%) eri biopolttoaineita (kuorta, haketta, turvetta ja biolietettä) ja tutkitaan seoksien palamista (1100 °C, O₂ = 3%) Åbo Akademin pisarauunissa. Palamisprosessi videoidaan. Uunin savukaasuista analysoitiin CO, CO₂ ja NO.

Niko DeMartini esitti kokouksessa projektin loppuraportin. Esitys liitteessä III ja loppuraportti liitteessä IV. Työ esitellään myös SKYREC:n seuraavassa johtokunnan kokouksessa 8.9. Niko valmistelee SKYRECin kokoukseen ehdotuksen projektin jatkosta.

Kommentteja projektin jatkosta:

- biopolttoaineiden vaikutus viskositeettiin
- hake-kuoriseos sekoittaminen lipeään, tyypillinen seos tehtailla.
- kuinka suuri määrä puujätettä/kuorta voidaan sekoittaa mustalipeään jotta palaminen vielä onnistuu. Tällä hetkellä voidaan antaa karkea arvio.
- onko kuoren tai puun kosteudella merkitystä palamiseen
- palaminen eri lämpötiloilla 700 °C, 900 °C
- missä kattilassa/turbiinissa olisi tilaa ylimääräiselle polttoaineelle/höyrylle

5 PROJEKTI: EMÄVEDEN JATKOKÄSITTELY**Tavoite**

Löytää keino emäveden käsittelemiseksi, jolla voidaan parantaa mäntyöljyn saantoa, ja vähentää haihduttamoa tukkivan kalsiumin kulkeutumista takaisin haihduttamolle. Emävesi sisältää periaatteessa mäntyöljyä, ligniiniä, vettä ja kipsiä. Saannon parantamiseksi emävedessä oleva mäntyöljy on erotettava muista aineosista. Kalsiumin poistaminen mahdollistaisi emäveden syöttämisen haihduttamon peräpään keulan sijasta, joka parantaisi lämpötaloutta.

Projektin työvaiheet:

1. Koemateriaalin hankinta, 2 tehdasta
2. Ligniinilautan rakenteen tutkiminen
3. Erottumisen aikariippuvuus
4. Kalsiumsakan erottaminen
5. Öljy + ligniinikerroksen käsittely

Aikataulu

Alkuperäisen aikataulun mukaan projekti alkaa syksyllä 2008 ja päättyy keväällä 2009. Yhdistys tilaa projektin KCL:lta, joka alihankkii työn Kurt Siréniltä (Sirra T:mi).

Työ on myöhässä aikataulusta lentotuhkaprojektin myöhästymisen takia.

Projektin tilanne

Kurt Sirén esitti Kymillä suoritettuja tutkimuksia ja projektin tilannetta, liite V. Rauman tulokset käsiteltiin kokouksessa II/2009.

Vaiheet 1-3 on suoritettu, vaiheet 4-5 ovat menossa. Tutkimukset on tehty seuraavilla tehtailla, molemmilla HDS-laitteisto:

- Havutehdas: Rauma
- Havu+koivutehdas: Kymi

Vaihe 2. Emäveden ja kipsin erottumisen aikariippuvuus on selvitetty putkimenetelmällä (2m korkea selkeytin) paikanpäällä tehtailla. Raumalla mittaputkeen otettiin vesi-kipsi seosta ja havaittiin että faasien erottuminen tapahtuu oletettua hitaammin (aikaisemmat tutkimukset tehty ”vanhoilla näytteillä” laboratoriossa). Noin 70 % erottumisesta tapahtuu 1 tunnin sisällä, jonka jälkeen erottuminen hidastuu. Tulokset käsiteltiin kokouksessa II/2009. Kymillä mittalasiin tuli öljy-ligniini-kipsi seosta johtuen HDS:n erilaisesta kytkennästä verrattuna Raumaan. Kymillä kolme kerrosta erottuvat selvästi 1,5 tunnin jälkeen.

Vaihe 3. Ligniinilautan rakennetta on tutkittu mikroskoopilla ja havaittiin ligniinipölyä öljypallukoiden pinnalla, joka estää pallukoita valumasta yhteen ja siten pienentää saantoa.

Vaihe 4. Kalsiumin saostusta mittaputkesta otetuista näyteistä kokeiltiin viherlipeällä, jolloin kalsiumsulfaatti CaSO_4 muuttuu kalsiumkarbonaatiksi CaCO_3 . Kirkaalle emävesiseokselle sopiva määrä olisi 50 l/m^3 ja emävesikipsiseokselle 83 l/m^3 . Aikaa saostuminen vaatii 1-2 tuntia.

Vaihe 5. Ligniinipölyn erottamiseksi öljypallokoiden pinnalta on kokeiltu kahta vaihtoehtoa käsittelyä: ligniini liuotetaan tai pallorakenne rikotaan.

1. Ligniini liukeni onnistuneesti valkolipeään ja syntyi mustalipeää. Mäntyöljy muuttui takaisin suovaksi ja muodostui yhtenäinen suopakerros.
2. Ligniinilauttaa käsiteltiin autoklaavissa 180°C , 3,5 h ja 10 bar. Muodostui yhtenäinen öljykerros ja puuomainen ”öljyhiekka”, joka koostui ligniinistä, kipsistä ja öljystä.

3. Potentiaaliset prosessivaihtoehdot, HDS:stä ulostulevat virrat: ligniinilautta ja vesi-kipsiseos käsitellään erikseen
- HDS:stä ulosotettava ligniinilautta käsitellään valkolipeällä ja syntynyt suopa-mustalipeä seos syötetään suovan keräilysäiliöön tai syöttölipeäsäiliöön.
 - Toinen vaihtoehto ligniinilautan käsittelyyn on syöttö paineastiaan joka lämmitetään höyryllä. Mäntyöljy saadaan ulos astian yläosasta, ligniini ja kipsi astian pohjalta. Reaktori liitettävä hajukaasujen keräilyyn.
 - Vesi-kipsiseos käsiteltäisiin säiliössä johon syötetään viherlipeää ja pumpattaisiin

Ennuste

Tulokset käsitellään marraskuun kokouksessa ja työ hyväksytään kun lopuraportti on valmis. Työ valmistunee vuoden 2009 loppuun mennessä.

Julkaisu ja painatus

Kommentit

Työryhmän kommentteja projektisuunnitelmaan:

- esityksessä Sirén ehdotti (puuttuu projektisuunnitelmasta) erottumisen aikariippuvuuden selvittämistä heti näytteenoton jälkeen tehtaalalla n. 2m korkean läpinäkyvän mittalasin avulla.
- yksi tutkittava näyte olisi havu+koivusuopa yhdessä.
- mahdollisuus käyttää puhdistettua vesiliosta esihapotuksessa rikkihapon tilalla? Tällä ei pitäisi olla suurta merkitystä.
- mäntyöljyn laatu huononee jos varastointilämpötila on korkea, johtuen rasvahappojen ja rasva-alkoholien esteröitymisreaktioista (happoluku). Ihanteellinen säilytyslämpötila olisi noin 50 °C. KCL:n komponenttianalyysillä selvitetään kärsiikö mäntyöljy prosessin lämpötila/paine-käsittelyä.
- HDS-keittämössä suurin osa kipsistä (~90%) saadaan ulos laitteen pohjalta, mutta joskus välikerrokseen ligniinipatja estää kalsiumin laskeutumisen.
- kokemuksia erilaisilta mäntyöljykeittämöiltä?
- kalsiumin liikkuminen prosessissa olisi mielenkiintoista selvittää, mahdollinen projekti tulevaisuudessa.
- Mittalasin materiaalien valinta: PC-muovilla ongelma on pH-kestävyys, emäveden on pH ~3. PVC-muovilla ongelmia tulee lämpötilan suhteen, emäveden lämpötila ~90 °C. Yksi vaihtoehto on lasi, saatavissa valmiina pakettina.
- Laitteisto voitaisiin sijoittaa suoraan HDS:n ligniinilautan ulosottoon?

- Taloudellisia laskelmia varten tarvitaan arvio mäntyöljyn saannosta, kuinka paljon emävedestä saataisiin mäntyöljyä. Olli selvittää Rauman saannon toukokuussa (jolloin mittaukset tehtiin).

6 VIHHERLIPEÄSAKKA

Tavoite ja aikataulu

Projektin tarkoitus on kerätä tietoa eri tehtaiden sakkakoostumuksista ja ajomalleista. Viherlipeäsakan ominaisuuksia tarkastellaan. Palamattoman hiilen määrän vaikutukset sakan määrään ja sen suodattavuuteen.

Työn ensimmäinen vaihe suoritetaan kirjallisuusselvityksenä. Projekti kestää noin 4 kuukautta (välillä syksy 2006 – kevät 2007). Myöhemmin neljän eri tehtaan sakat analysoidaan ajoparametrien funktiona. Tehtaat maksavat analyysikustannukset itse. Raportoinnin maksaa Soodakattilayhdistys.

Projektin tilanne

Näytteiden keräys ja analysointi on valmis. Näytteet kerättiin UPM:n Wisaforestin ja MB Rauman ja Stora Enso Enocellin tehtailta sekä Stora Enson Skoghallin tehtaalta Ruotsissa. Joitain näytteitä on tarkasteltu uudelleen. Työ on laskutettu.

Mikael Forssén piti kyseisestä projektista sekä Soodakattilan raskasmetallitaseet (8b/2007) projektista yhdistetyn esitelmän vuosikokouksessa 10.4.2008.

Loppuraporttia odotetaan Åbo Akademilta. Mikael Forssén on siirtynyt toisen työnantajan palvelukseen ja tekee raportin loppuun omalla ajallaan.

Ennuste

Loppuraportin saaminen on hankalaa koska työ on jo maksettu.

Julkaisu ja painatus

Työ julkaistaan Soodakattilayhdistyksen kotisivuilla.

Kommentit

Uusien ja vanhojen ilmajärjestelmien ero näkyy tuloksissa, vaikka sakassa ja sulassa olevan hiilen määrää on vaikea korreloida prosessiparametreihin. Mahdollinen jatkotutkimuskohde olisi sulaliuottajan hiilitaseen tekeminen.

7 MUIDEN TYÖRYHMIEN KUULUMISET

Ei käyty läpi ajan säästämiseksi.

8 TULEVAT PROJEKTIT

LTY diplomityö: Sellutehtaan lipeäsäiliöiden optimaalinen koko – toiminnan simulointi, liite VI

- Kymillä on ylätasen säätö, kertoo tehtaan säiliöiden tilanteen ja miten tilanteen oletetaan kehittyvän tulevaisuudessa.

LTY diplomityö: Höyrytasojen optimaaliset paineet

- Sellutehtaan painetaso valinnat perustuvat melko vanhoihin valintoihin. Matalapainehöyryn paineen ja välipainehöyryn paineen arvot vaikuttavat sellutehtaan sähköntuotantoon. Matalampi paine merkitsee enemmän sähköä. Toisaalta matalampi paine merkitsee isompia höyrylinjoja ja vastaavasti isompia investointikustannuksia. Samoin esimerkiksi sellun kuivauksen investointi (kapasiteetti) riippuu valitusta vastapaineesta.
- Miten hyvin tuloksia voidaan hyödyntää kaikilla tehtailla vai onko projektista hyötyä vain tehtaalle joka osallistuu projektiin.
- Esa Vakkilainen lähettää tarkemman tarjouksen projektista

Vierasaineet kemikaalikierrrossa

- Ongelmia on syntynyt kun biolietettä, jossa paperitehtaan jätevesiä, on sekoitettu mustalipeään ja ajettu haihduttamolle. Epäpuhtaudet (alumiini, pii ja natrium) ovat reagoineet keskenään tukkien haihduttamon yksiköitä.
- Alumiinin poisto biolietteestä mahdollista?
- Kuinka paljon biolietettä voidaan turvallisesti sekoittaa mustalipeään ilman ongelmia?

Kemikaalialtistuksen arviointi sellutehtaalla

- Työntekijöiden altistuminen kemikaaleille esim. liuottajan yläpuolella
- Työturvallisuuspiiriltä on tullut vaade tehdä kemikaalikäytön turvallisuuden arviointi tehtaalla. Altistusarviointi on kuitenkin tullut vain suositukseksi, ei velvoitteeksi.
- Sihteeri ottaa asian esille YTR:n kokouksessa

Kokouksessa IV/2008 kerättyjä projekti-ideoita:

Vierasaineet

- soodakattilassa kalium ja kloori
 - korkeat höyrynärvot vaativat kloorin poistoa, lentotuhkassa vain osa
- meesauunissa fosfori
- koko tehtaan vierasainetase iso työ
 - prosessin kannalta tärkeät
 - ympäristön kannalta harmittomat
 - ympäristön kannalta haitalliset
- Orko, Inka: Haitallisten metallien ainevirrat sulfaattisellun valmistuksessa. Lisenssiaattityö, 130 s.

Mustalipeän syöttö ja poltto pelletteinä

Orgaanisen aineen poiston vaikutukset

- metsäklusterin biorefinery-hanke
- esim. 50 % ligniinistä pois, mitä muutoksia
-

Uudet tulipesäkamerat

- sotilastekniikkaa

Suovan erottuminen

Liuottajan hönkien pesu

Kattilan/haihduksen likaantuminen

9 MUUT ASIAT

Patrik Yrjas kysyi lupaa kirjoittaa artikkelit minuuttisondiprojektista ja mustalipeän polttokokeista ICRC:ään 2010 konferenssiin. Minuuttisondi-projekti on OK, mutta polttokokeiden osalta lupa täytyy kysyä SKYRECin jorylta.

Niko DeMartini on Mikko Hupan varahenkilö.

KCL:n tutkimusosasto ja laboratoriot on siirretty VTT:n alle, joten Mia Tehomaan uusi sähköpostiosoite on Mia.Tehomaa@vtt.fi.

10 SEURAAVA KOKOUS

Seuraava kokous sovittiin pidettäväksi 19.11.2009 Rauman tehtaalla alkaen klo 10. Osoite on Maanpääntie 9, Rauma.

Kokous voidaan pitää puhelin/nettipaleverina jos kokouksessa käsiteltävät asiat mahdollistavat tämän.

Vakuudeksi

Markus Nieminen

LIITE I

Minuuttisondi – Esitys

Niklas Vähä-Savo, Mikko Hupa, Patrik Yrjas, Åbo Akademi



”Minuuttisondi-projekti”

yhteistyössä
Suomen Soodakattilayhdistys

Niklas Vähä-Savo

Patrik Yrjas

Mikko Hupa

Åbo Akademi

Johdanto

- Kehittää nopea menetelmä jolla voidaan yksinkertaisesti määrittää kerrostumanopeus ja kerrostumamäärä (g/m^3 dfg)
 - Mittauksessa käytettiin jäähdyttämätöntä 2 m pitkää haponkestävää putkea jonka halkaisija oli 38 mm ja seinämäpaksuus 2 mm
 - Yhden ilmajäähdytteisin sondimittauksen aikana suoritettiin 4kpl minuuttisondimittausta
-

Mittauskampanjat

- 6.11.2008 Koekuvaus Metsä-Botnia Rauma
 - Kuvien laadun varmentaminen, mittauksen optimikestoajan löytäminen (20 s), havaita mahdolliset puuteet
- vko 50 2008 Enocell Uimaharju (Stora Enso)
- vko 3 2009 Metsä-Botnia Rauma
- vko 7 2009 UPM-Kymmene Pietarsaaren Tehdas

Kuvien analysointi

- Analysointi alue rajattiin jotta saman kokoinen alue samalta kohtaa sondia analysoitaisiin
- Kuvat käsiteltiin jotta osumat erottuisivat paremmin taustasta
- Lopuksi kuva analysoitiin ImageJ ohjelmalla

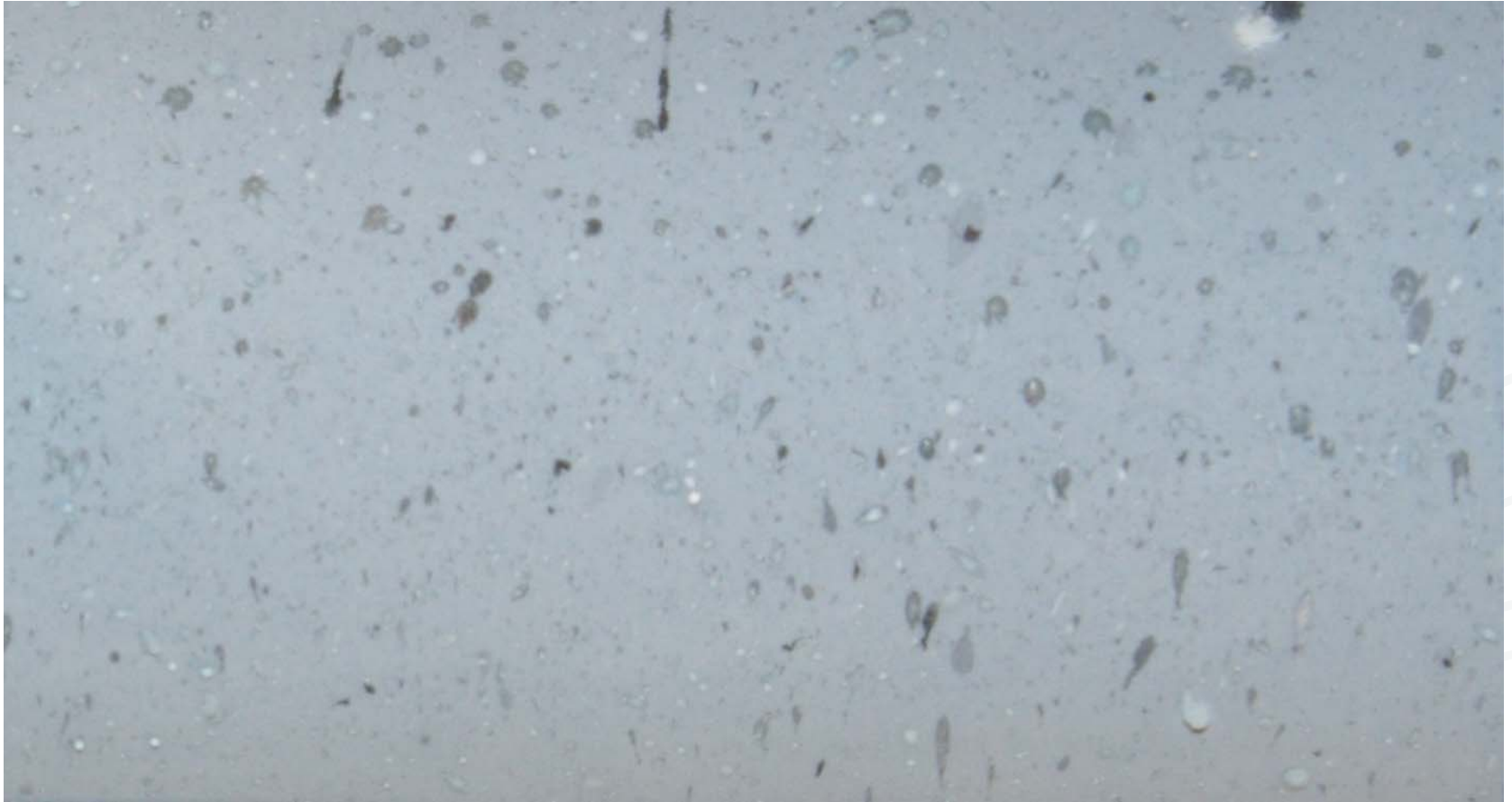
Kuvien analysointi

- Alkuperäinen kuva jossa on analysointialue rajattu

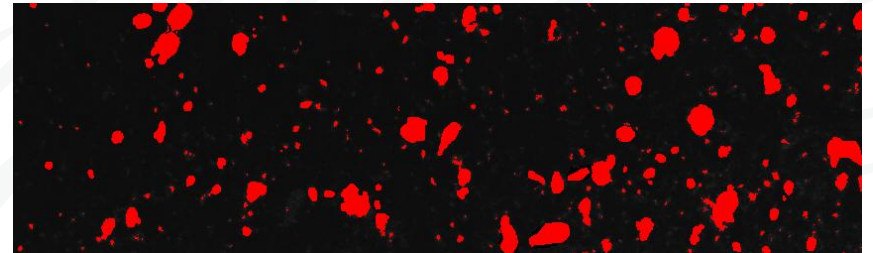
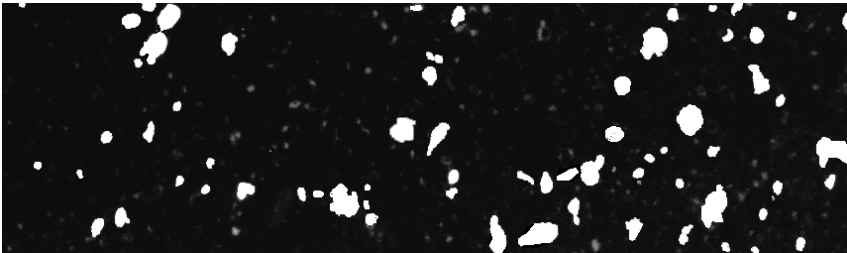
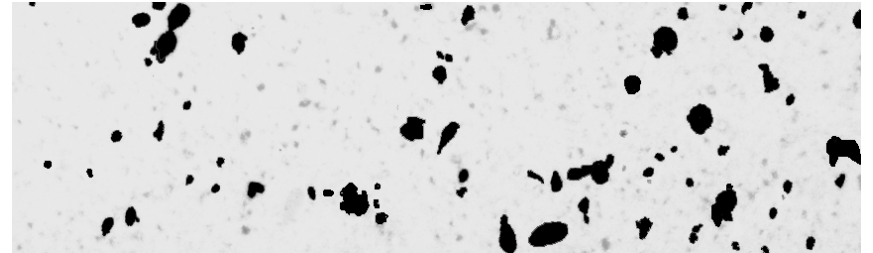
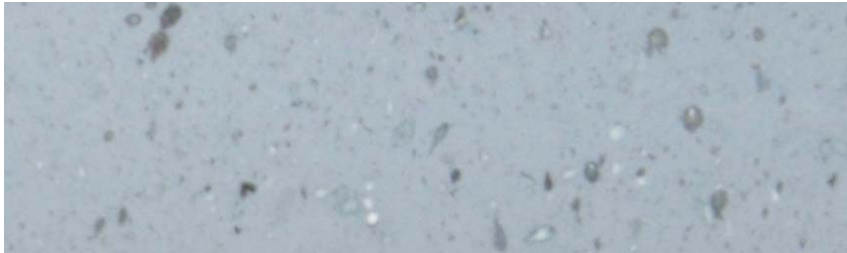


Kuvien analysointi

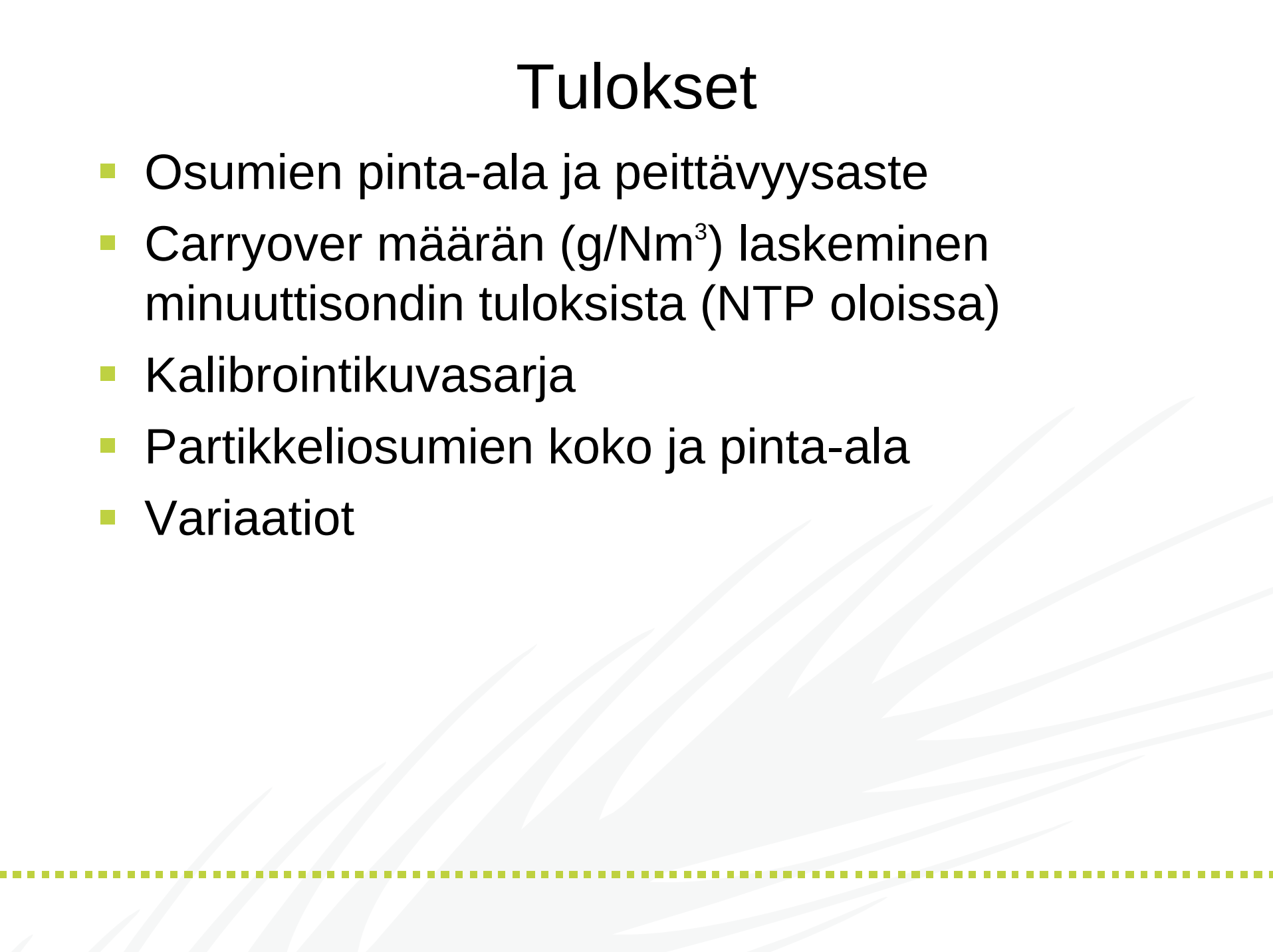
- Leikattu alue rajatusta kuvasta



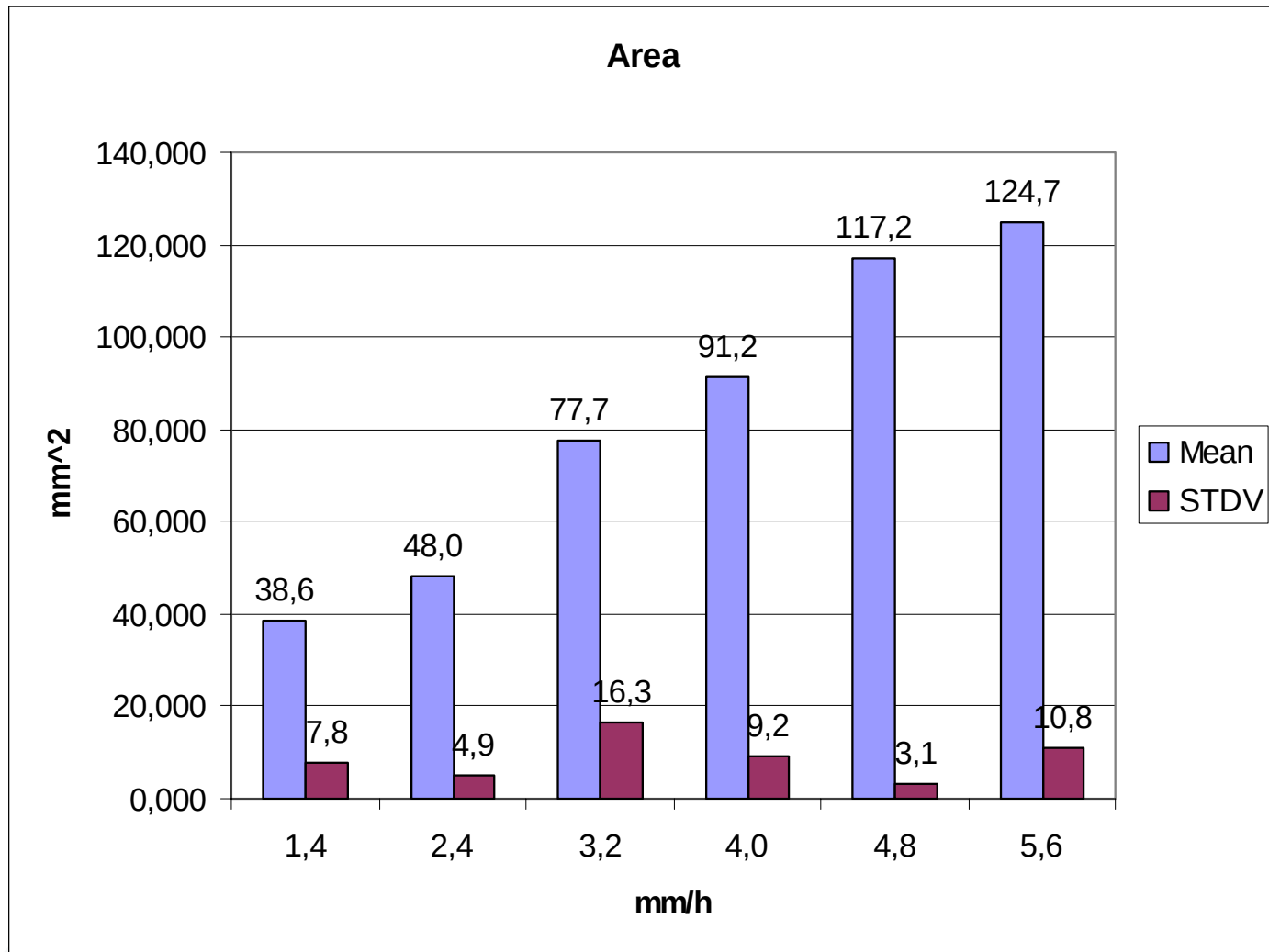
Kuvien analysointi



Tulokset

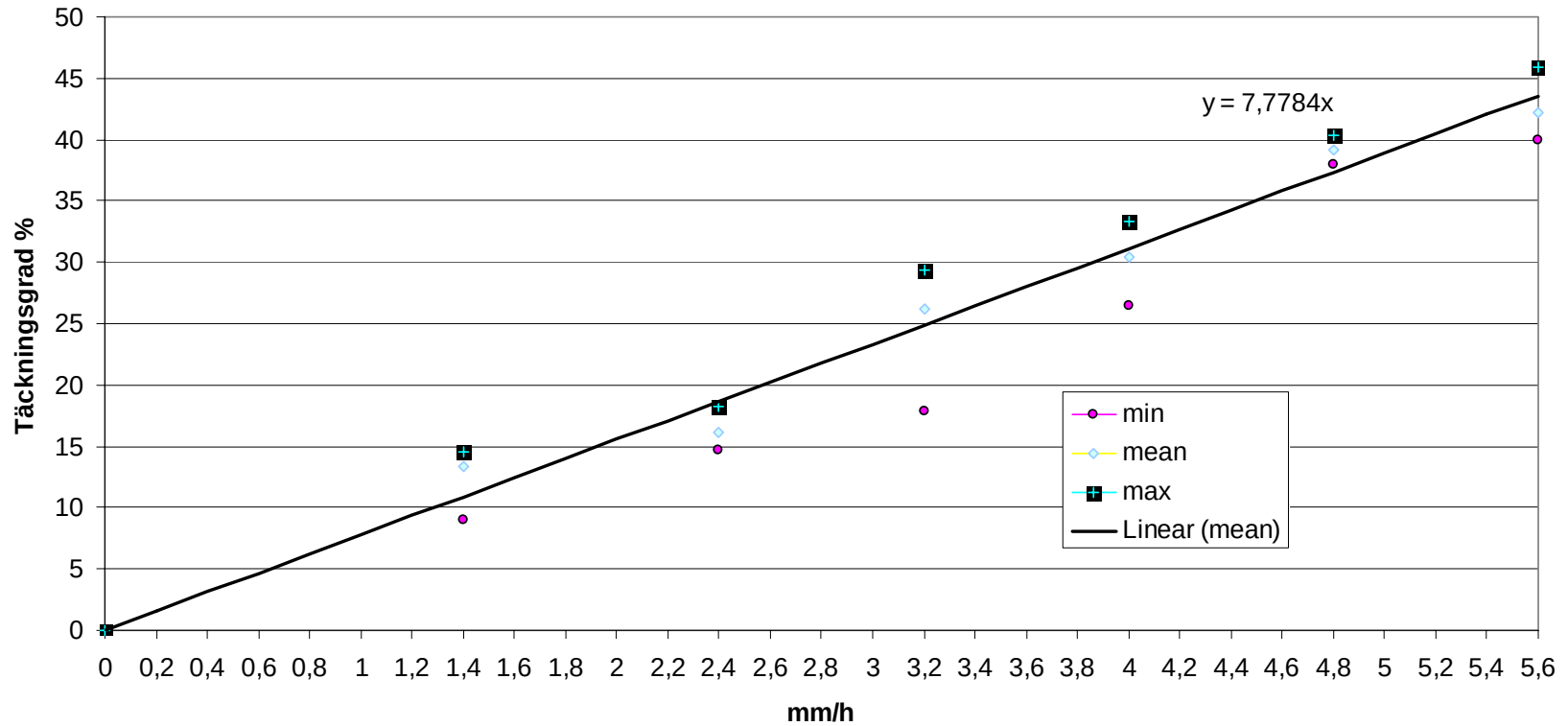
- Osumien pinta-ala ja peittävyysaste
 - Carryover määrän (g/Nm^3) laskeminen minuuttisondin tuloksista (NTP oloissa)
 - Kalibrointikuvasarja
 - Partikkeliosumien koko ja pinta-ala
 - Variaatiot
- 

Pinta-ala



Peittävyysaste

Area Fraction



$$\text{kerrostumanopeus[mm/h]} = \frac{\text{peittävyysaste[\%]}}{7,7784} * \frac{20s}{\text{mittausaika [s]}}$$

g/Nm^3 (dfg) laskeminen minuuttisondin tuloksista (NTP)

- Prosessiparametrit
 - Lipeämäärä 30 l/s, tiheys 1,4326 kg/l, 80,4 % kuiva-aine määrä
 - Lipeän koostumus (paino-%):
 - C 38,2 %, H 3,4 %, O 31,1 %, N 0,1%, S 5,2 %, Na 19,8 %, K 1,9 %, Cl 0,1 %, loput 0,2 %
 - Jäännöshappi 2,28 %
 - Pinta-ala nokantasolla 6,5 x 12,5 m
 - Carryoverin tiheys $2600 \text{ kg}/\text{m}^3$
 - Savukaasujen koostumus:
 - CO_2 , N_2 , O_2 , H_2O
- Laskettiin carry-over määrä ilmajäähdytteisen sondin sekä minuuttisondin tuloksista

Kalibrointikuvasarja

(peittävyysaste)

10 %

20%

30%

33%

38%

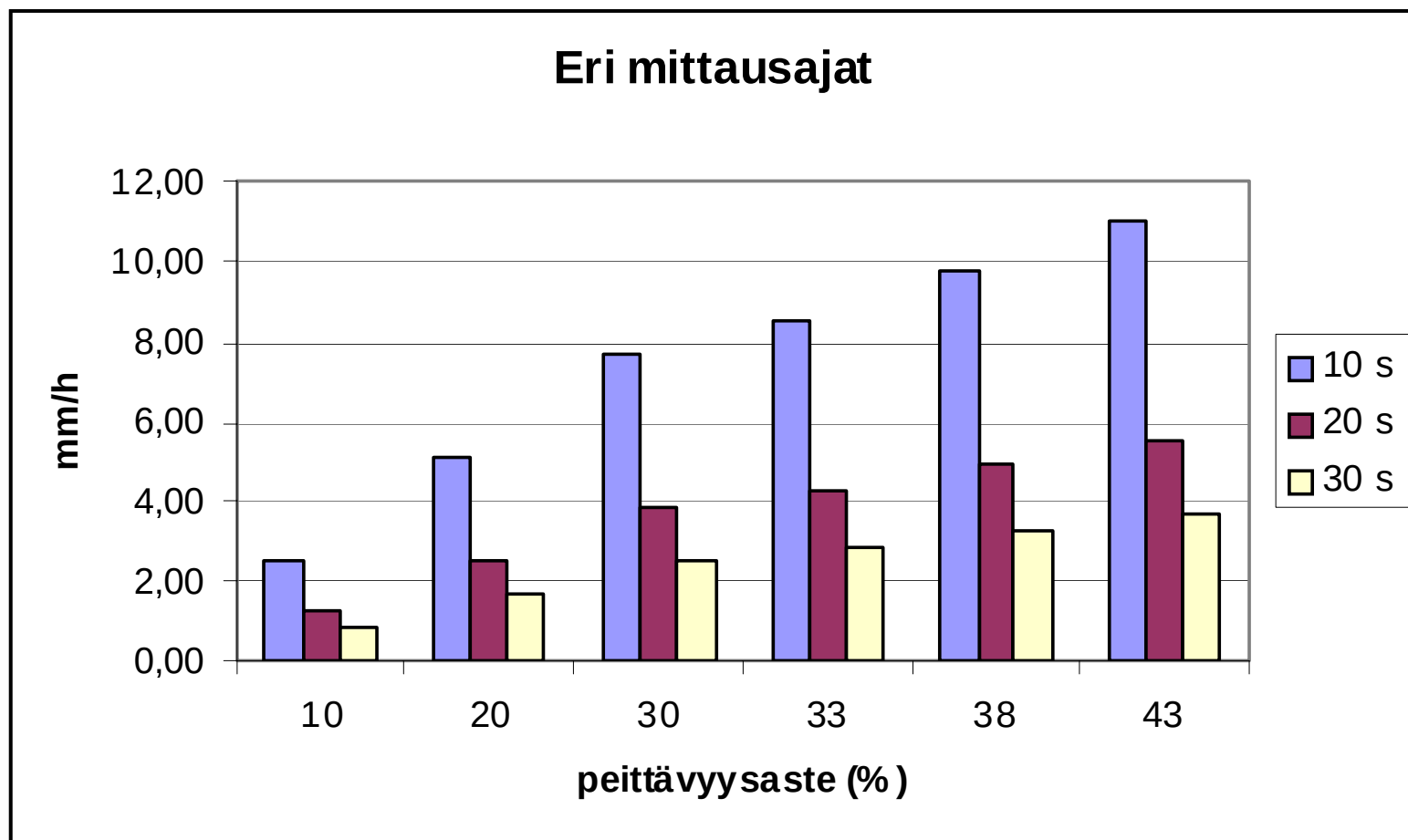
43%



Yhteenveto

- Minuuttisondista on mahdollista laskea kerrostumakasvunopeus mm/h ja carryover määrä g/Nm³ dfg
 - Mittausaikaa voi vaihdella 10-30s välillä riippuen carryover määrästä sekä savukaasujen lämpötilasta
 - Niin kauan kun ei päällekkäisiä osumia esiinnyt (peittävyysaste <50%) saadaan tietoa myös osumien koosta
-

Yhteenveto





UPM-Kymmene Kymin tehdas

Minuuttisondimittaukset

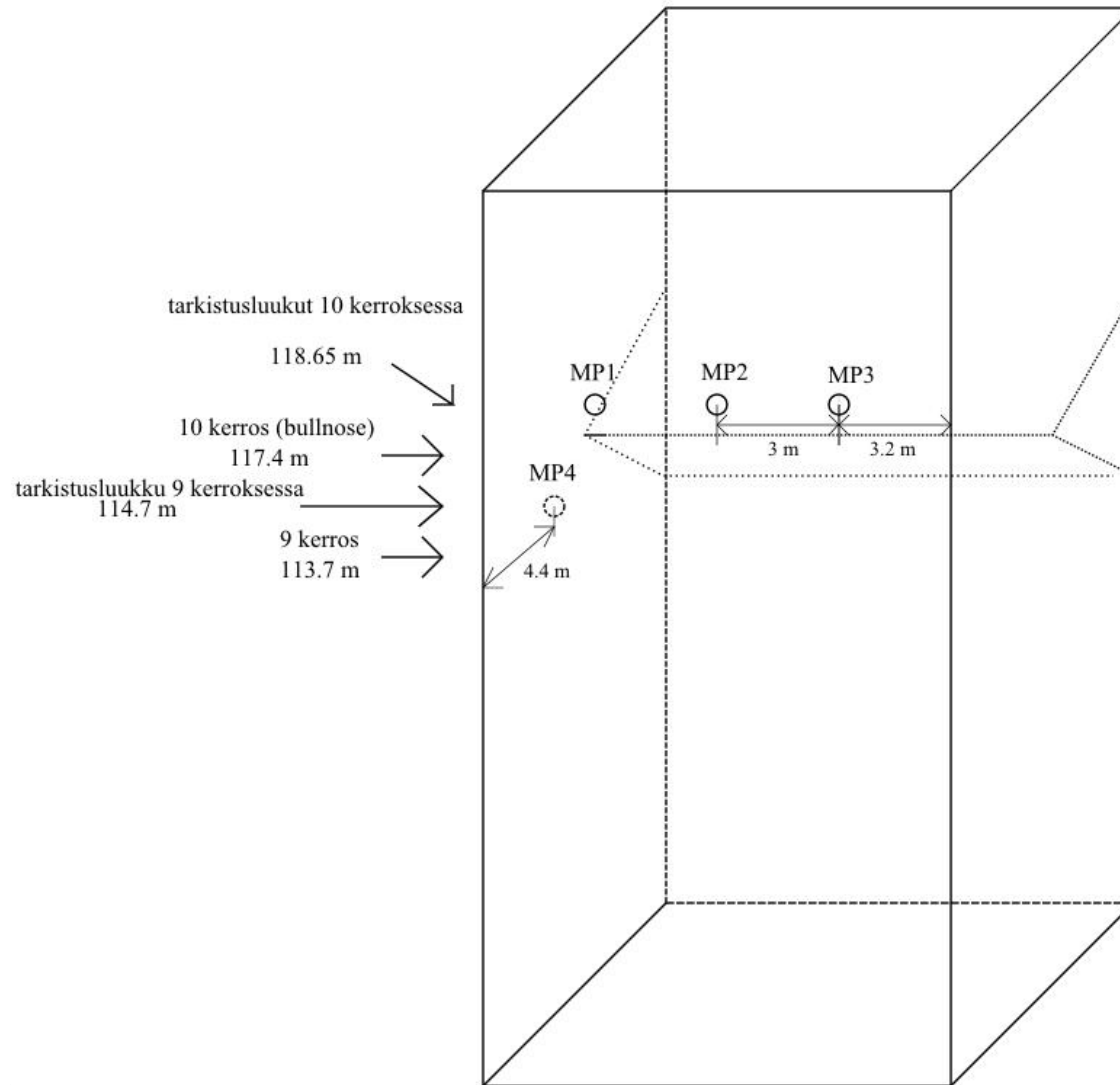
12-13.5.2009

Mikko Hupa, Tor Lauren, Niklas Vähä-Savo, Patrik Yrjas

Mittauspaikat

- Mittaukset suoritettiin:
 - nokan tasolla (117,4 m merenpinnan yläpuolella) kolmesta tarkistusluukusta soodakattilan etuseinällä, verhoputkien yläpuolella.
 - 113,7 m korkeudella nokan tason alapuolella yhdestä tarkistusluukusta soodakattilan vasemmalla sivuseinällä verhoputkien alapuolella.
-

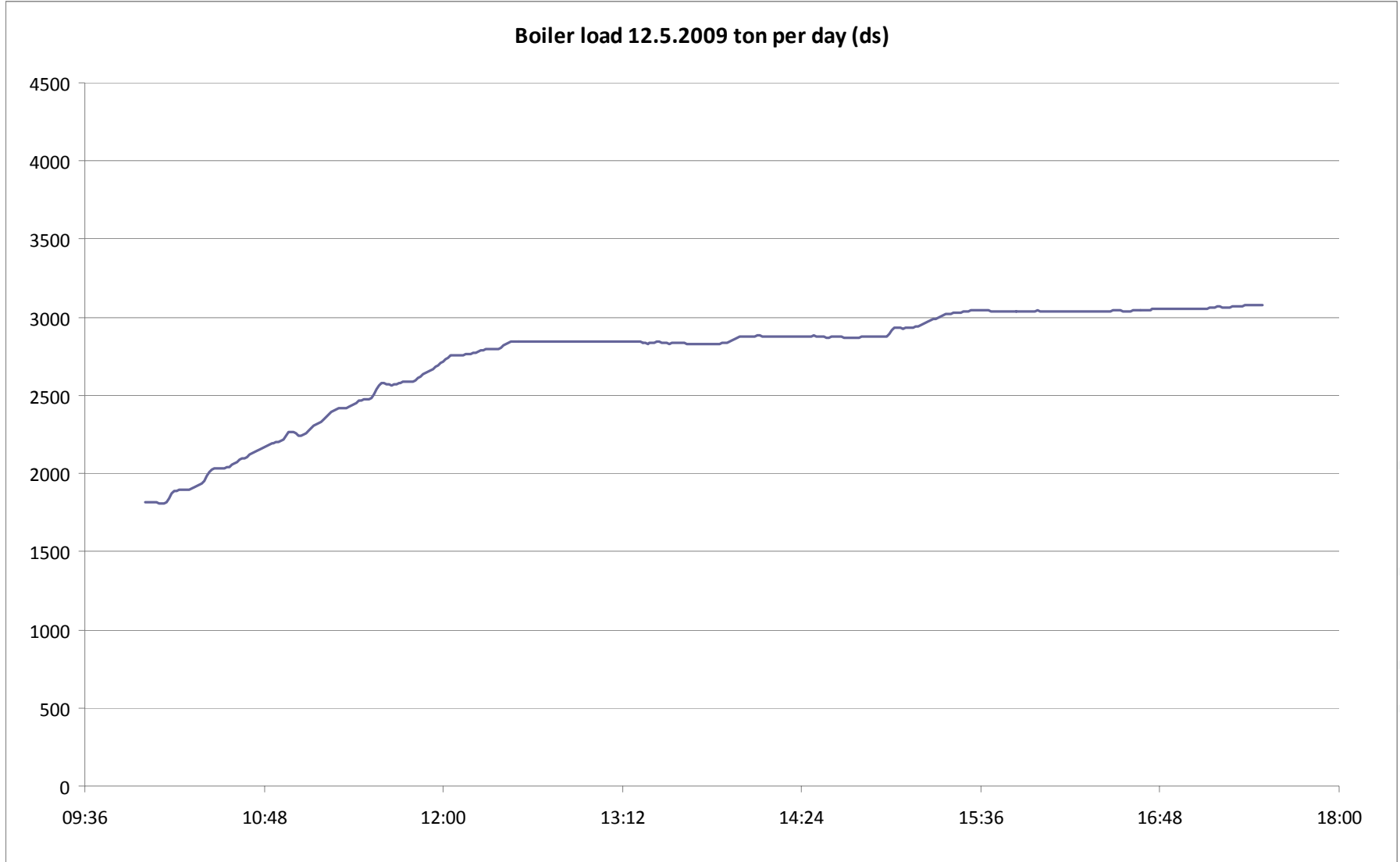
Mittauspaikat



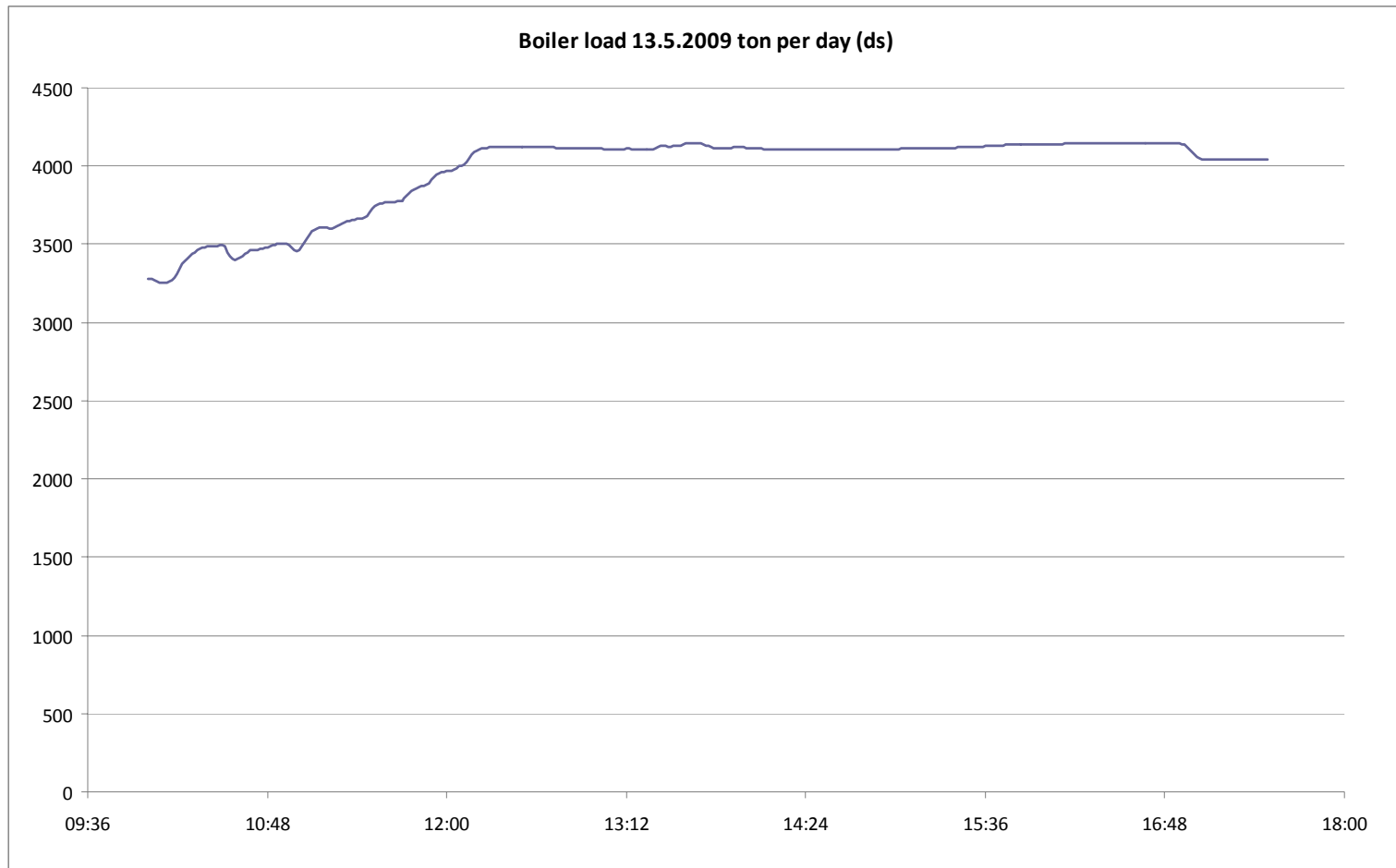
Mittaukset

- Nokan tasolla keskimmaisessa tarkistusluukussa (MP2) suoritettiin samanaikaisesti 4 kpl minuuttisondimittaus ja yksi ilmajäähdysteinen sondimittaus.
 - Minuuttisondin mittausaikaa vaihteli 10 s ja 20 s välillä, carry-over määrästä riippuen.
 - Ilmajäähdysteisellä sondilla käytettiin mittausaikaa 15 min.
 - Carry-over määrän vaihtelua soodakattilan eri kohdissa mitattiin suorittamalla 10 s tai 20 s minuuttisondimittaus mahdollisimman samanaikaisesti jokaisessa mittauspisteessä.
-

Soodakattilan kuorma



Soodakattilan kuorma



Carry-over pitoisuuden laskeminen

Lipeän koostumus

C	38,2	paino-%
H	3,4	paino-%
O	31,1	paino-%
N	0,1	paino-%
S	5,2	paino-%
Na	19,8	paino-%
K	1,9	paino-%
Cl	0,1	paino-%
Rest	0,2	paino-%

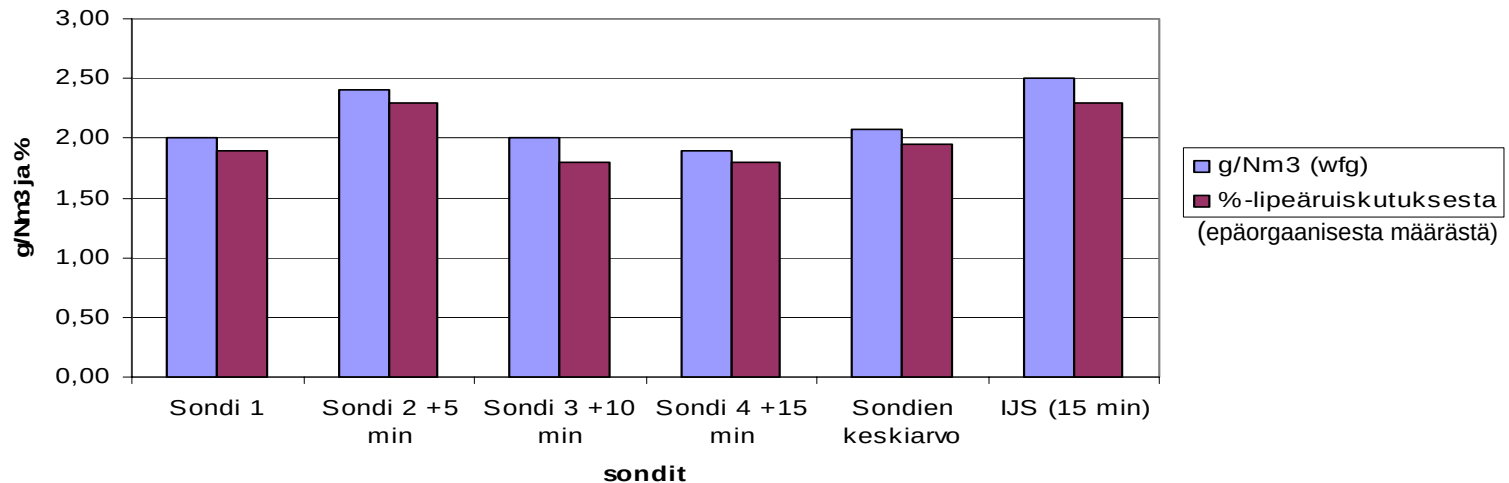
Lipeän tiheys	1,4834	kg/dm ³
carry-overin tiheys	2600	kg/m ³
Pinta-ala nokan kohdalla	98	m ²

- Polttoilma: 80 % N₂, 20 % O₂
- Savukaasut: O₂, H₂O, N₂, CO₂

Kalibrointimittaukset (MP2)

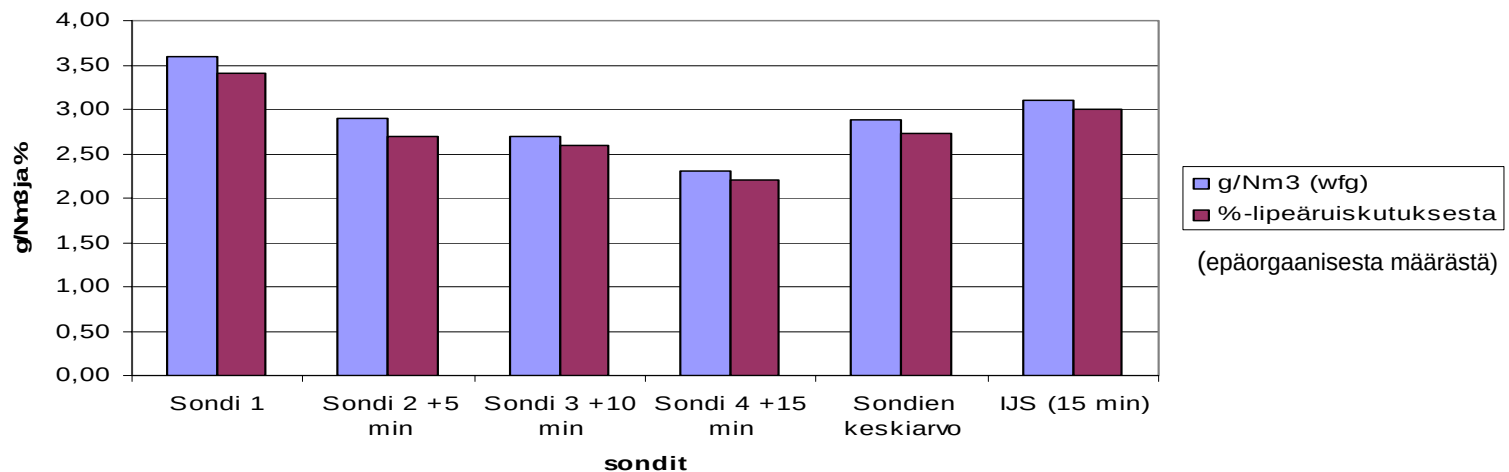
Kalibrointimittaus 12.5.09 12:25

IJS = Ilmajäähdytetty sondi

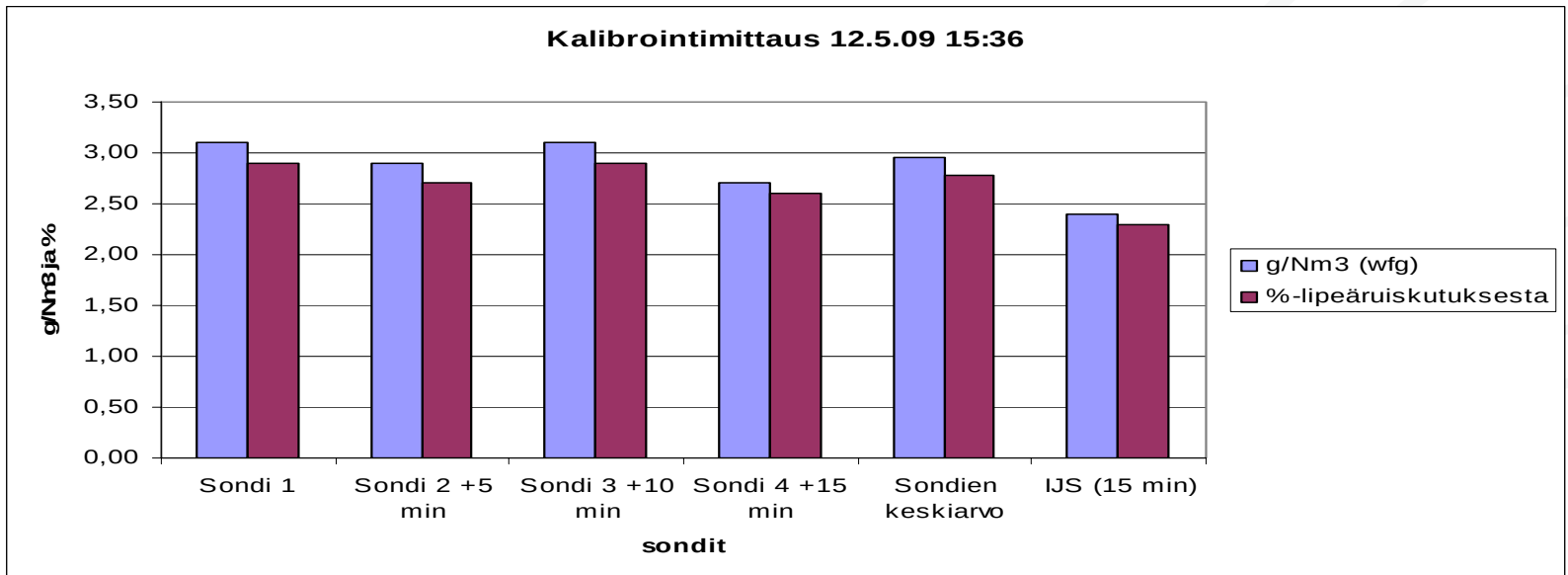
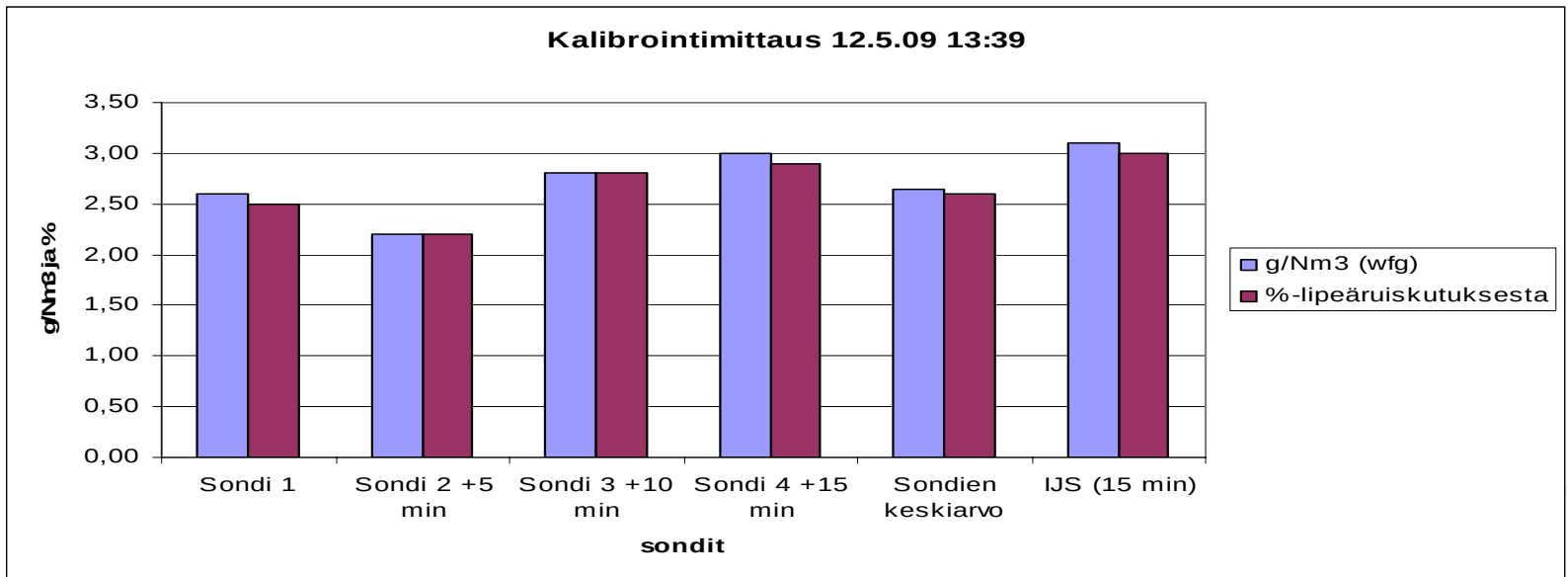


Kalibrointimittaus 12.5.09 13:00

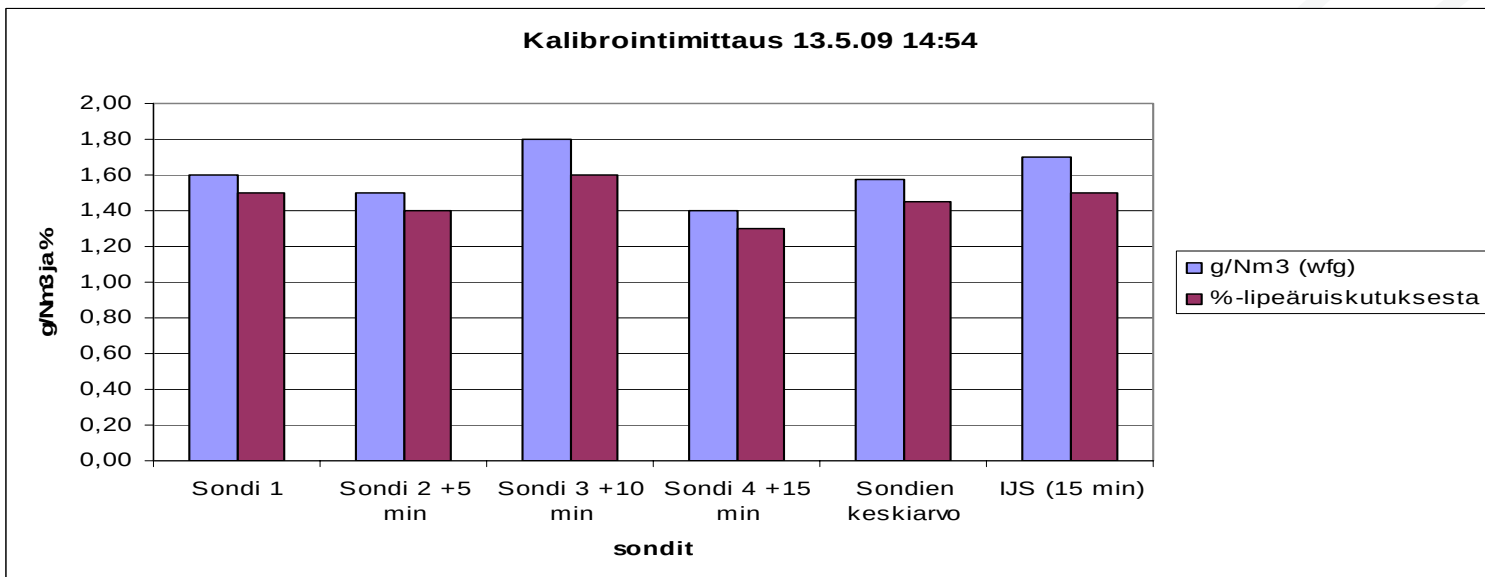
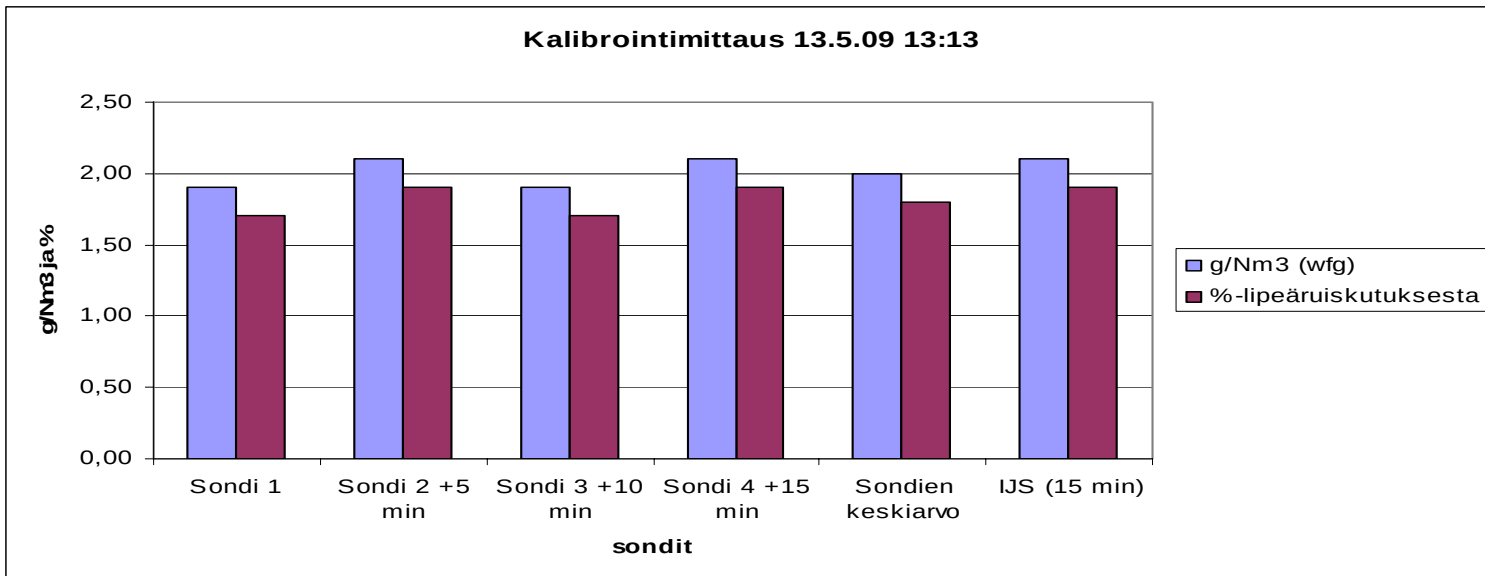
IJS = Ilmajäähdytetty sondi



Kalibrointimittaukset (MP2)

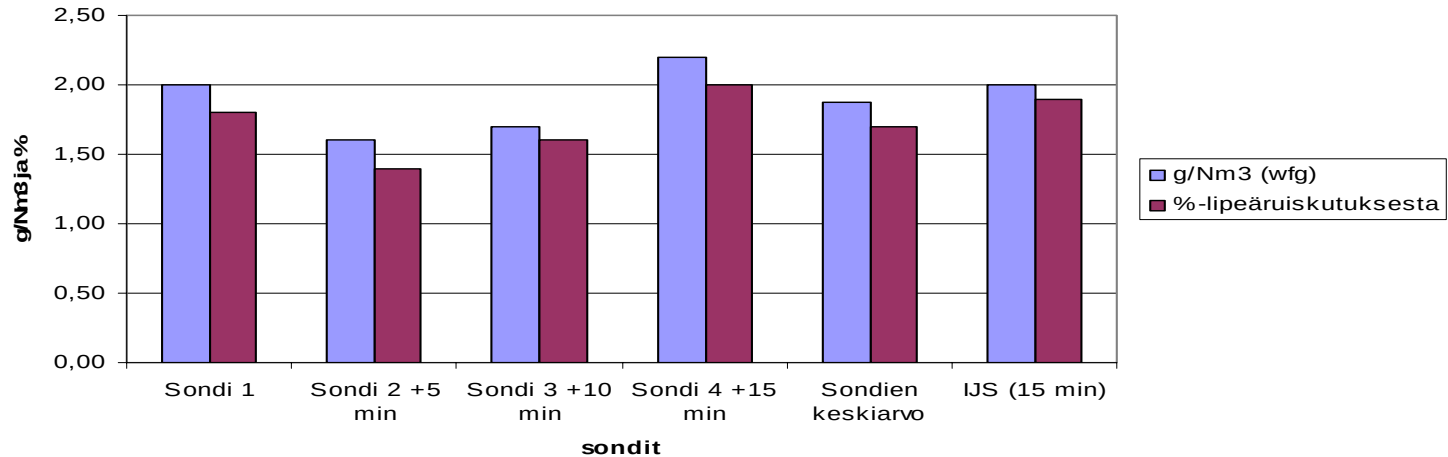


Kalibrointimittaukset (MP2)

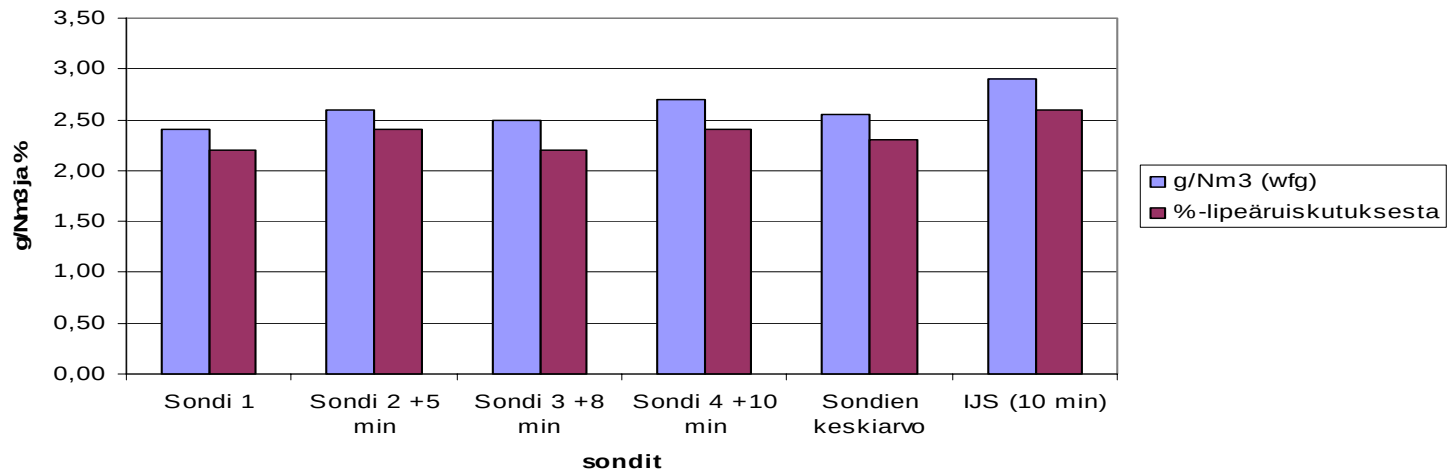


Kalibrointimittaukset (MP2)

Kalibrointimittaus 13.5.09 15:30



Kalibrointimittaus 13.5.09 16:34



Kalibrointimittaukset (MP2)

12.5.2009 12:25	Sondi 1	Sondi 2 +5 min	Sondi 3 +10 min	Sondi 4 +15 min	Sondi keskiarvo	IJS (15 min)	MS 20s
Peittävyysaste / mm/h	38,2 %	46,2 %	37,3 %	36,2 %	39,5 %	6 mm/h	CA
g/Nm3 (wfg)	2,00	2,40	2,00	1,90	2,08	2,50	
%-lipeäruiskutuksesta	1,90	2,30	1,80	1,80	1,95	2,30	

12.5.2009 13:00	Sondi 1	Sondi 2 +5 min	Sondi 3 +10 min	Sondi 4 +15 min	Sondien keskiarvo	IJS (15 min)	MS 20s
Peittävyysaste / mm/h	70,0 %	55,0 %	52,0 %	45,0 %	55,5 %	7,6 mm/h	VI
g/Nm3 (wfg)	3,60	2,90	2,70	2,30	2,88	3,10	
%-lipeäruiskutuksesta	3,40	2,70	2,60	2,20	2,73	3,00	

12.5.2009 13:39	Sondi 1	Sondi 2 +5 min	Sondi 3 +10 min	Sondi 4 +15 min	Sondien keskiarvo	IJS (15 min)	MS 10s
Peittävyysaste / mm/h	25,0 %	22,0 %	28,0 %	30,0 %	26,3 %	7,6 mm/h	VI
g/Nm3 (wfg)	2,60	2,20	2,80	3,00	2,65	3,10	
%-lipeäruiskutuksesta	2,50	2,20	2,80	2,90	2,60	3,00	

12.5.2009 15:36	Sondi 1	Sondi 2 +5 min	Sondi 3 +10 min	Sondi 4 +15 min	Sondien keskiarvo	IJS (15 min)	MS 10s
Peittävyysaste / mm/h	32,0 %	30,0 %	32,0 %	28,0 %	30,5 %	6,4 mm/h	VI
g/Nm3 (wfg)	3,10	2,90	3,10	2,70	2,95	2,40	
%-lipeäruiskutuksesta	2,90	2,70	2,90	2,60	2,78	2,30	

VI = Visual inspection MS = minuuttisondi
 CA = Computer analyzed
 IJS = Ilmajäädetyt sondi

Kalibrointimittaukset (MP2)

13.5.2009 13:13	Sondi 1	Sondi 2 +5 min	Sondi 3 +10 min	Sondi 4 +15 min	Sondien keskiarvo	IJS (15 min)	MS 10s
Peittävyysaste / mm/h	25,0 %	28,0 %	25,0 %	28,0 %	26,5 %	6,8 mm/h	VI
g/Nm3 (wfg)	1,90	2,10	1,90	2,10	2,00	2,10	
%-lipeäruiskutuksesta	1,70	1,90	1,70	1,90	1,80	1,90	

13.5.2009 14:54	Sondi 1	Sondi 2 +5 min	Sondi 3 +10 min	Sondi 4 +15 min	Sondien keskiarvo	IJS (15 min)	MS 20s
Peittävyysaste / mm/h	42,0 %	40,0 %	46,0 %	38,0 %	41,5 %	5,6 mm/h	VI
g/Nm3 (wfg)	1,60	1,50	1,80	1,40	1,58	1,70	
%-lipeäruiskutuksesta	1,50	1,40	1,60	1,30	1,45	1,50	

13.5.2009 15:30	Sondi 1	Sondi 2 +5 min	Sondi 3 +10 min	Sondi 4 +15 min	Sondien keskiarvo	IJS (15 min)	MS 20s
Peittävyysaste / mm/h	52,3 %	41,1 %	46,5 %	57,4 %	49,3 %	6,8 mm/h	CA
g/Nm3 (wfg)	2,00	1,60	1,70	2,20	1,88	2,00	
%-lipeäruiskutuksesta	1,80	1,40	1,60	2,00	1,70	1,90	

13.5.2009 16:34	Sondi 1	Sondi 2 +5 min	Sondi 3 +8 min	Sondi 4 +10 min	Sondien keskiarvo	IJS (10 min)	MS 20s
Peittävyysaste / mm/h	65,0 %	70,0 %	65,0 %	70,0 %	67,5 %	9,6 mm/h	VI
g/Nm3 (wfg)	2,40	2,60	2,50	2,70	2,55	2,90	
%-lipeäruiskutuksesta	2,20	2,40	2,20	2,40	2,30	2,60	

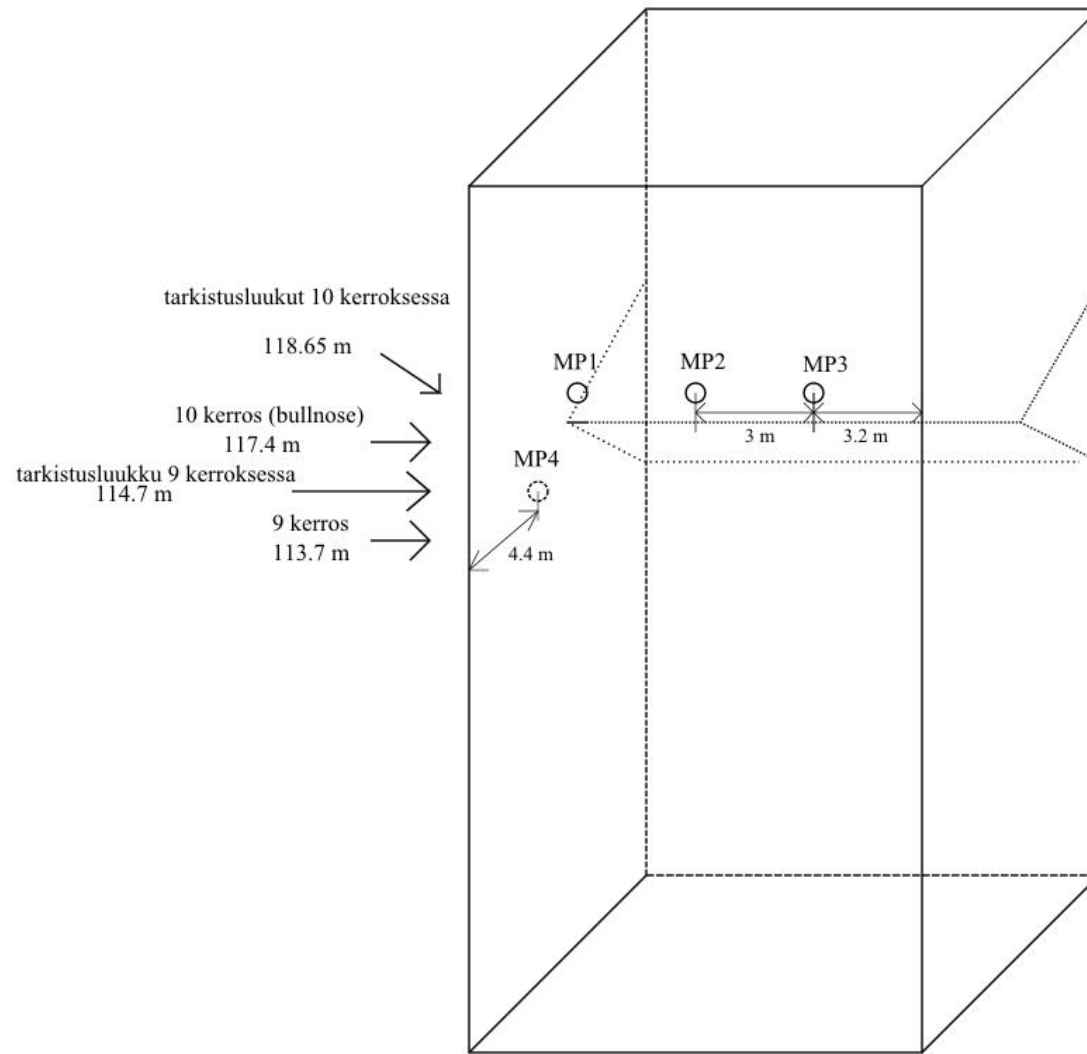
VI = Visual inspection

CA = Computer analyzed

IJS = Ilmajäädytetty sondi

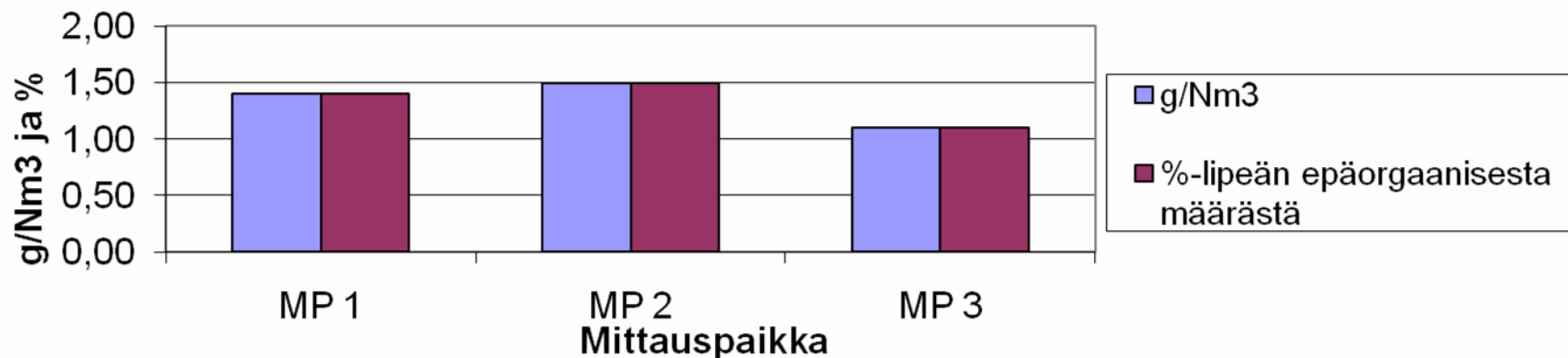
MS = minuuttisondi

Carry-over määrä eri mittauspisteissä

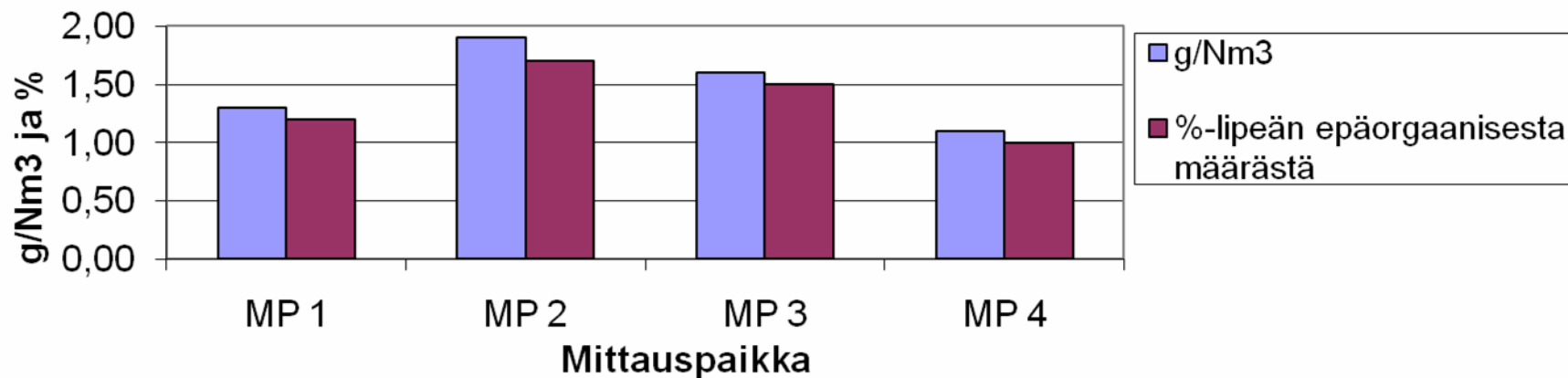


Carry-over määrä eri mittauspisteissä

Vertailumittaukset 12.5.09 16:41

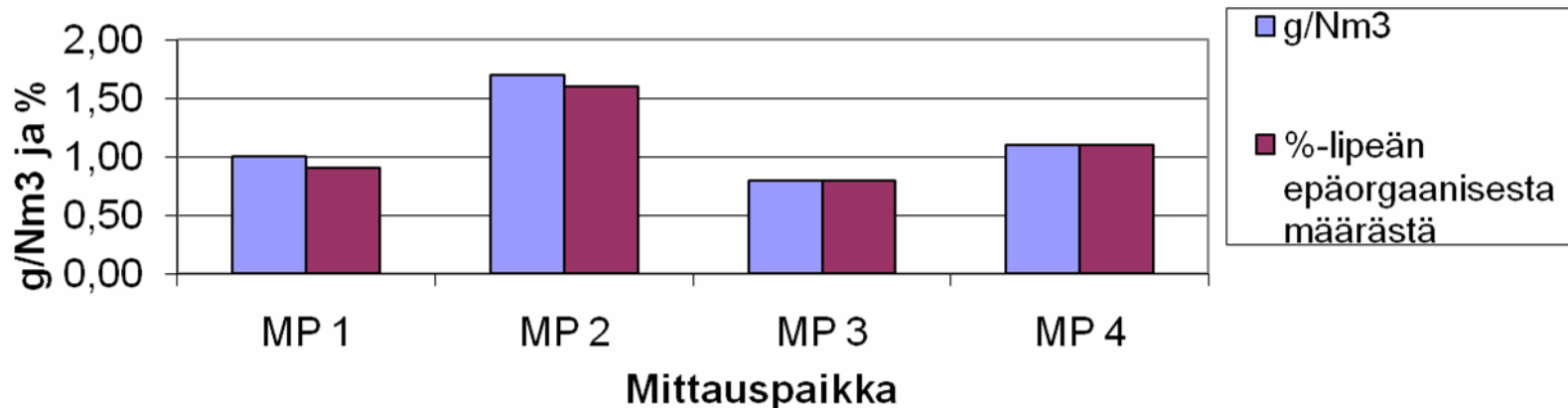


Vertailumittaukset 13.5.09 13:53

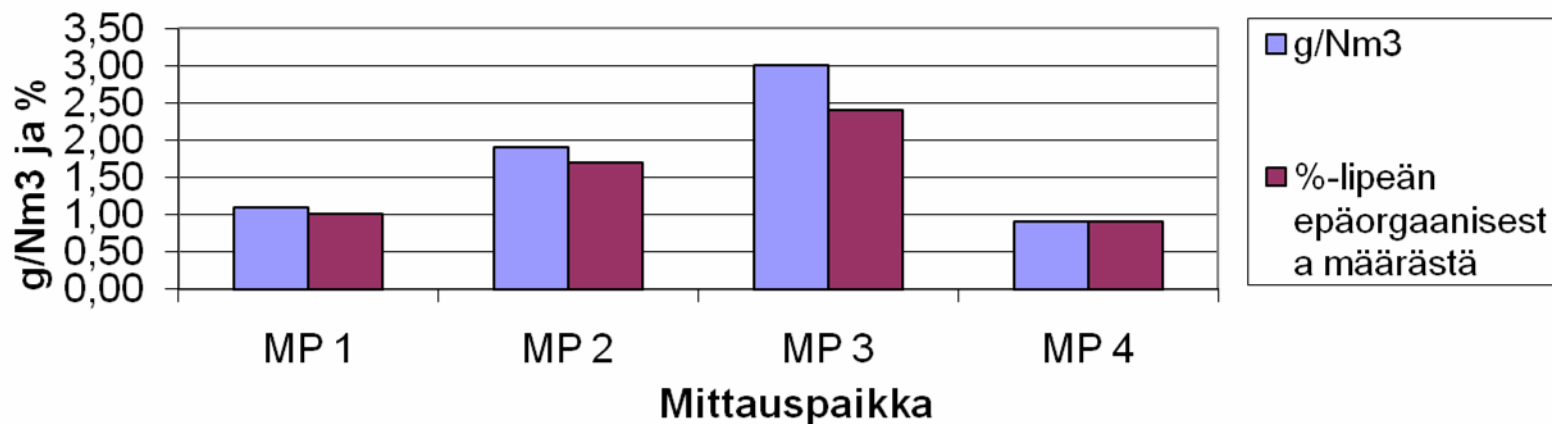


Carry-over määrä eri mittauspisteissä

Vertailumittaukset 13.5.09 14:19

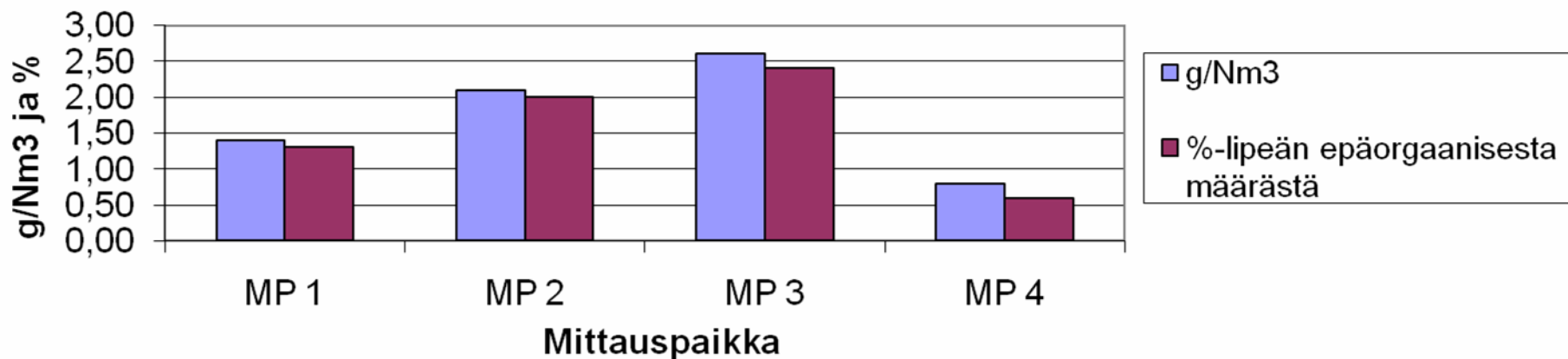


Vertailumittaukset 13.5.09 16:13



Carry-over määrä eri mittauspisteissä

Vertailumittaukset 13.5.09 17:04



Carry-over määrä eri mittauspisteissä

12.5.2009 16:41	MP 1	MP 2	MP 3	MP 4	MS 20 s
Peittävyysaste	29,6 %	32,5 %	24,2 %		CA
g/Nm3 (wfg)	1,40	1,50	1,10		
%-lipeäruiskutuksesta	1,40	1,50	1,10		

VI = Visual inspection
 CA = Computer analyzed
 IJS = Ilmajäädytetty sondi
 MS = minuuttisondi

13.5.2009 13:53	MP 1	MP 2	MP 3	MP 4	MS 10 s
Peittävyysaste	18,0 %	25,0 %	22,0 %	15,0 %	VI
g/Nm3 (wfg)	1,30	1,90	1,60	1,10	
%-lipeäruiskutuksesta	1,20	1,70	1,50	1,00	

13.5.2009 14:19	MP 1	MP 2	MP 3	MP 4	MS 20 s
Peittävyysaste	27,3 %	46,4 %	22,3 %	30,3 %	CA
g/Nm3 (wfg)	1,00	1,70	0,80	1,10	
%-lipeäruiskutuksesta	0,90	1,60	0,80	1,10	

13.5.2009 16:13	MP 1	MP 2	MP 3	MP 4	MS 20 s
Peittävyysaste	28,0 %	50,0 %	70,0 %	25,0 %	VI
g/Nm3 (wfg)	1,10	1,90	3,00	0,90	
%-lipeäruiskutuksesta	1,00	1,70	2,40	0,90	

13.5.2009 17:04	MP 1	MP 2	MP 3	MP 4	MS 10 s
Peittävyysaste	18,0 %	28,0 %	34,0 %	9,0 %	VI
g/Nm3 (wfg)	1,40	2,10	2,60	0,80	
%-lipeäruiskutuksesta	1,30	2,00	2,40	0,60	

Carryovermäärän vaihtelu 12.5 klo 16:41 (20 s minuuttisondi)



10 kerros vasen (MP 1)



10 kerros keskellä (MP 2)



10 kerros oikea (MP 3)



Carryovermäärän vaihtelu 13.5 klo 16:13 (20 s minuuttisondi)



9 kerros vasen (MP 4)



10 kerros vasen (MP 1)



10 kerros keskellä (MP 3)



10 kerros oikea (MP 3)



EDXA analyysitulokset

	12.5.2009 15:36	12.5.2009 15:36	13.5.2009 14:56	13.5.2009 14:56
paino-%	Tuulenpuoli	Suojanpuoli	Tuulenpuoli	Suojanpuoli
Na	33,4	31,1	31,6	29,6
K	3,4	5,2	3,3	5,8
SO4	45,6	50,9	57,0	56,9
CO3	17,4	12,3	7,8	6,6
Cl	0,3	0,5	0,3	1,0

CO₃ pitoisuus laskettu anionien ja kationien taseesta (EDXA havaitsee ainoastaan Na, K, S ja Cl pitoisuudet)

Loppuyhteenvedo

- Minuttisondin ulkonäöstä (peittävyysasteesta) on mahdollista arvioida carry-over pitoisuus
 - Minuuttisondilla pystyy arvioimaan hetkellinen carry-over pitoisuus erikohdilla soodakattilaa lyhyellä aikavälillä
 - Havaittiin keon vaikutus carry-over pitoisuuteen erikohdilla soodakattilaa
 - Kekoa kasvoi soodakattilan oikealle laidalle ja huomattavasti suurempi carry-over pitoisuus havaittiin soodakattilan oikealla laidalla (MP3) ja keskellä (MP2) kun vasemmalla laidalla (MP1).
 - Samanaikaisesti savukaasujen happipitoisuus oli myös pienempi soodakattilan oikealla puolella.
-

LIITE II

Minuuttisondi – Loppuyhteenveto

Niklas Vähä-Savo, Mikko Hupa, Patrik Yrjas, Åbo Akademi

Minuuttisondi-projekti

Tiivistelmä

Mustalipeän poltossa syntyy hiukkasia jotka tarttuvat savukaasujen virtaukseen ja muodostavat kerrostumia tulistimien ja konvektioputkien pinnalle. Näitä hiukkasia kutsutaan carry-over hiukkasiksi. Mittausmenetelmiä joita käytetään carry-over määrän mittaamiseen ja arviointiin ovat joko liian kalliita, epätarkkoja tai työläitä.

Tämän lopputyön tarkoitus oli kehittää mittausmenetelmä jossa käytetään jäähdyttämätöntä sondia jolla pystytään helposti arvioimaan hetkellinen carry-over määrä. Oletettiin hiukkasten osumatiheydellä ja määrällä olevan yhteys hetkelliseen carry-over määrään. Sondeina käytettiin 2 m pitkiä haponkestäviä teräsputkia. Jäähdyttämätön sondi (kutsutaan minuuttisondiksi) kalibroitiin käytetyn jäähdytetyn sondimenetelmän kanssa, jotta olisi mahdollista laskea carry-over määrä muodossa g/Nm^3 . Sopivat mittausajat vaihtelevat 10 ja 30 s välillä riippuen carry-over määrästä. Minuuttisondit kuvattiin ja osa kuvista analysoitiin ImageJ nimisellä ohjelmalla. ImageJ-ohjelmalla sai selville sondin pinnalle tarttuneiden osumien peittävyysasteen. Oletettiin että kaikki hiukkaset tarttuvat sondiin ja että päällekkäisiä osumia ei esiinny, mutta kun osumien peittävyysaste alkaa lähentyä 50 % alkaa myös päällekkäisten osumien määrä kasvamaan.

Johdanto

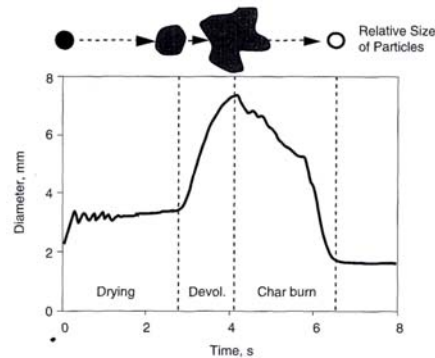
Kemiallisessa paperimassan valmistuksessa keitetään puuhake keittokemikaalien kanssa. Keittokemikaalia kutsutaan valkolipeäksi ja se kostuu natriumhydroksidista ja natriumsulfidista [1]. Keiton aikana noin 90 % ligniinistä, 60 % hemiselluloosasta ja 15 % selluloosasta liukenee keittokemikaaliin. Käytettyä keittokemikaalia kutsutaan keiton jälkeen mustalipeäksi. Mustalipeä sisältää käytetyn keittokemikaalin lisäksi puusta liuenneita orgaanisijayhdisteitä, sekä muita prosessiin kuulumattomia epäorgaanisia yhdisteitä jotka ovat peräisin puusta, käytetystä prosessivedestä tai käytetyistä laitteista [2]. Keiton jälkeen mustalipeä ja selluloosa eritellään. Keiton jälkeen mustalipeän kuiva-ainemäärä 12–20 % [3].

Mustalipeästä valmistetaan valkolipeää, jotta sitä voidaan käyttää uudelleen keittokemikaalina, kemikaalien talteenotossa. Kemikaalien talteenotto perustuu monesta yksiköstä joilla jokaisella on oma tehtävänsä valkolipeän valmistuksessa. Soodakattilan tehtävä on polttaa pois orgaaniset yhdisteet mustalipeästä. Ennen kuin mustalipeä voidaan polttaa, väkevöitetään se haihduttamalla vettä pois. Mustalipeän kuiva-ainemäärä ennen polttoa tarvitsee olla vähintään 60 %. Ennen ruiskutusta soodakattilaan sekoitetaan mustalipeään lentotuhkaa esilämmittimistä sekä tuhkaa sähkösuotimesta. Mustalipeä ruiskutetaan soodakattilaan lipeäruiskuilla joita voi olla yksi kappale yhdellä seinällä tai useampi kappale jokaisella seinällä ja jopa eri tasoilla.

Mustalipeän palaminen ja carry-over hiukkasten muodostuminen

Lipeäruisku muodostaa mustalipeästä laajan verhomaisen alan joka rikkoutuu erikokoisiksi mustalipeäpisaroiksi. Hupa et al. [4] tutkivat mustalipeän kolmea eri polttovaihetta: kuivuminen, pyrolyysi ja koksipalaminen. Kuivumisen aikana mustalipeäpisanan halkaisija kasvaa hieman ja kuivumisvaiheen lopussa pisanan lämpötila on noin 200 °C. Jo kuivumisvaiheen lopussa helposti haihtuvat kaasut alkavat haihtua. Pyrolyysin aikana mustalipeäpisara paisuu huomattavasti ja palaa

näkyvällä liekillä kun helposti haihtuvat kaasut palavat. Mustalipeäpisanan lämpötila nousee noin 800 °C pyrolyysin aikana. Koksipalamisen aikana mustalipeäpisara kutistuu ja lämpötila nousee yli 1000 °C. Koksipalamisen jälkeen on mustalipeäpisarasta jäljellä epäorgaaninen sulapisara.



Kuva 1. Mustalipeäpisanan (kuiva-ainemäärän 60 %) eri palamisvaiheet 800 °C ilmassa [4].

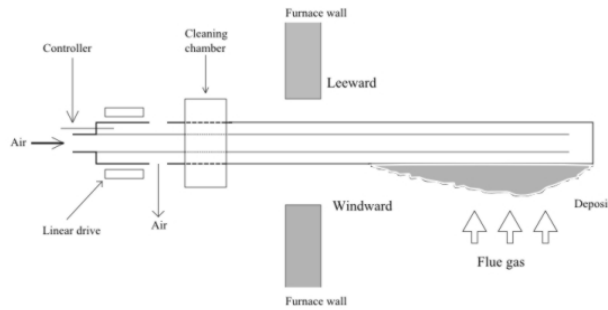
Mustalipeäpisanan koko vaikuttaa se missä palamisvaiheessa pisarat yltää kekoon. Isot pisarat voivat jo kuivumisvaiheessa yltää kekoon kun taas pienet pisarat voivat yltää kekoon sulassa muodossa. Mustalipeäpisarot, varsinkin pienet, voivat tarttua savukaasujenvirtaukseen (kutsutaan carry-over hiukkasiksi) ja muodostavat kerrostumia lämmönjohtimien pinnoille [5]. Etummaisten tulistimien pinnoille muodostuu 10–15 mm paksuisia kerrostumia. Kerrostumat eivät kasva paksummiksi koska savukaasujen lämpötila etummaisten tulistimien kohdalla on niin korkea, että kerrostumien pinnat alkavat sulaa ja valuvat pois. Savukaasujen lämpötila takimmaisten tulistimien ja kovektioputkien kohdalla on laskenut niin paljon että kerrostumat voivat kasvaa niin kauan kunnes alue tukkeutuu. Kerrostumat poistetaan lämmönjohtimien pinnoilta puhaltamalla korkeapaineista vesihöyryä lämmönjohtimien pinnoille (tätä kutsutaan nuohoamiseksi).

Carry-over määrän mittaaminen/arviointi

Carry-over määrä voidaan arvioida monella eri tavalla mutta tarkka mittaaminen on sitäkin hankalampaa. Teollisuudessa carry-over määrän arvioidaan prosessidatasta joka antaa tietoa kerrostumien paksuuksista lämmönjohtimien pinnoilla. Kerrostumien paksuus voidaan arvioida esimerkiksi mittaamalla savukaasujen lämpötila ennen tulistimia ja tulistimien jälkeen. Lämpötilan nousu tulistimien jälkeen voi viitata siihen että tulistimien pinnoille on muodostunut kerrostumia, joka toimii eristävänä kerroksena. Savukaasujen lämpötilaa on vaikea mitata koska yleensä mittauspisteitä on liian vähän. Paine-eron kasvu ennen tulistimia ja tulistimien jälkeen antaa myös tietoa kerrostumien kasvusta. Paine johtuu savukaasujen virtaustilavuudesta joka taas johtuu mm. ruiskutettavan lipeän määrästä, lipeän kuiva-aine määrästä ja käytettävän polttoilman määrästä. Yleensä paine-ero saavuttaa tietyn vakaan eron ja vasta kun tulistin alue tukkeentuu paine-ero kasvaa suureksi. Yksinkertaisin ja tehokkain menetelmä on mitata tulistimissa muodostuvan tulistetun höyryn lämpötila ja kuinka paljon tulistettuun höyryyn lisätään vettä jotta höyrynlämpötila ja höyrynvirtaus olisivat tasaiset [6,7].

Reeve et al. [8] valmistivat Sootprobe™ sondin jolla on mahdollista arvioida kerrostumien kasvunopeuden lämmönjohtimien pinnoilla. Sootprobe™ on ilmajäähdytteinen sondi jonka sisällä on antureita jotka mittaavat lämmönjohtavuutta. Sondin tuulipuolelle muodostuu carry-over kerrostumia kun taas sondin suojapuoli pysyy suhteellisen puhtaana. Carry-over kerrostumat heikentävät lämmönjohtavuutta. Suurempi ero suoja- ja tuulipuolen lämmönjohtavuudessa tarkoittaa paksumpaa

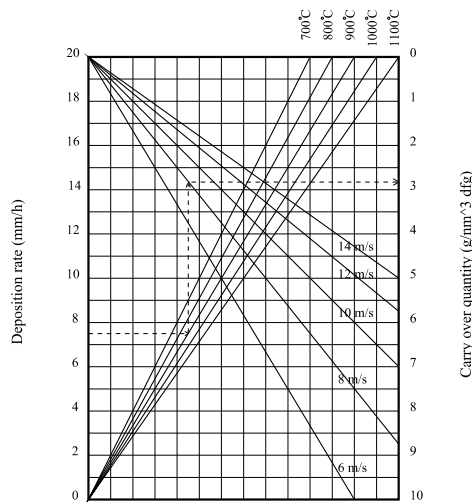
kerrostumaa. Sondi on yleensä kalibroitu niin että tietty ero lämmönjohtavuudessa vastaa tiettyä kerrostumapaksuutta. Sondi tarvitsee puhdistaa tietyin aikavälein ja myös kalibroida uudestaan (Kuva 2).



Kuva 2. Sootprobe™.

Infrapunakameroita voidaan myös käyttää kerrostumien paksuuksien ja carry-over määrän arvioimiseen. Esimerkiksi niin sanottua kipinä-kameraa käytetään carry-over määrän arviointiin. Kamera rekisteröi hiukkaset jotka lentävät sen linssin ohi. Ongelma on että kamera havaitsee vain hiukkaset joiden lämpötila on korkeampi kuin taustasäteilyn, joka tarkoittaa sitä että kamera ei rekisteröi kaikkia hiukkasia. Infrapunakamerat tarvitsevat myös jäähdytystä jotta ne toimivat ja linssin pitää pysyä puhtaana [9]. Koska infrapunakameroiden koot pienenevät on tutkittu myös mahdollisuutta asentaa infrapunakameran nuohoimiin, näin saataisiin kunnon kuvaa kerrostumista lämmönjohtimien pinnalta ja nähtäisiin nuohouksen toimivuus [10]. Tulevaisuudessa kun kuvien analysointiohjelmat paranevat on mahdollista infrapunakameran kuvista saada selville kerrostumien paksuudet.

Ilmajäähdytteinen sondi toimii samalla periaatteella kuin sootprobe™, mutta kerrostuman paksuus mitataan manuaalisesti, joka tekee ilmajäähdytteisestä sondista työlämmän menetelmän carry-over määrän mittaamiseen kun sootprobe™. Ilmajäähdytteisen sondin pinnalta mitataan kerrostuman kasvunopeus muodossa mm/h [11]. Kerrostuman kasvunopeudesta on mahdollista laskea carry-overin pitoisuus, muodossa g/Nm³, joko polttiainen-analyysillä tai Backman et al.[12] suunnittelemalla monogrammilla (Kuva 3). Monogrammin käytössä tarvitaan tosin arvio savukaasujen lämpötilasta ja savukaasujen nopeudesta.



Kuva 3. Monogrammi carry-over pitoisuuden arviointiin.

Kokeellinen suoritus

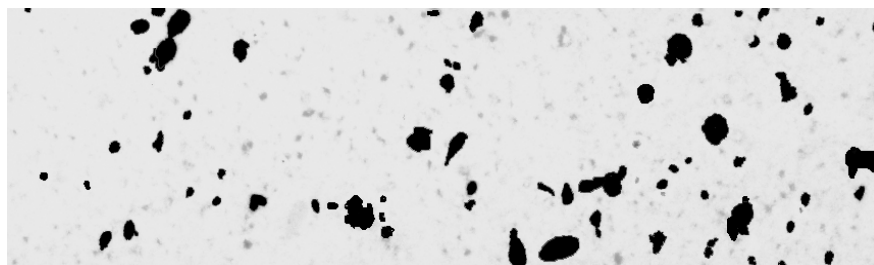
Projektin tavoite oli kalibroida ilmajäähdytetty sondi jäähdyttämättömän minuuttisondin kanssa. Tarkoituksena oli että tulevaisuudessa minuuttisondin pintaa verrattaisiin valmistettuun kuvasarjaan ja tämän perusteella voidaan carry-over määrä arvioida. Mittaukset suoritettiin siten että yhden ilmajäähdytetyn sondimittauksen aikana suoritettiin neljä kpl minuuttisondimittauksia. Mittauksissa käytettiin 20 s mittausaikaa minuuttisondille ja ilmajäähdytteisellä sondilla mittausaika vaihteli 15–40 min. Minuuttisondi mittaukset suoritettiin siten että ensimmäinen sondi työnnettiin kattilan sisälle samanaikaisesti kuin ilmajäähdytetty sondi, kaksi sondia tasaisin väli ajoin ilmajäähdytetyn sondin mittauksen aikana ja viimeinen minuuttisondi juuri ennen kuin ilmajäähdytetty sondi otettiin pois. Sondit olivat mahdollisimman lähellä toisiaan mittauksen aikana, jotta saatiin luotettavia kalibrointi tuloksia. Mittausten jälkeen minuuttisondit valokuvattiin Pentax K-10 kameralla jossa oli Pentax DA 1:4(22) ED-AL objektiivi. Minuuttisondit kuvattiin myös 5 x 3 cm raamin kanssa, jotta saatiin pixeli/mm suhde selville. Tasaiset sarjat (4 kpl minuuttisondia) analysoitiin kuvananalysointi ohjelmalla.

Mittaukset suoritettiin kolmessa soodakattilassa syksyllä 2008 ja keväällä 2009. Tarkoituksena oli että olisi kolme erityyppistä kattilaa joissa carry-over määrä vaihtelee sekä kattilaa ajettaisiin eri ajomallien mukaan jotta saataisiin mahdollisimman paljon vaihtelua carry-over määrään. Mutta maailmantalouden huonojen ennusteiden takia tehtailla oli tuotantorajoituksia ja kattiloita ajettiin pienellä kapasiteetillä.

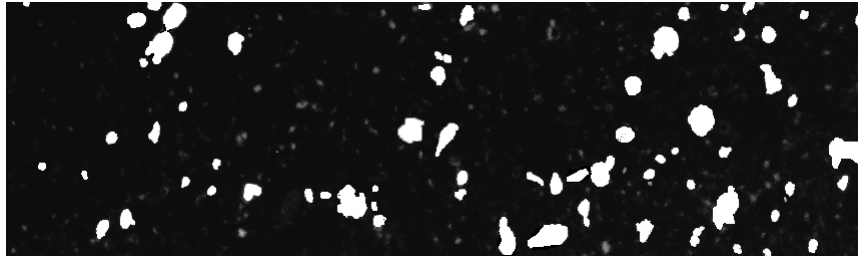
Valokuvat analysoitiin ImageJ nimisellä ohjelmalla, jotta osumien peittävyysaste saatiin selville. ImageJ-ohjelma pystyy analysoimaan vain musta-valkoisia kuvia, jouduttiin käyttämään toista kuvankäsittelyohjelmaa jotta kuvat saataisiin musta-valkoisiksi. 5 x 3 cm alue leikattiin pienemmäksi, 3 x 1cm, jotta analysointi sujui nopeammin. Kuvasta ensimmäiseksi muutettiin kontrastia, että osumat erottuisivat paremmin taustasta. Taustaväri kuvassa oli yleensä harmaansävyinen mikä aiheutti että, osumat joiden väri oli lähellä taustan väriä, katosivat. Nämä osumat jouduttiin käsittelemään yksitellen (Kuvat 5-7).



Kuva 5. 3 x 1 cm:n analyysialue.

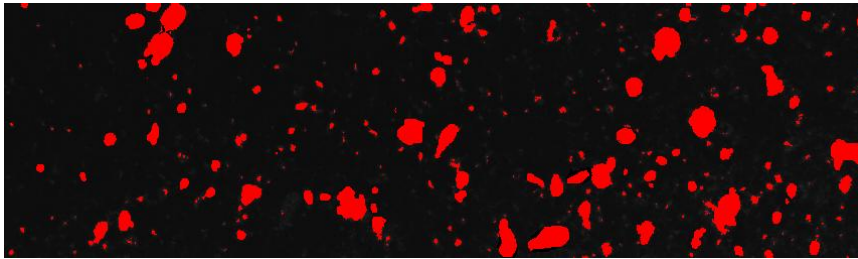


Kuva 6. Analyysialueen kontrasti ja kirkkaus säädetty sekä osa osumista käsitelty.



Kuva 7. Kuva väriskaala käännetty, jotta analysointi olisi helpompaa.

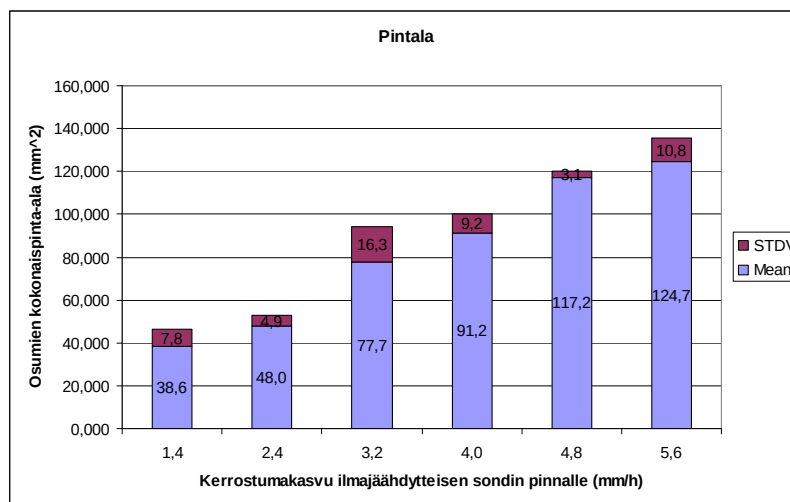
ImageJ:llä voi valita mitkä alueet ovat osumia ja mitkä taustaa sekä voi myös syöttää ohjelmalle pixel/mm suhteen niin on mahdollista saada selville yksittäisen osuman pinta-ala sekä ympärysmitta. Näissä kuva-analyyseissä käytettiin reunaehtoa että pienempiä osumia kuin $0,02 \text{ mm}^2$ ei analysoitu, koska yksittäiset pixelit ovat taustakohinaa (Kuva 8).



Kuva 8. Punaiset alueet analysoitu ImageJ:llä.

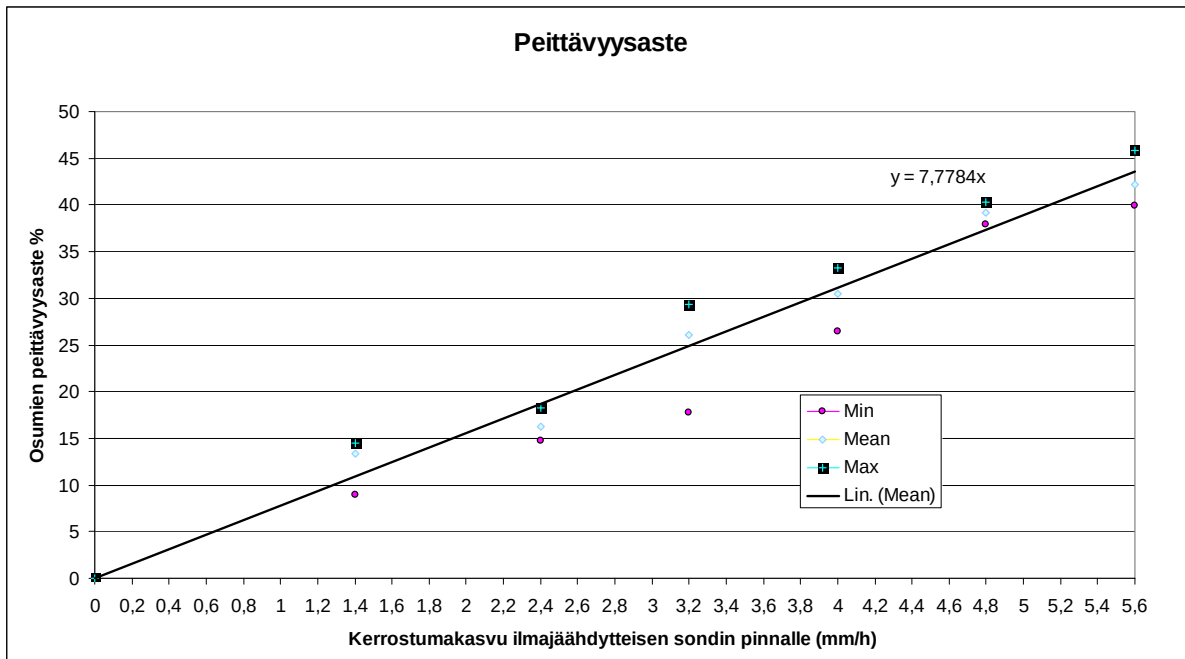
Tulokset

Visuaalisella tarkistuksella valittiin tasaiset sarjat ja ne analysoitiin ImageJ-ohjelmalla. Oletettiin että kaikki osumat tarttuvat minuuttisondin pinnalle, päällekkäisiä osumia ei esiinny ja että savukaasujen virtaus ja carry-over määrän on tasainen sillä alueella jossa mittaukset suoritettiin. Minuuttisondit jotka vastaavat 1,4 mm/h, 2,4 mm/h, 3,2 mm/h, 4,0 mm/h, 4,8 mm/h ja 5,6 mm/h analysoitiin.



Kuva 9. Kaikkien osumien pinta-alan keskiarvo ja keskihajonta.

Kuvasta 9 huomaa että kun carry-over määrä kasvaa, kasvaa myös osumien kokonaispinta-ala. Keskihajonta suurus tarkoittaa kuinka paljon carry-over määrä vaihtelee lyhyessä ajassa (10-40min). Osumien pinta-ala laskettiin peittävyysasteeksi (tämä oli mahdollista koska analyysi-alueen ala oli 300 mm²).



Kuva 10. Osumien peittävyysaste.

Kuvan 10 lisättiin trendiviiva joka seuraa peittävyysasteen keskiarvoa. Trendiviivan avulla pystytään arvioimaan carry-over määrä minuuttisondin ulkonäön perusteella. Mittauksissa käytettiin 20 s mittausaikaa, joilla kuva 10 on saatu aikaiseksi. Mutta koska osumien määrällä ja mittausajalla on lineaarinen yhteys, voidaan kuva 10 käyttää myös muilla mittausajoilla kuin 20 s. Seuraavalla kaavalla voidaan laskea eri minuuttisondin mittausajoille kuinka suurta kerrostumakasvua minuuttisondin ulkonäkö vastaa:

$$\text{kerrostumakasvu}[\text{mm/h}] = \frac{\text{peittävyysaste}[\%] \cdot 20\text{s}}{7,7784 \cdot \text{mittausaika}[\text{s}]}$$

Carry-over määrä laskettiin myös muotoon g/Nm³, ilmajähdytteisen sondin kerrostumakasvusta. Koska carry-over pitoisuuden muotoon g/Nm³ laskemisessa tarvitaan kerrostuman tilavuus, voidaan minuuttisondin peittävyysasteesta laskea myös carry-over pitoisuus jos osumille pystytään arvioimaan paksuus. Carry-over pitoisuuden laskemissa sondien tulosten perusteella oletettiin seuraavanlainen prosessidata:

Taulukko 1: Oletettu prosessidata

	määrä	yksikkö
Lutinsprutning	30	l/s
Kuiva-aine määrä	80,4	%
Lipeän tiheys	1,4326	kg/dm ³
O ₂ savukaasuissa	2,28	vol-%
Lipeän koostumus		
C	38,2	paino-%
H	3,4	paino-%
O	31,1	paino-%
N	0,1	paino-%
S	5,2	paino-%
Na	19,8	paino-%
K	1,9	paino-%
Cl	0,1	paino-%
Loput	0,2	paino-%
carry-overin tiheys	2600	kg/m ³
Pinta-ala nokan kohdalla	6,5m x 12,5m=81,25	m ²

Oletettiin että savukaasut koostuu ainoastaan CO₂, O₂, N₂ ja H₂O sekä ylimääräinen polttoilma koostuu ainoastaan 20 % O₂ ja 80 % N₂. Sula koostuu K(kalium), Cl(kloori), NaCO₃ (natriumkarbonaatti) ja N₂S (natriumsulfidi). Oletettiin että natrium reagoi kaiken sulfidin kanssa että muodostuu natriumsulfidia, loput natriumista reagoi hiilen ja hapen kanssa muodostaen natriumkarbonaattia. Polttoilmamäärä lasketaan kuinka paljon happea tarvitaan natriumkarbonaattiin, hiilidioksidiin, veteen sekä kuinka paljon happea on jäljellä savukaasuissa. Kun savukaasujen virtaus kmol/s muodossa on tiedossa, on mahdollista laskea kaasujen yleisen tilayhtälön (NTP oloissa) avulla savukaasujen virtaus m³/s.

Koska kerrostumankasvunopeus on muodossa mm/h ja kun oletetaan että koko nokan alueella on yhtä suuri kerrostumanopeus saadaan kerrostumakasvunopeus muotoon tilavuus/aikayksikkö ja kun tiedetään carry-overin tiheys voidaan laskea carry-over määrä paino/aikayksikkö muotoon. Tämä kun jaetaan savukaasujen virtauksen kanssa saadaan carry-over pitoisuus g/Nm³.

Minuuttisondin peittävyysasteen perustella carry-over pitoisuuden laskemisessa oletettiin että nokan-alue peittyy peittävyysasteen verran osumista ja osumille arvioitiin keskipaksuus. Näin saatiin tilavuus/aika yksikkömuotoon minuuttisondin peittävyysaste. Sen jälkeen laskettiin carry-over pitoisuus samalla proseduurilla kuin ilmajäähdytteisen sondin kanssa. Verrattaessa carry-over pitoisuutta, joka laskettiin minuuttisondilla sekä ilmajäähdytteisellä sondilla, oli mahdollista iteroida minuuttisondin osumille keskipaksuus. Osumien keskipaksuudeksi saatiin 0,0714 mm.

Kalibrointi kuvasarja:

Kalibrointi kuvasarjaa valmistaessa käytettiin kuvia joiden peittävyysaste on lähellä kuva 10:n trendiviivaa. Samaa prosessidataa kun taulukko 10:ssa käytettiin sekä samoja oletuksia lipeänpoltosta. Lipeän ruiskutusmäärää vaihdeltiin 15 – 50 l/s ja lämpötila asetettiin 900 °C.



Kuva 11. Kuvan peittävyysaste 10 %.

Taulukko 2. Carry-over pitoisuus laskettu kuva 11 peittävyysasteen perusteella (10 %) joka vastaa 1,2 mm/h kasvua ilmajäähdytteen sondin pinnalle

Lämpötila (Celsius)	Lipeäruiskutus (l/s)								g/Nm ³
	15	20	25	30	35	40	45	50	
900	1,0	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	



Kuva 12. Kuvan peittävyysaste 20 %.

Taulukko 3. Carry-over pitoisuus laskettu kuva 12 peittävyysasteen perusteella (20 %) joka vastaa 2,4 mm/h kasvua ilmajäähdytteen sondin pinnalle

Lämpötila (Celsius)	Lipeäruiskutus (l/s)								g/Nm ³
	15	20	25	30	35	40	45	50	
900	1,9	1,5	1,2	1,0	0,8	0,7	0,6	0,6	



Kuva 13. Kuvan peittävyysaste 33 %.

Taulukko 4. Carry-over pitoisuus laskettu kuva 13 peittävyysasteen perusteella (33 %) joka vastaa 3,7 mm/h kasvua ilmajäähdytteisen sondin pinnalle

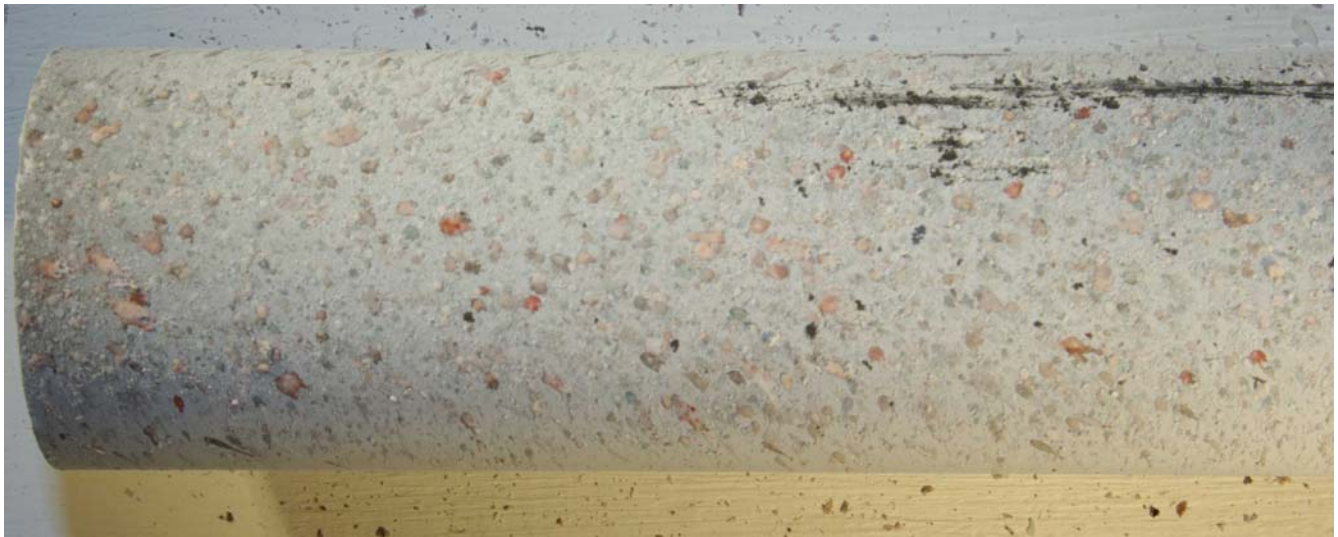
Lämpötila (Celsius)	Lipeäruiskutus (l/s)								g/Nm ³
	15	20	25	30	35	40	45	50	
900	3,0	2,3	1,8	1,5	1,3	1,1	1,0	0,9	



Kuva 14. Kuvan peittävyysaste 33 %.

Taulukko 5. Carry-over pitoisuus laskettu kuva 14 peittävyysasteen perusteella (33 %) joka vastaa 4,2 mm/h kasvua ilmajäähdytteisen sondin pinnalle

Lämpötila (Celsius)	Lipeäruiskutus (l/s)								g/Nm ³
	15	20	25	30	35	40	45	50	
900	3,4	2,6	2,1	1,7	1,5	1,3	1,1	1,0	



Kuva 15. Kuvan peittävyysaste 38 %.

Taulukko 6. Carry-over pitoisuus laskettu kuva 15 peittävyysasteen perusteella (38 %) joka vastaa 4,8 mm/h kasvua ilmajäähdysteisen sondin pinnalle

Lämpötila (Celsius)	Lipeäruiskutus (l/s)								g/Nm ³
	15	20	25	30	35	40	45	50	
900	4,0	3,0	2,4	2,0	1,7	1,5	1,3	1,2	



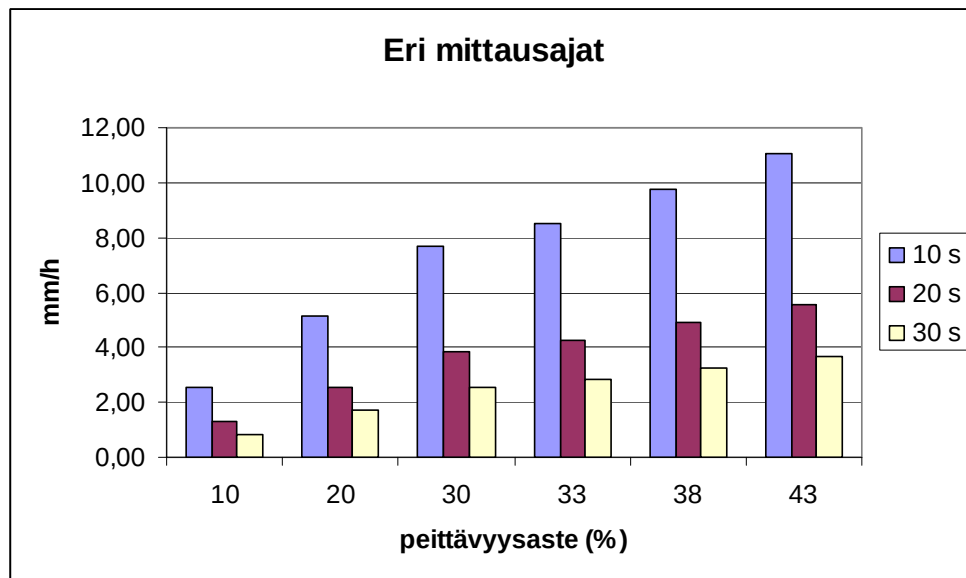
Kuva 16. Kuvan peittävyysaste 43%.

Taulukko 7. Carry-over pitoisuus laskettu kuva 16 peittävyysasteen perusteella (43 %) joka vastaa 5,5 mm/h kasvua ilmajäähdysteisen sondin pinnalle

Lämpötila (Celsius)	Lipeäruiskutus (l/s)								g/Nm ³
	15	20	25	30	35	40	45	50	
900	4,5	3,4	2,7	2,3	1,9	1,7	1,5	1,4	

Loppupäätelmä

Minuuttisondi on hyvä ja nopea menetelmä carry-over määrän arviointiin. Onnistuttiin valmistamaan kalibroitikuvasarja minuuttisondille jotta on mahdollista arvioida (saada selville) kerrostumakasvunopeus ja myös mahdollista laskea carry-over pitoisuus g/Nm^3 , minuuttisondin ulkonäön perusteella, mutta siihen tarvitsee arvioida osuille keskipaksuus. Mittausaikaa on mahdollista vaihdella 10 s ja 30 s välillä, soodakattilan carry-over määrästä riippuen. Pidempää kun 30 s mittausaikaa ei suositella koska savukaasujen korkealämpötila saattaa aiheuttaa että osumat sulavat ja sondin pintaa ei voida analysoida. Käyttämällä kuvasarjaa ja vaihtelemalla mittausaikaa 10, 20 tai 30 s voidaan seuraavanlaisia kerrostumakasvuja havaita.



Kuva 16. Eri mittausajat ja niiden kerrostumakasvut.

Käytännössä pystytään nykyisellä minuuttisondin kalibroitikuvasarjan avulla havaitsemaan kerrostumakasvunopeutta joka vaihtelee noin 1 mm/h aina noin 11 mm/h (Kuva 16).

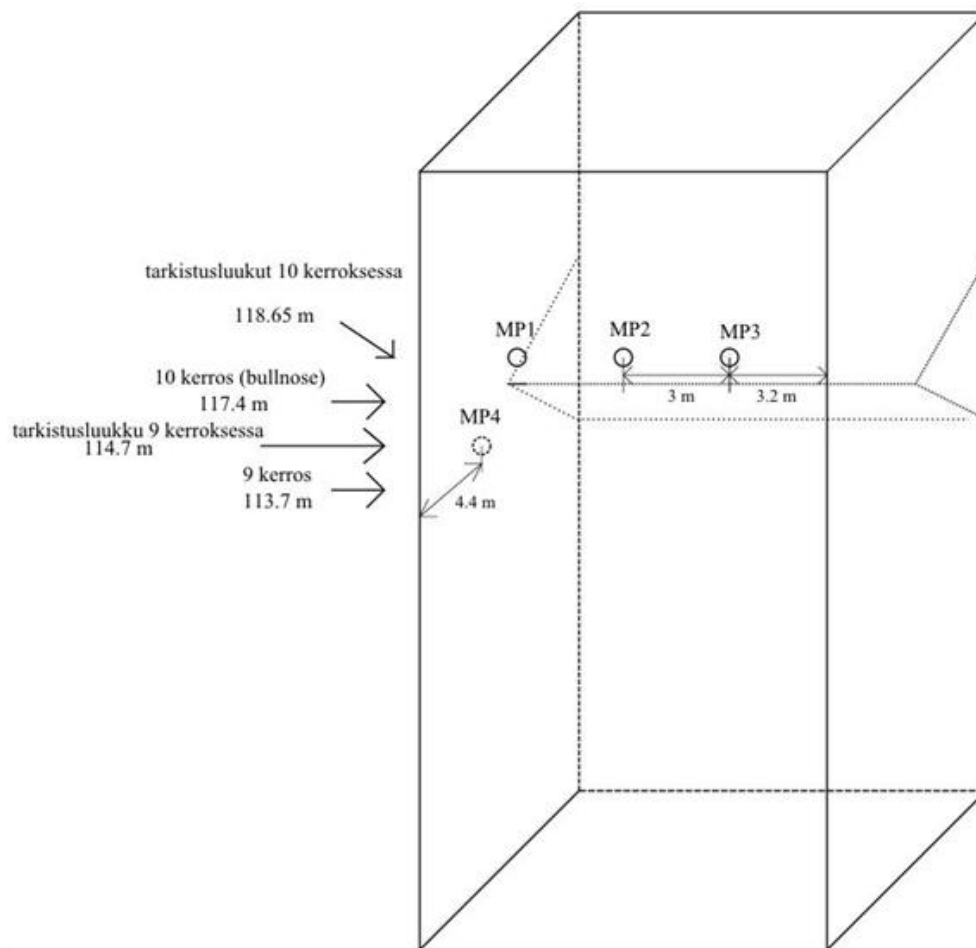
Minuuttisondi kuvista on myös mahdollista saada arvokasta tietoa osumien kokojakaumasta, niin kauan kun päällekkäisiä osumia ei esiinny. Kun peittävyysaste nousee yli 45 % alkaa päällekkäisien osumien määrä kasvamaan mikä vaikeuttaa huomattavasti kuvien analysointia. Kuvien analysointi on aikaa vievää ja koska ImageJ-ohjelma ymmärtää vain mustavalkoisia kuvia joudutaan kuvia käsittelemään kuvankäsittelyohjelmalla. Ongelma kuvankäsittelyssä on että osa osumista katoaa ja osumien koko saattaa vaihdella alkuperäisestä. Minuuttisondilla saadaan hetkellinen carry-over määrä, kun taas ilmajähdytteisellä sondilla saadaan pidemmän aikavälin keskiarvo. Useamman sondin käytöllä saisi tarkempaa tietoa peittävyysasteen vaihtelusta yhden ilmajähdytteisen sondimittauksen aikana, käytännössä monen sondin käyttö on työlästä. Myös paremmalla kuvananalysointi ohjelmalla saisi tarkempia tuloksia osumien peittävyysasteesta, mutta kuinka hyvin kalliit kaupalliset ohjelmat toimivat on eri asia koska tausta ei aina ole täysin saman sävyinen ja osa osumista on lähellä taustan väriä, tämä luultavasti häiritsee kaupallisia ohjelmia.

Viitteet

1. Kovasin K: Cooking, The Heart of Pulp Manufacturing, Kurs i aktuell fiberteknologi 11.12.2007
2. Stenius P, editor. Papermaking Science and Technology: Book 3, Forest Products Chemistry. Jyväskylä: Gummerus 2000
3. Gullichsen Jn, Fogelholm C-J, editors: Papermaking Science and Technology: Book 6B, Chemical Pulping. Jyväskylä: Gummerus 2000
4. Hupa M, Solin P, Hyöty P: Combustion behaviour of black liquor droplets, Journal of pulp and paper science vol 13. no 2 March 1987.
5. Frederick W.J, Noopila T, Hupa M: Swelling of spent pulping liquor droplets during combustion.
6. Vakkilainen E K: Kraft Recovery Boilers – Principles and practice: Suomen Soodakattilayhdistys r.y. 2005
7. Tran H.N, Thompson S.L, Pryke D.C, Reeve D.W: On-line measurement of fireside deposit accumulation in kraft recovery boilers.
8. Tran H.N, D.C Pryke D.C, D.W Reeve D.W: Control of fireside deposit formation in kraft recovery units: Pulp & Paper Canada 87:12 (1986)
9. Brisco B, Nichol M, Blackwell B, Brevis K, MacCallum: Application of modern recovery boiler instrumentation. International Chemical Recovery Conference 1989
10. I&I Final Technical Report DE-FG36-01GO11038 System for detection and control of deposition in kraft recovery boilers and monitoring glass furnaces.
<http://www.osti.gov/bridge/servlets/purl/816034-d1fwNR/native/816034.doc>
11. Konttinen J, Veijonen T-P, Hupa M: The share of carry-over droplet residues at the furnace exit – probe measurement in nine recovery boilers
12. Backman R, Skrifvars B-J, Hupa M, Siistonen P, Mäntyniemi J: Flue gas chemistry in recovery boilers with high levels of chlorine and potassium. International Chemical Recovery Conference 1995

Mittaukset UPM-Kymmene Kymin tehtailla

12-13.5.2009 suoritettiin mittauksia Kymin tehtailla jossa varmennettiin minuuttisondin toimivuus carry-over määrä arvioivana välineenä. Mittauksia suoritettiin nokan tasolla (kolmesta tarkistusluukusta) ja 3,7 m nokan tason alapuolella yhdestä tarkistusluukusta. Varmennusmittaukset suoritettiin mittaamalla minuuttisondilla ja ilmajäähdytteisellä sondilla samanaikaisesti samasta tarkistusluukusta. Ilmajäähdytteisin sondin mittausaika oli 15 min jonka aikana suoritettiin 4 kpl 10 s tai 20 s, carry-over määrästä riippuen, minuuttisondi mittausta. Carry-over määrän vaihtelua eri kohdilla soodakattilaa tutkittiin suorittamalla minuuttisondi mittaukset kaikista neljästä tarkistusluukusta mahdollisimman samanaikaisesti. Soodakattilan kuorma oli ensimmäisen mittauspäivänä 3000 tonnia päivässä (kuiva-ainepitoisuus 100%) ja toisena mittauspäivänä 4500 tonnia päivässä.



Kuva 17. Mittauspaikat Kymin tehtailla.

Minuuttisondit valokuvattiin ja osa kuvista analysoitiin samalla tavalla kuin ”Kokeellinen suoritus” osiossa mainitaan jotta saatiin selville osumien peittävyysaste. Loput minuuttisondikuvista verrattiin kalibrintikuvasarjaan (osio ”Kalibrintikuvasarja”) jotta saatiin selville osumien peittävyysaste.

Tulokset

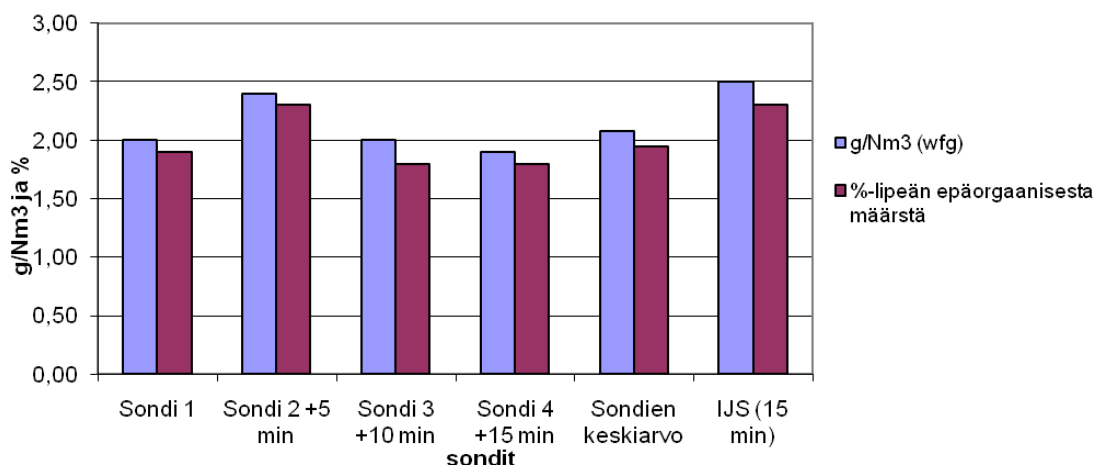
Minuuttisondin peittävyys asteesta sekä ilmajähdytteisen sondin kerrostuma kasvusta laskettiin carry-over määrä muodossa g/Nm^3 ja kuinka suuri osa mustalipeän epäorgaanisesta määrästä muodostaa carry-overia. Oletettiin että polttoilma koostumus on 80 % N_2 ja 20 % O_2 . Savukaasut koostuu ainoastaan O_2 , N_2 , H_2O sekä CO_2 . Oletettiin myös kaikki rikki (S) reagoi ja muodostaa Na_2SO_4 ja loput natriumista (Na) reagoi karbonaatin (CO_3) kanssa muodostaen Na_2CO_3 . Lipeän koostumus ja tiheys sekä carry-overin tiheys oletettiin olevan seuraavanlainen:

Taulukko 8. Lipeän koostumus ja tiheys sekä carry-overin tiheys

Lipeän koostumus		
C	38,2	paino-%
H	3,4	paino-%
O	31,1	paino-%
N	0,1	paino-%
S	5,2	paino-%
Na	19,8	paino-%
K	1,9	paino-%
Cl	0,1	paino-%
Rest	0,2	paino-%
Lipeän tiheys	1,4834	kg/dm ³
carry-overin tiheys	2600	kg/m ³
Pinta-ala nokan kohdalla	98	m ²

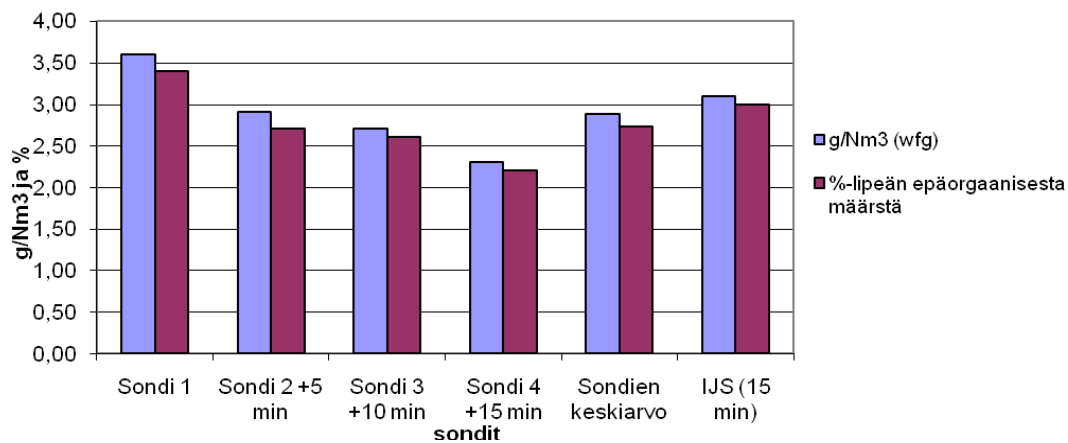
Carry-over määrä laskettiin samalla tavalla kuin ”Tulokset” osiossa. Kuvissa 18- 25 nähdään carry-over muodossa g/Nm^3 sekä kuinka suuri osa mustalipeän epäorgaanisesta määrästä muodostaa carry-overia laskettuna ilmajähdytteisen sondin (IJS) kerrostumakasvunopeudesta ja minuuttisondin partikkeliosumien peittävyysasteesta. Samanaikaiset mittaukset suoritettiin keskimmaisessä tarkistusluukussa (MP2 kuvassa 17). Mittauksen aloituskellonaika näkyy kaavion otsikosta. Ensimmäinen minuuttisondi mittaus suoritettiin juuri ennen kuin ilmajähdytteisen sondin mittaus alkoi. Kaksi kappaletta minuuttisondimittauksista suoritettiin samanaikaisesti ilmajähdytteisen sondimittauksen kanssa. Viimeinen minuuttisondimittaus suoritettiin heti sen jälkeen kun ilmajähdytteinen sondi oli otettu pois.

Kalibrointimittaus 12.5.09 12:25



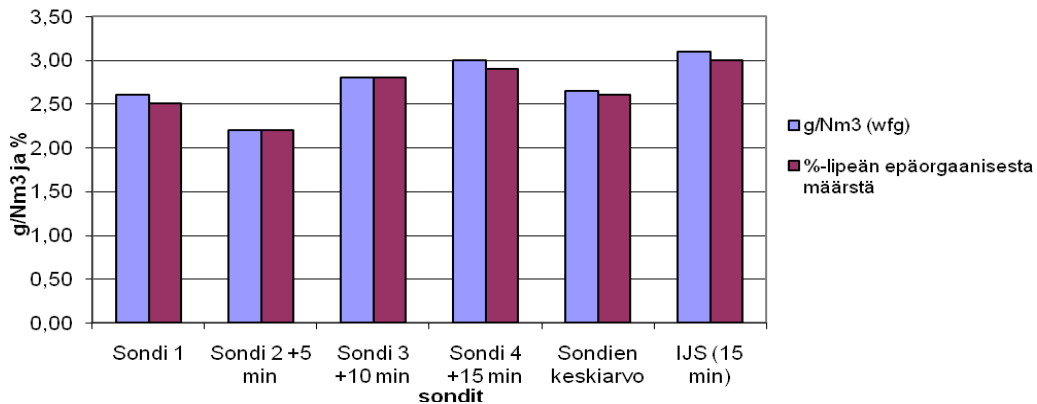
Kuva 18. Samanaikainen mittaus minuuttisondilla ja ilmajähdytteisellä sondilla.

Kalibrointimittaus 12.5.09 13:00



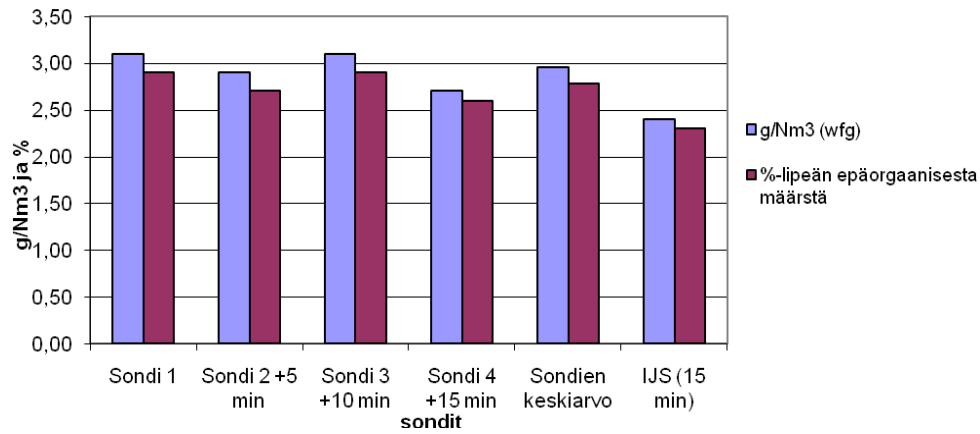
Kuva 19. Samanaikainen mittaus minuuttisondilla ja ilmajähdytteisellä sondilla.

Kalibrointimittaus 12.5.09 13:39



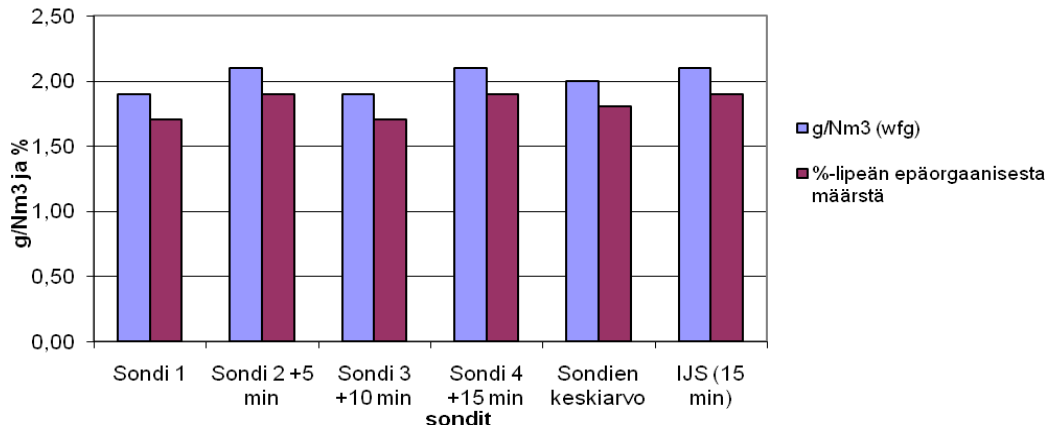
Kuva 20. Samanaikainen mittaus minuuttisondilla ja ilmajähdytteisellä sondilla.

Kalibrointimittaus 12.5.09 15:36



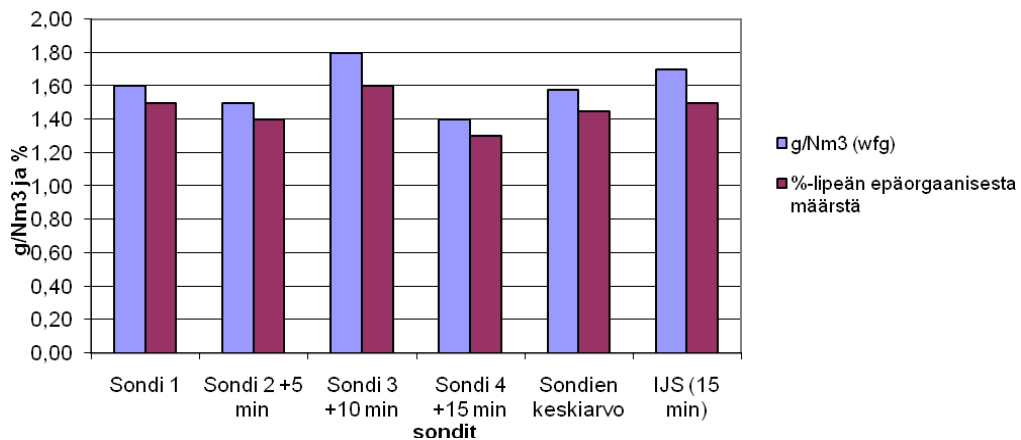
Kuva 21. Samanaikainen mittaus minuuttisondilla ja ilmajähdytteisellä sondilla.

Kalibrointimittaus 13.5.09 13:13

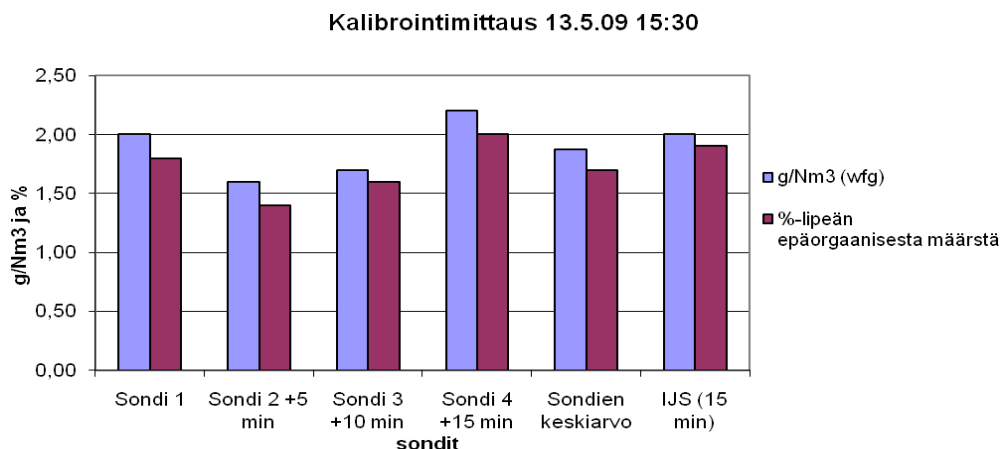


Kuva 22. Samanaikainen mittaus minuuttisondilla ja ilmajähdytteisellä sondilla.

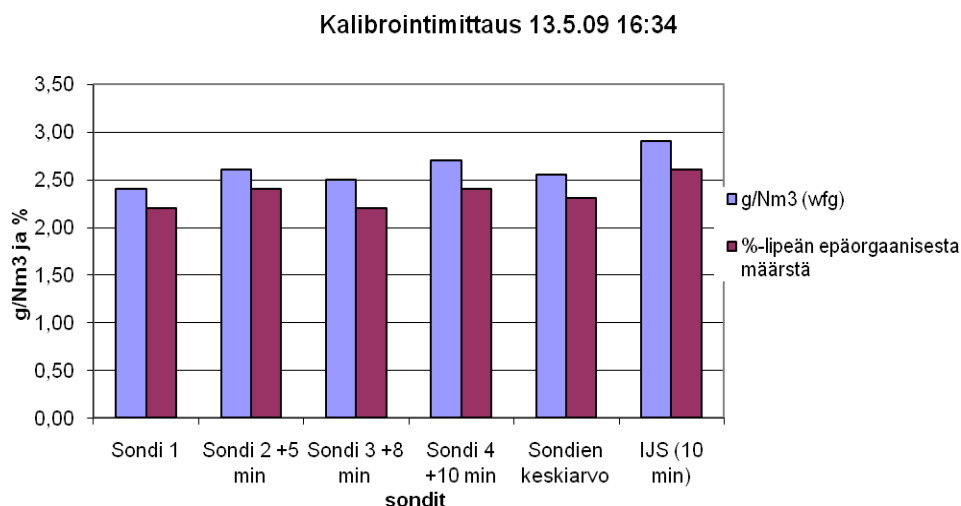
Kalibrointimittaus 13.5.09 14:54



Kuva 23. Samanaikainen mittaus minuuttisondilla ja ilmajähdytteisellä sondilla.



Kuva 24. Samanaikainen mittaus minuuttisondilla ja ilmajähdytteisellä sondilla.

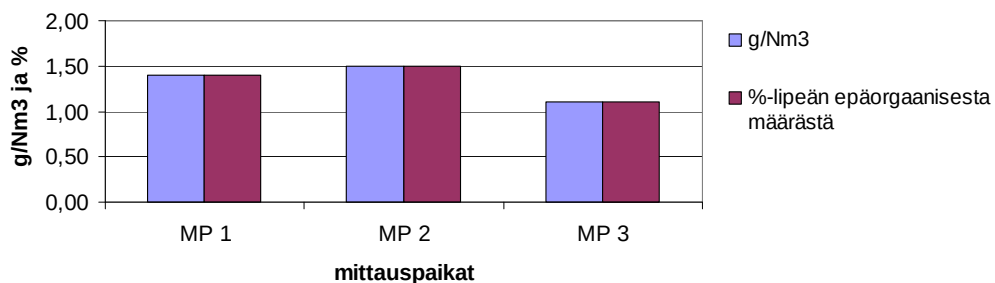


Kuva 25. Samanaikainen mittaus minuuttisondilla ja ilmajähdytteisellä sondilla.

Kuvista 15-25 huomaa selvästi että pientä vaihtelua löytyy minuuttisondin ja ilmajähdytteisen sondin tuloksista. Vaihtelu johtuu siitä että minuuttisondilla mitataan hetkellinen (10 tai 20 s) carry-over määrä kun taas ilmajähdytteisellä sondilla mitataan pidemmän ajan (15 min) keskiarvo carry-over määrästä. Toinen syy miksi vaihtelua löytyy, on että minuuttisondia verrataan kalibrointi kuva sarjaan visuaalisesti. Tämä aiheuttaa että osumien peittävyysaste arvioidaan silmämääräisesti, joten tarkkaa arvoa osumien peittävyysasteesta ei saada. Kaiken kaikkiaan minuuttisondi on yksinkertainen ja halpa väline carry-over määrän arvioimiseen.

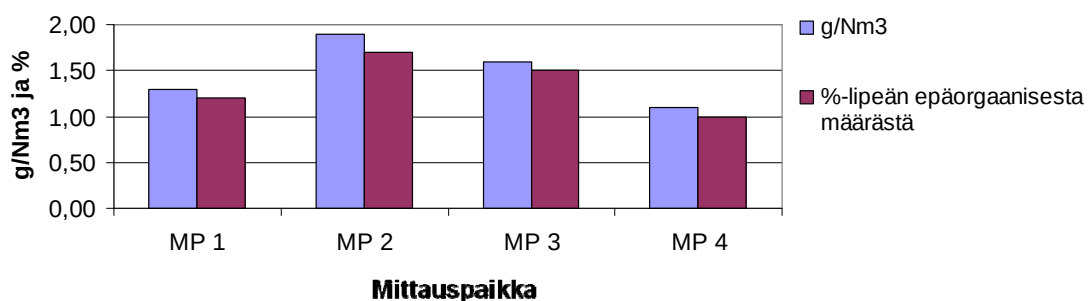
Kymissä mitattiin myös minuuttisondilla carry-over määrän vaihtelua eri kohdilla soodakattilaa. Ensimmäisenä päivänä suoritettiin yksi kappale mittaus jolla tukittiin carry-over määrän vaihtelua eri kohdilla soodakattilaa. Tämä mittaus suoritettiin nokantasolla olevissa kolmessa tarkistusluukussa. Toisena mittauspäivänä suoritettiin neljä kappaletta vertailumittausta mahdollisimman samanaikaisesti kaikissa neljässä mittauspisteessä.

Vertailumittaukset 12.5.09 16:41



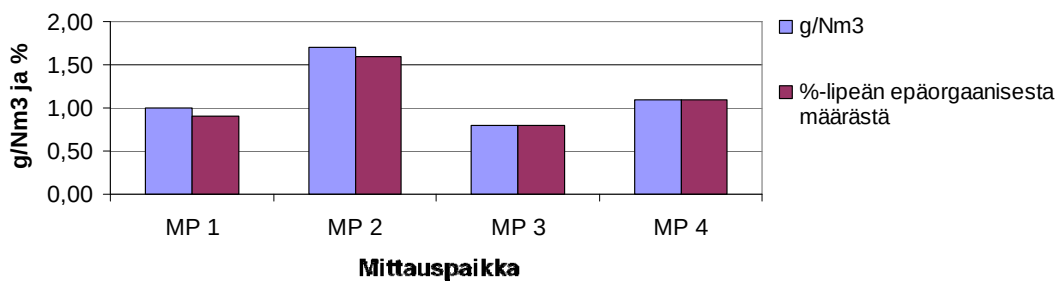
Kuva 26. Vertailumittaukset kolmesta mittauspaikasta minuuttisondilla.

Vertailumittaukset 13.5.09 13:53



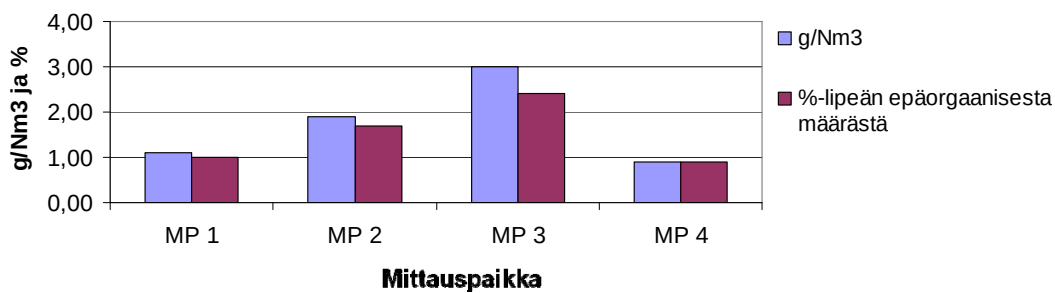
Kuva 27. Vertailumittaukset neljästä mittauspaikasta minuuttisondilla.

Vertailumittaukset 13.5.09 14:19

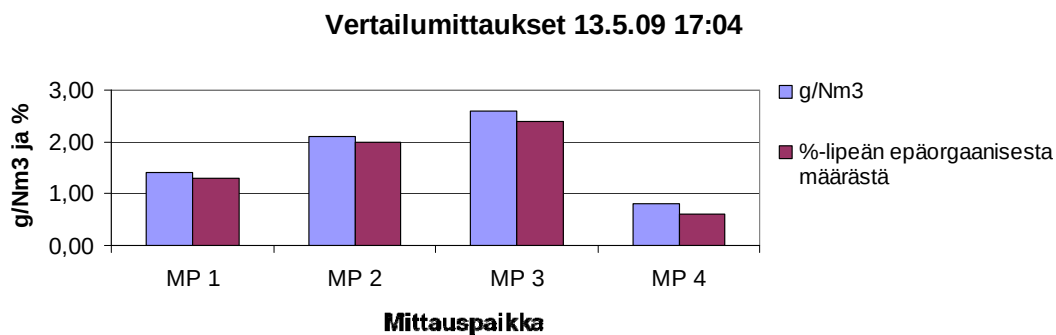


Kuva 28. Vertailumittaukset neljästä mittauspaikasta minuuttisondilla.

Vertailumittaukset 13.5.09 16:13



Kuva 29. Vertailumittaukset neljästä mittauspaikasta minuuttisondilla.



Kuva 30. Vertailumittaukset neljästä mittauspaikasta minuuttisondilla.

Minuuttisondia on mahdollista käyttää carry-over määrän vaihtelu mittaukseen eri kohdilla soodakattilaa. Toisena mittauspäivänä (kello 15 jälkeen) muodostui keko soodakattilan oikealle puolelle. Vertailumittauksissa huomattiin että carry-over määrä kasvoi kattilan oikealla puolella suuremmaksi luultavasti keon takia.

Liite A: Kymin mittauksen tulokset taulukkomuodossa

Kalibrointimittauksia MP2							
12.5.2009 12:25	Sondi 1	Sondi 2 +5 min	Sondi 3 +10 min	Sondi 4 +15 min	Sondien keskiarvo	IJS (15 min)	MS 20s
Peittävyysaste / mm/h	38,2 %	46,2 %	37,3 %	36,2 %	39,5 %	6 mm/h	CA
g/Nm3 (w fg)	2,00	2,40	2,00	1,90	2,08	2,50	
%-lipeän epäorgaanisesta määrästä	1,90	2,30	1,80	1,80	1,95	2,30	
12.5.2009 13:00	Sondi 1	Sondi 2 +5 min	Sondi 3 +10 min	Sondi 4 +15 min	Sondien keskiarvo	IJS (15 min)	MS 20s
Peittävyysaste / mm/h	70,0 %	55,0 %	52,0 %	45,0 %	55,5 %	7,6 mm/h	VI
g/Nm3 (w fg)	3,60	2,90	2,70	2,30	2,88	3,10	
%-lipeän epäorgaanisesta määrästä	3,40	2,70	2,60	2,20	2,73	3,00	
12.5.2009 13:39	Sondi 1	Sondi 2 +5 min	Sondi 3 +10 min	Sondi 4 +15 min	Sondien keskiarvo	IJS (15 min)	MS 10s
Peittävyysaste / mm/h	25,0 %	22,0 %	28,0 %	30,0 %	26,3 %	7,6 mm/h	VI
g/Nm3 (w fg)	2,60	2,20	2,80	3,00	2,65	3,10	
%-lipeän epäorgaanisesta määrästä	2,50	2,20	2,80	2,90	2,60	3,00	
12.5.2009 15:36	Sondi 1	Sondi 2 +5 min	Sondi 3 +10 min	Sondi 4 +15 min	Sondien keskiarvo	IJS (15 min)	MS 10s
Peittävyysaste / mm/h	32,0 %	30,0 %	32,0 %	28,0 %	30,5 %	6,4 mm/h	VI
g/Nm3 (w fg)	3,10	2,90	3,10	2,70	2,95	2,40	
%-lipeän epäorgaanisesta määrästä	2,90	2,70	2,90	2,60	2,78	2,30	
13.5.2009 13:13	Sondi 1	Sondi 2 +5 min	Sondi 3 +10 min	Sondi 4 +15 min	Sondien keskiarvo	IJS (15 min)	MS 10s
Peittävyysaste / mm/h	25,0 %	28,0 %	25,0 %	28,0 %	26,5 %	6,8 mm/h	VI
g/Nm3 (w fg)	1,90	2,10	1,90	2,10	2,00	2,10	
%-lipeän epäorgaanisesta määrästä	1,70	1,90	1,70	1,90	1,80	1,90	
13.5.2009 14:54	Sondi 1	Sondi 2 +5 min	Sondi 3 +10 min	Sondi 4 +15 min	Sondien keskiarvo	IJS (15 min)	MS 20s
Peittävyysaste / mm/h	42,0 %	40,0 %	46,0 %	38,0 %	41,5 %	5,6 mm/h	VI
g/Nm3 (w fg)	1,60	1,50	1,80	1,40	1,58	1,70	
%-lipeän epäorgaanisesta määrästä	1,50	1,40	1,60	1,30	1,45	1,50	
13.5.2009 15:30	Sondi 1	Sondi 2 +5 min	Sondi 3 +10 min	Sondi 4 +15 min	Sondien keskiarvo	IJS (15 min)	MS 20s
Peittävyysaste / mm/h	52,3 %	41,1 %	46,5 %	57,4 %	49,3 %	6,8 mm/h	CA
g/Nm3 (w fg)	2,00	1,60	1,70	2,20	1,88	2,00	
%-lipeän epäorgaanisesta määrästä	1,80	1,40	1,60	2,00	1,70	1,90	
13.5.2009 16:34	Sondi 1	Sondi 2 +5 min	Sondi 3 +8 min	Sondi 4 +10 min	Sondien keskiarvo	IJS (10 min)	MS 20s
Peittävyysaste / mm/h	65,0 %	70,0 %	65,0 %	70,0 %	67,5 %	9,6 mm/h	VI
g/Nm3 (w fg)	2,40	2,60	2,50	2,70	2,55	2,90	
%-lipeän epäorgaanisesta määrästä	2,20	2,40	2,20	2,40	2,30	2,60	

Lyhenteet:

MS = Minuuttisondi mittausaika 10 s tai 20 s

IJS = Ilmajäähdytteinen sondi (mittausaika)

CA = Computer Analyzed , peittävyysaste analysoitu tietokoneella

VI = Visual Inspection, peittävyysaste määritetty vertaamalla minuuttisondikuva kalibrointikuvasarjaan

12.5.2009 16:41	MP 1	MP 2	MP 3	MP 4	MS 20 s
Peittävyysaste	29,6 %	32,5 %	24,2 %		CA
g/Nm3 (w fg)	1,40	1,50	1,10		
%-lipeäruiskutuksesta	1,40	1,50	1,10		
13.5.2009 13:53	MP 1	MP 2	MP 3	MP 4	MS 10 s
Peittävyysaste	18,0 %	25,0 %	22,0 %	15,0 %	VI
g/Nm3 (w fg)	1,30	1,90	1,60	1,10	
%-lipeäruiskutuksesta	1,20	1,70	1,50	1,00	
13.5.2009 14:19	MP 1	MP 2	MP 3	MP 4	MS 20 s
Peittävyysaste	27,3 %	46,4 %	22,3 %	30,3 %	CA
g/Nm3 (w fg)	1,00	1,70	0,80	1,10	
%-lipeäruiskutuksesta	0,90	1,60	0,80	1,10	
13.5.2009 16:13	MP 1	MP 2	MP 3	MP 4	MS 20 s
Peittävyysaste	28,0 %	50,0 %	70,0 %	25,0 %	VI
g/Nm3 (w fg)	1,10	1,90	3,00	0,90	
%-lipeäruiskutuksesta	1,00	1,70	2,40	0,90	
13.5.2009 17:04	MP 1	MP 2	MP 3	MP 4	MS 10 s
Peittävyysaste	18,0 %	28,0 %	34,0 %	9,0 %	VI
g/Nm3 (w fg)	1,40	2,10	2,60	0,80	
%-lipeäruiskutuksesta	1,30	2,00	2,40	0,60	

MS = Minuuttisondi mittausaika 10 s tai 20 s

CA = Computer Analyzed , peittävyysaste analysoitu tietokoneella

VI = Visual Inspection, peittävyysaste määritetty vertaamalla minuuttisondikuvaa kalibrointikuvasarjaan

LIITE III

Co-firing Black Liquor and Biomass – Esitys

Niko DeMartini, ÅA



Co-firing black liquor and biomass- laboratory tests

Nikolai DeMartini
Esperanza Monedero*

*Instituto de Investigación en Energías Renovables, Albacete, Spain.

Experiments

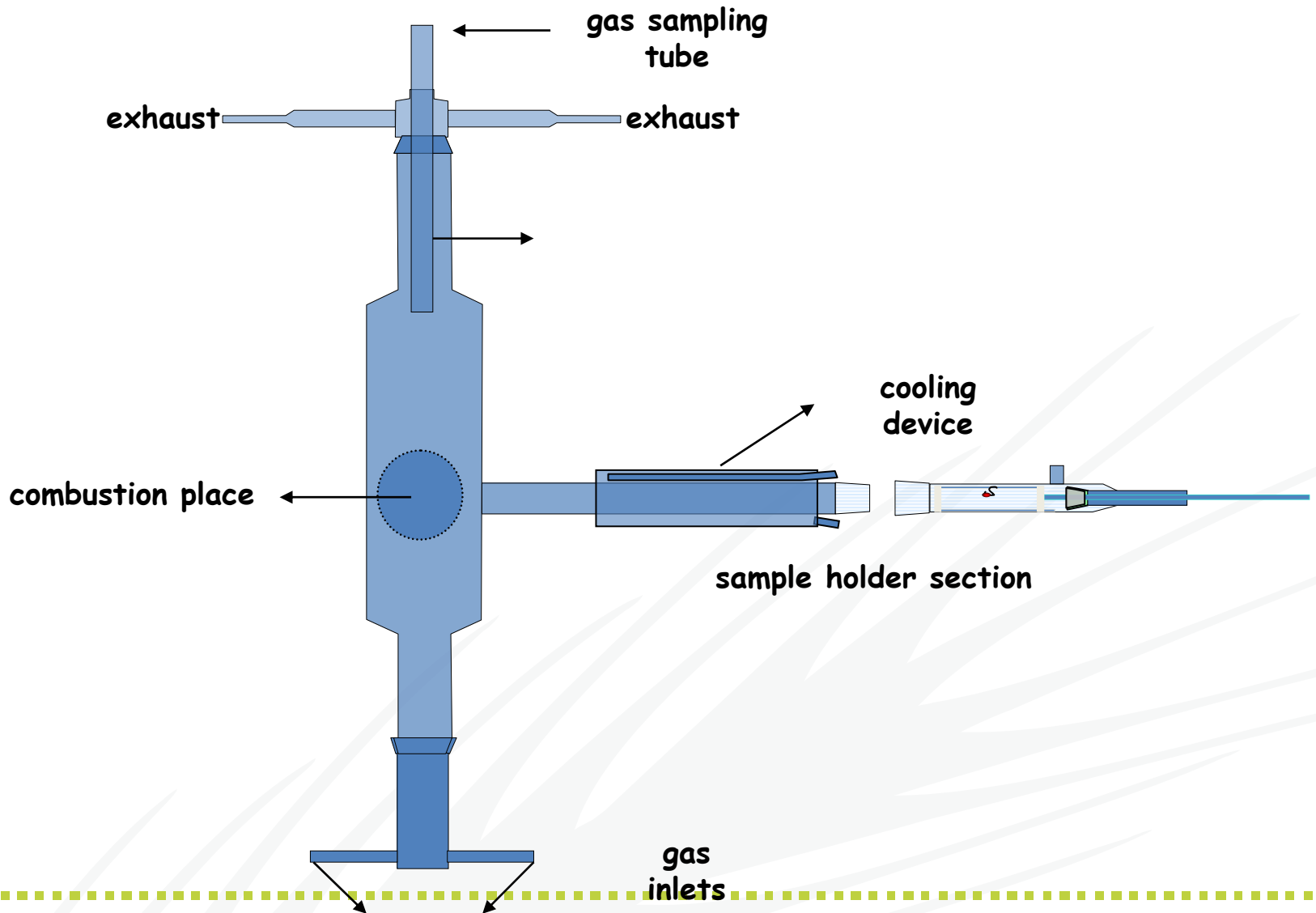
Conditions:

- 3% O₂
- 1100°C
- 6 repetitions for each run

Raw Fuels:

- BL: Finnish, softwood
 - Bark: particle size <1mm
 - Wood Chips: particle size =4 mm
 - Peat: particle size =powder
 - Bio-Sludge: predried sample
-

Droplet Furnace

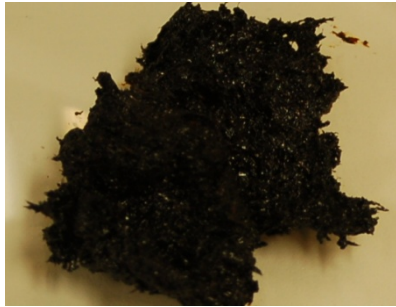


Tests performed

Sample	Dry Solids (wt %)	Mass Fraction Biomass (wt % d.s.)	Mixture (wt % d.s.)
Black Liquor	80,4		80,4
Bark	95,0	13,2 / 25,6	82,1 / 83,7
Wood Chips	95,9	13,3 / 26,9	82,2 / 84,1
Peat	94,2	13,3 / 25,5	82,0 / 83,5
Bio-sludge	21,9	0,82 / 1,84	78,7 / 76,6



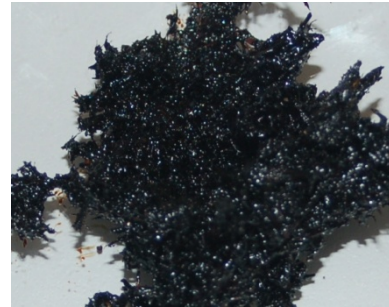
BL 468



BL + 13,2 %
Bark



BL + 25,6 %
Bark



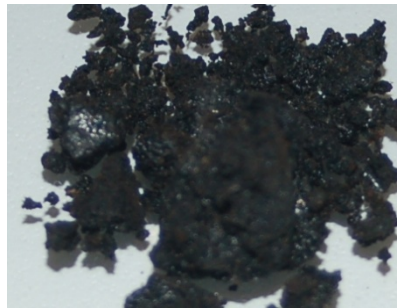
BL + 13,3 %
Wood Chips



BL + 26,9 %
Wood Chips



BL + 13,3 %
Peat



BL + 25,5 %
Peat

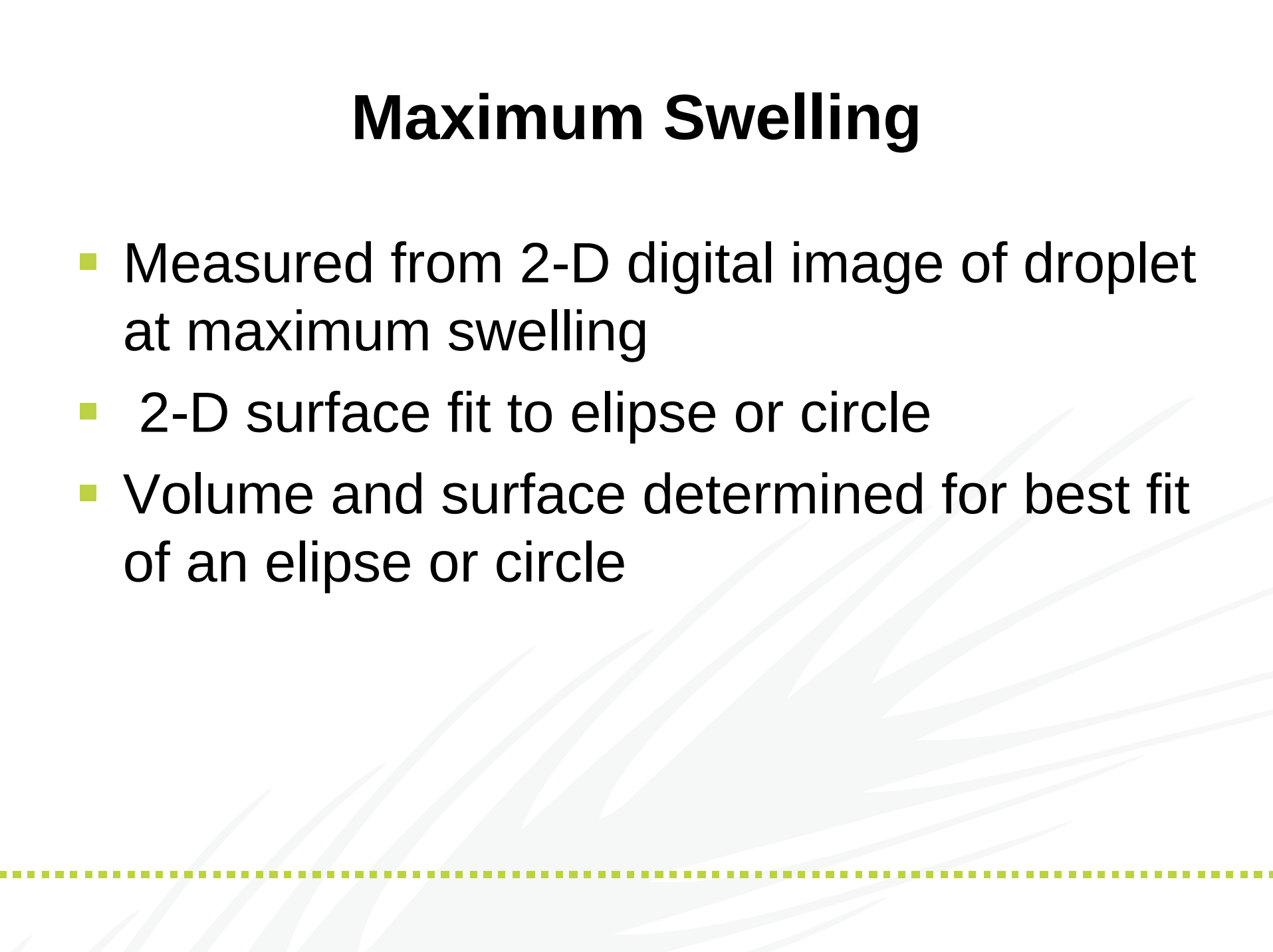


BL + 0,82 %
Bio-sludge

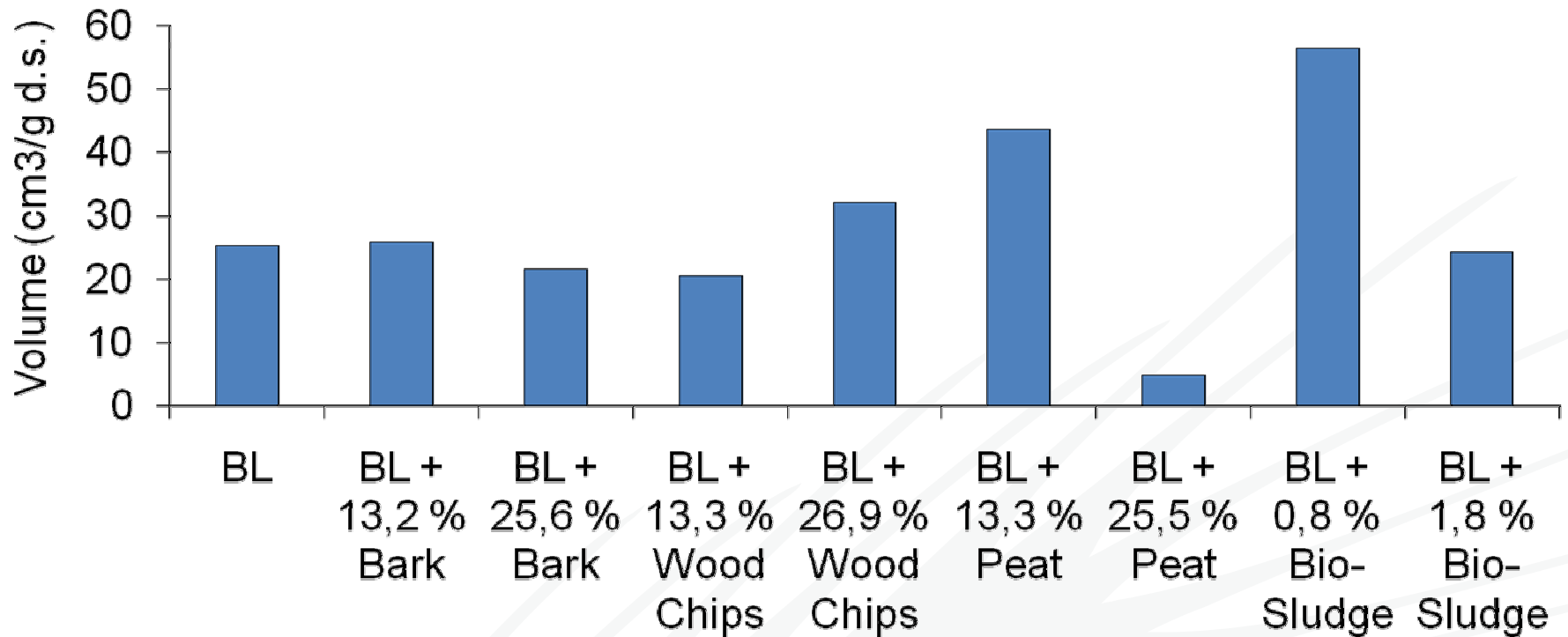


BL + 1,84 %
Bio-sludge

Maximum Swelling

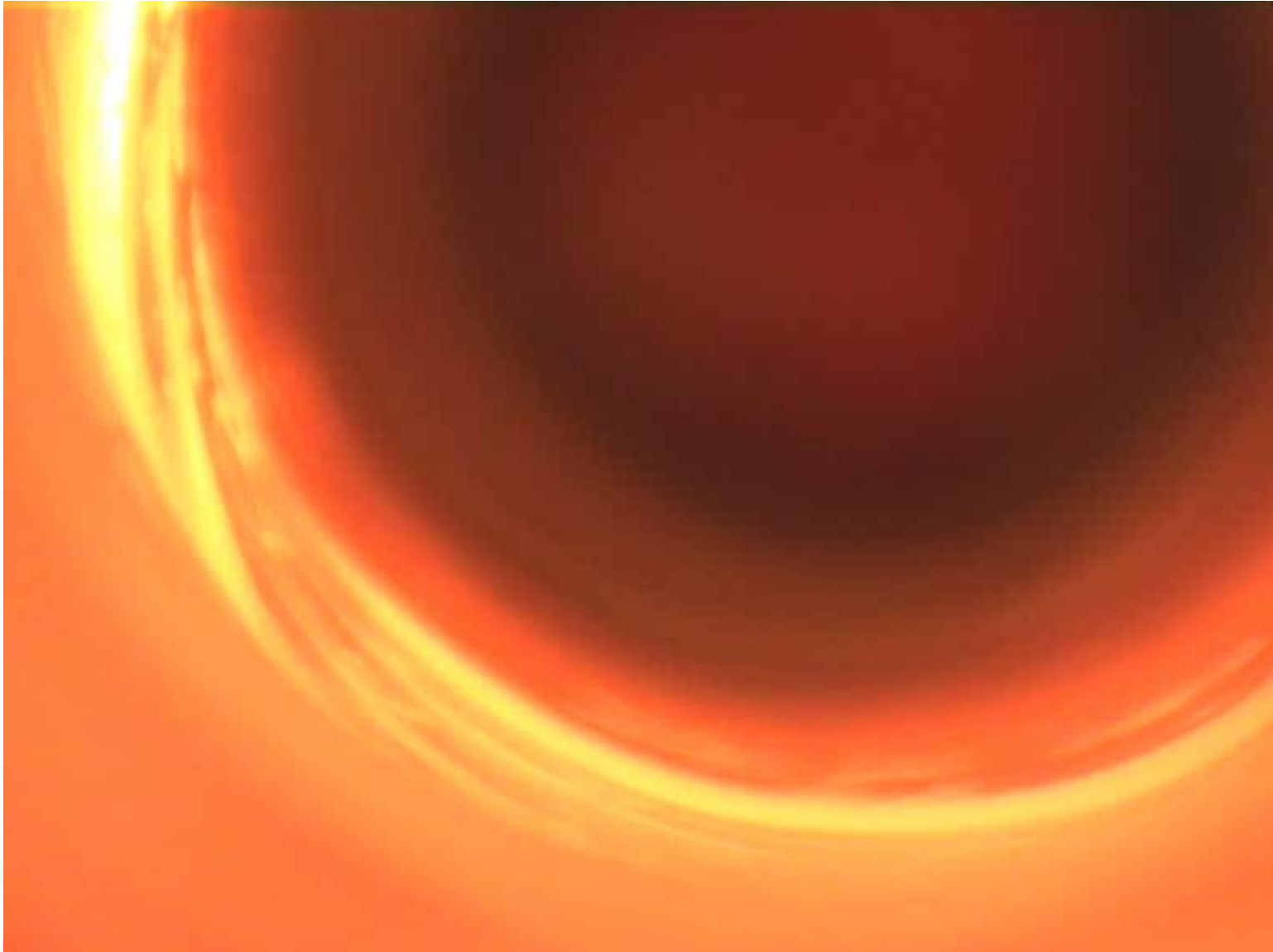
- Measured from 2-D digital image of droplet at maximum swelling
 - 2-D surface fit to ellipse or circle
 - Volume and surface determined for best fit of an ellipse or circle
- 

Average Maximum Swelling



Videos

1. BL
2. 13,3P
3. 25,5P
4. 0,8BS
5. 1,8BS

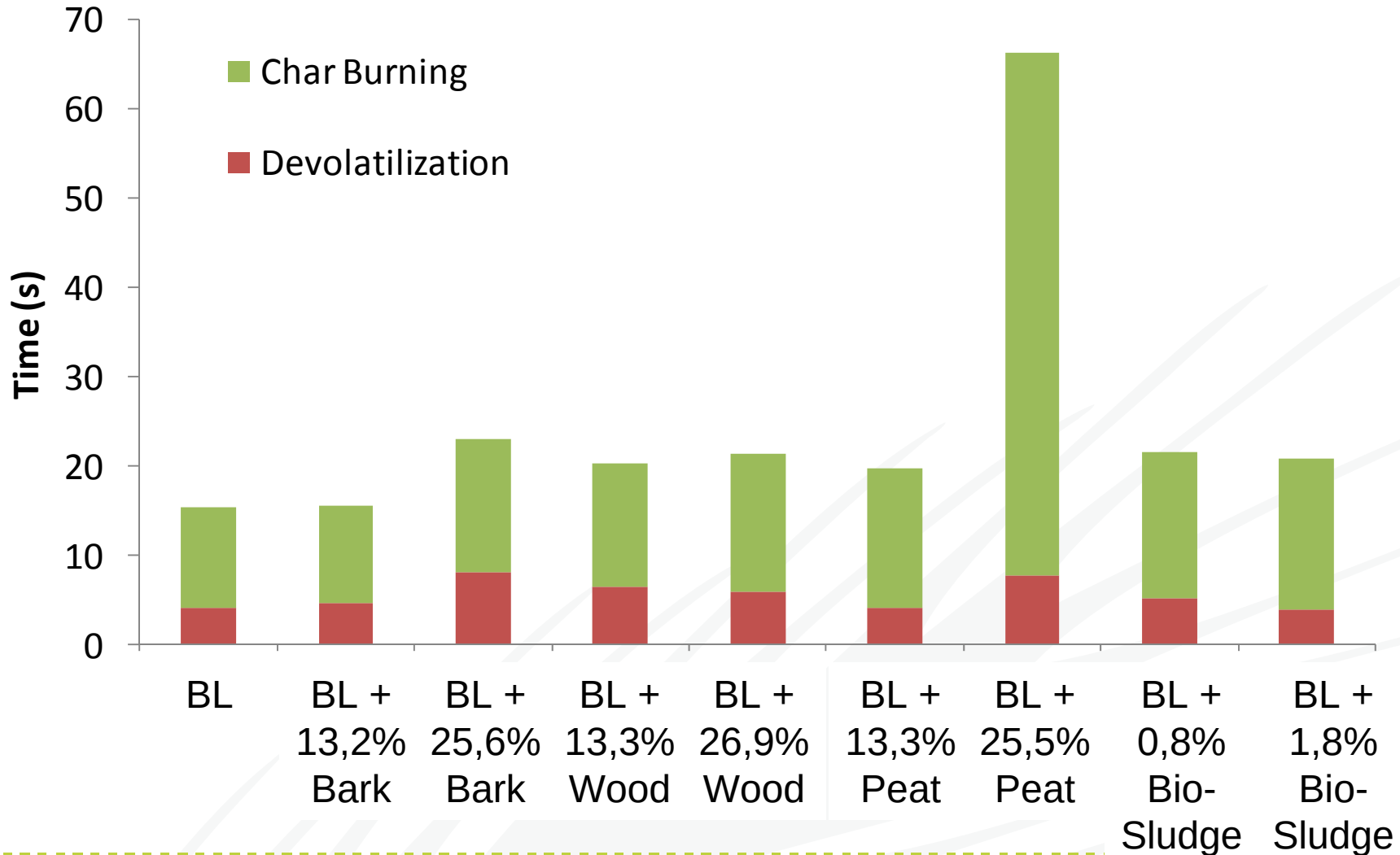


Duration of Combustion Stages

- Determined from droplet combustion videos
- Drying* – time between insertion and flame
- Devolatilization – time from beginning to end of flame
- Char burning – time from end of flame to char collapse

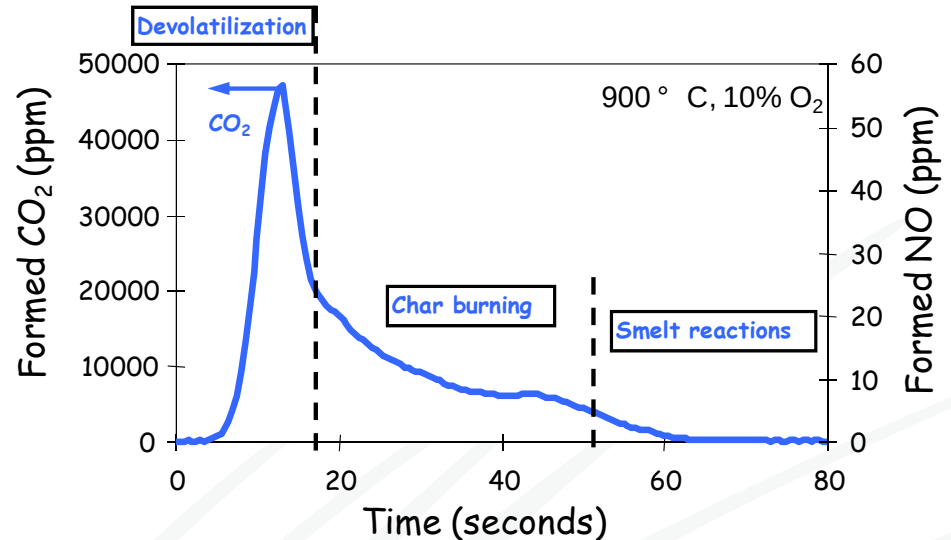
*Drying not reported as some drying occurred already before insertion due to high reactor temperature

Duration of Combustion Stages



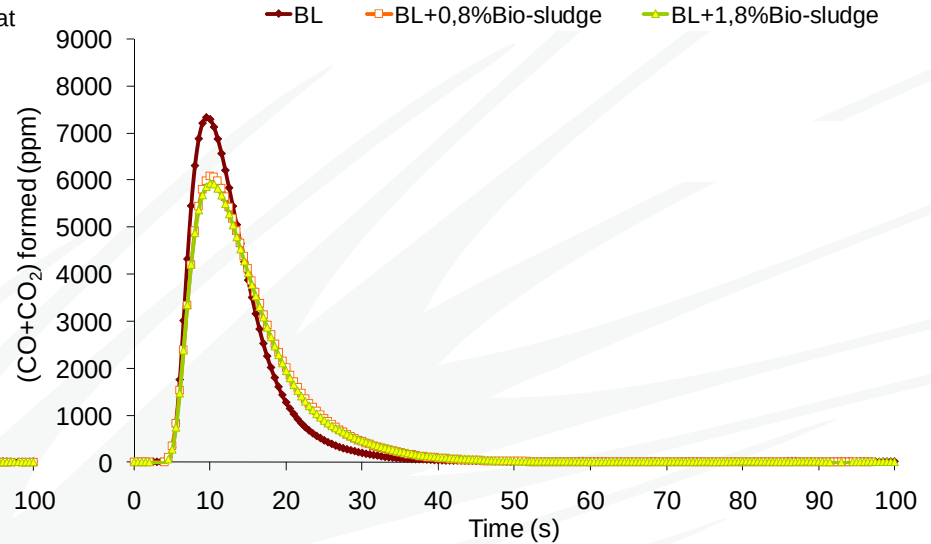
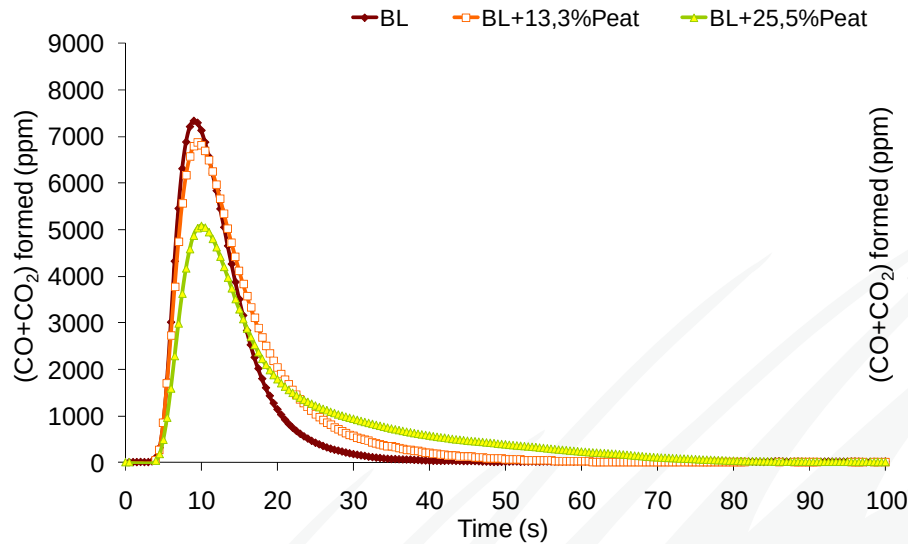
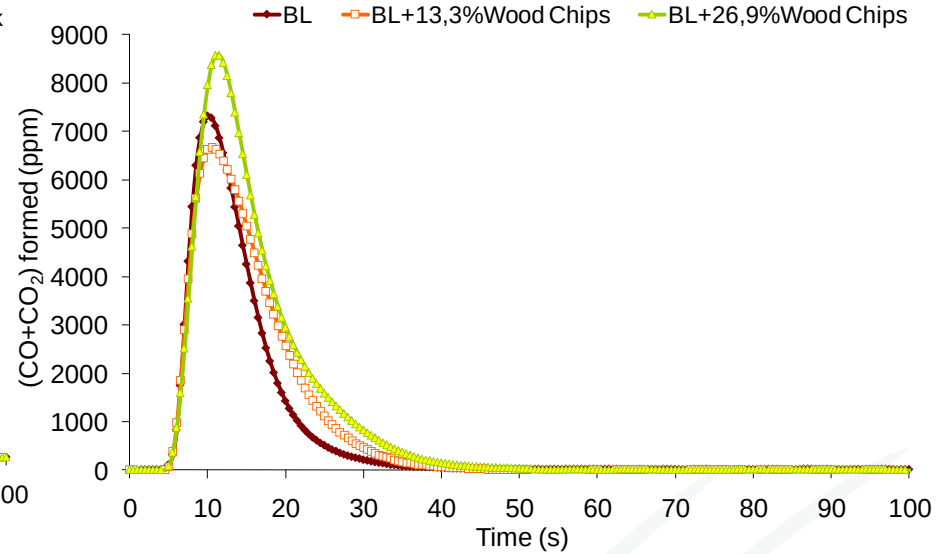
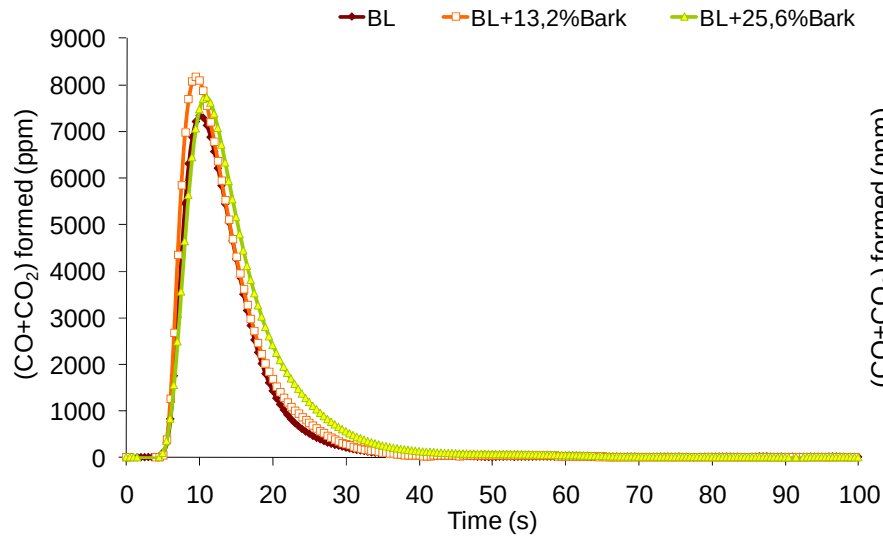
Carbon Release

- CO and CO₂ measured with on-line infrared analyzers
- CO and CO₂ release can be divided into devolatilization and char burning stages



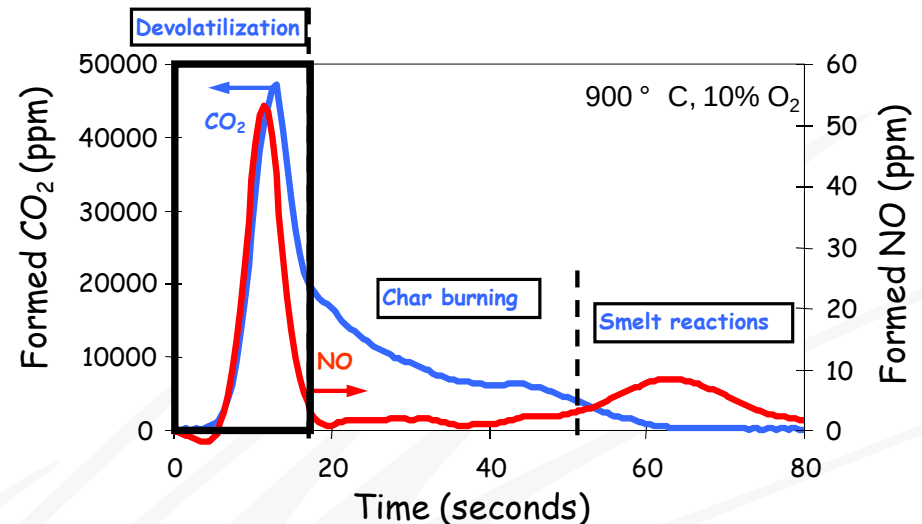
Forssén et al. 2001

Carbon Release Curves (CO+CO₂)



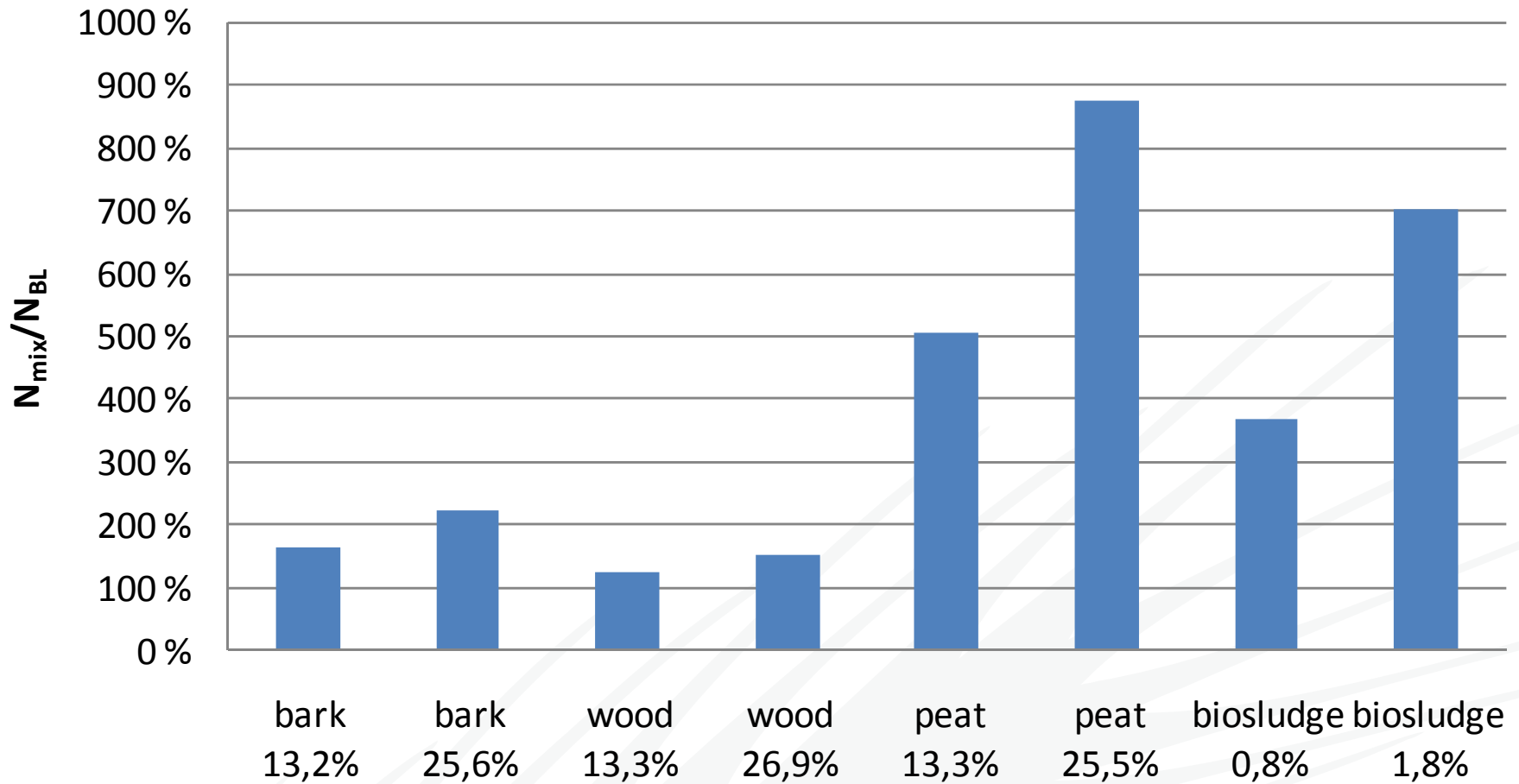
NO formation

- NO measured by an online chemiluminescence analyzer
- Below 900 °C, expect separate NO peaks for devolatilization and char burning stages
- Above 900 °C, there is overlap and only one peak in droplet tests



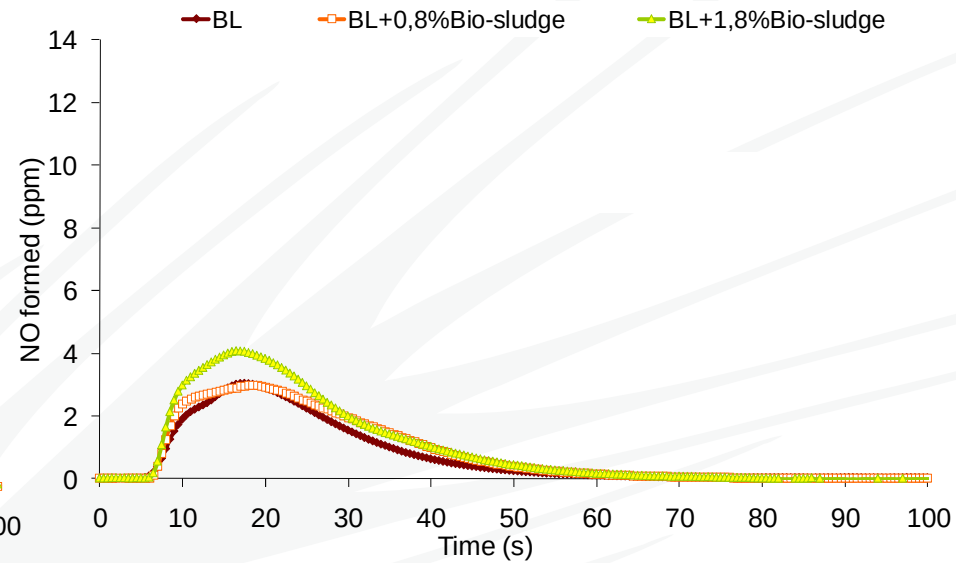
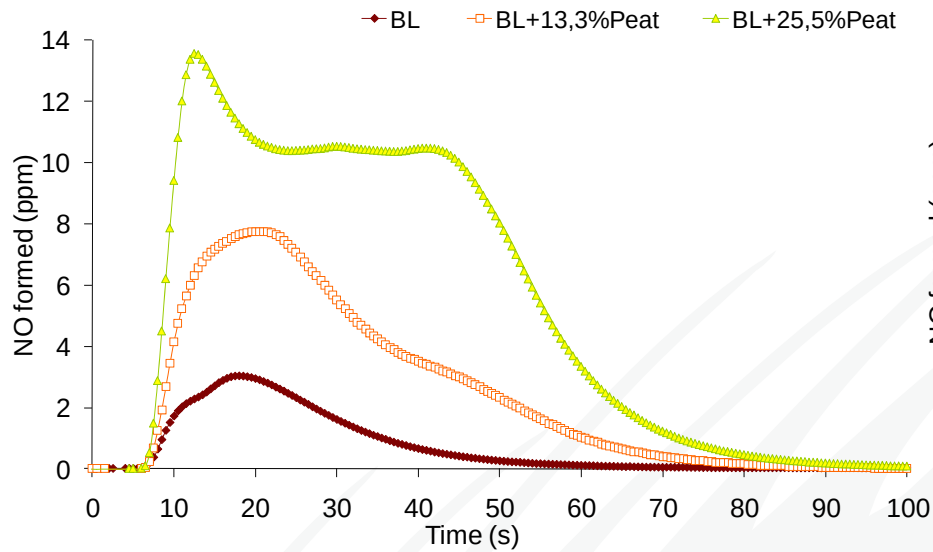
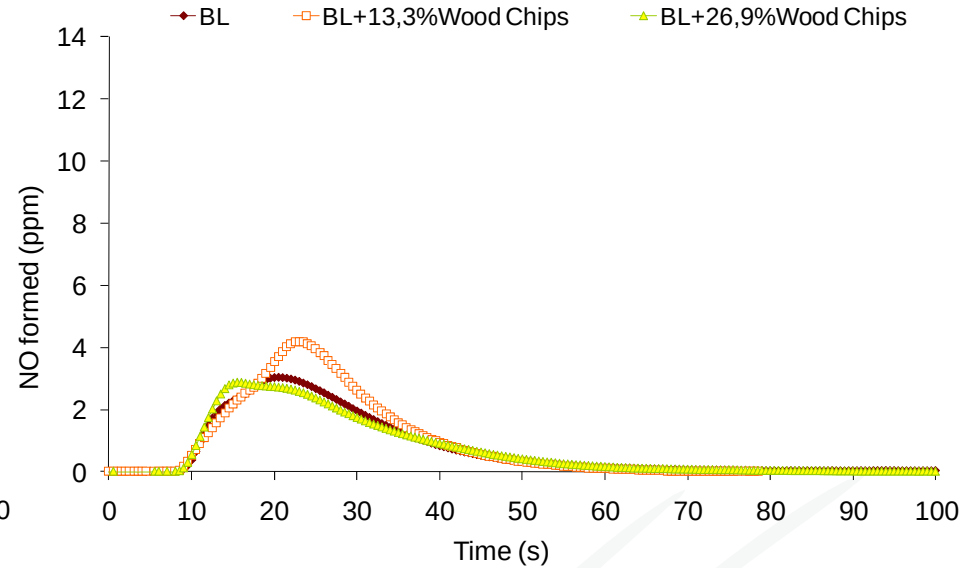
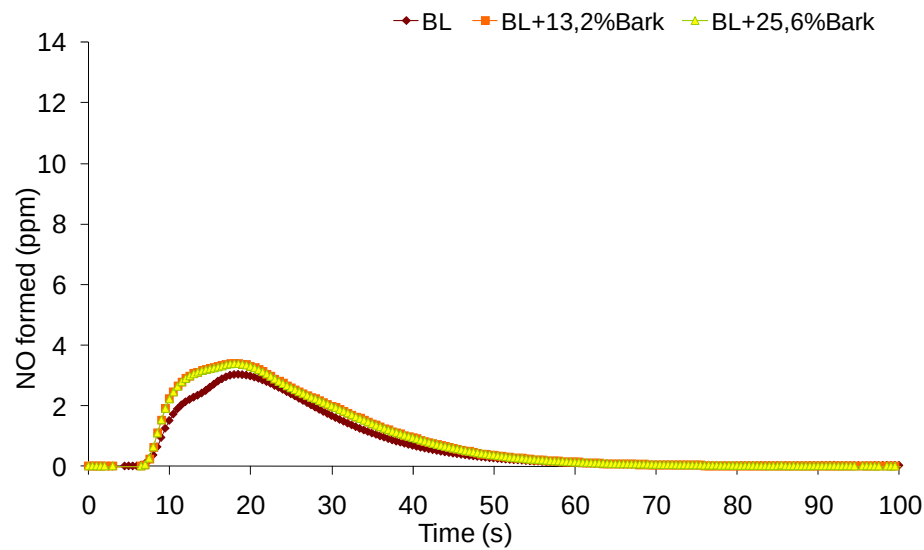
Forssén et al. 2001

Estimated* $N_{\text{mix}}/N_{\text{BL}}$

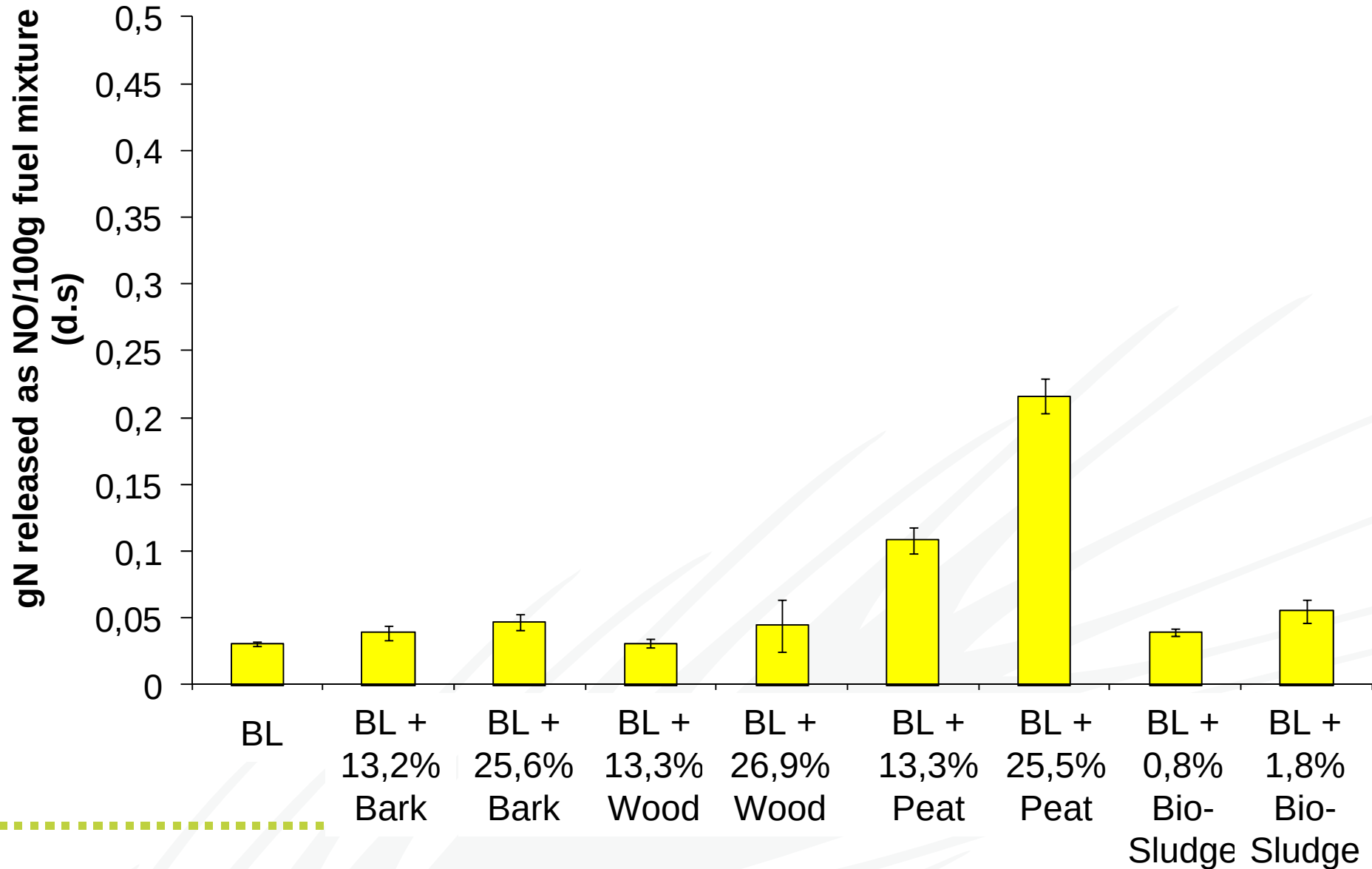


*Have analysis for peat, but not other fuels so estimated based on literature.

NO formed (ppm)



Nitrogen released as NO



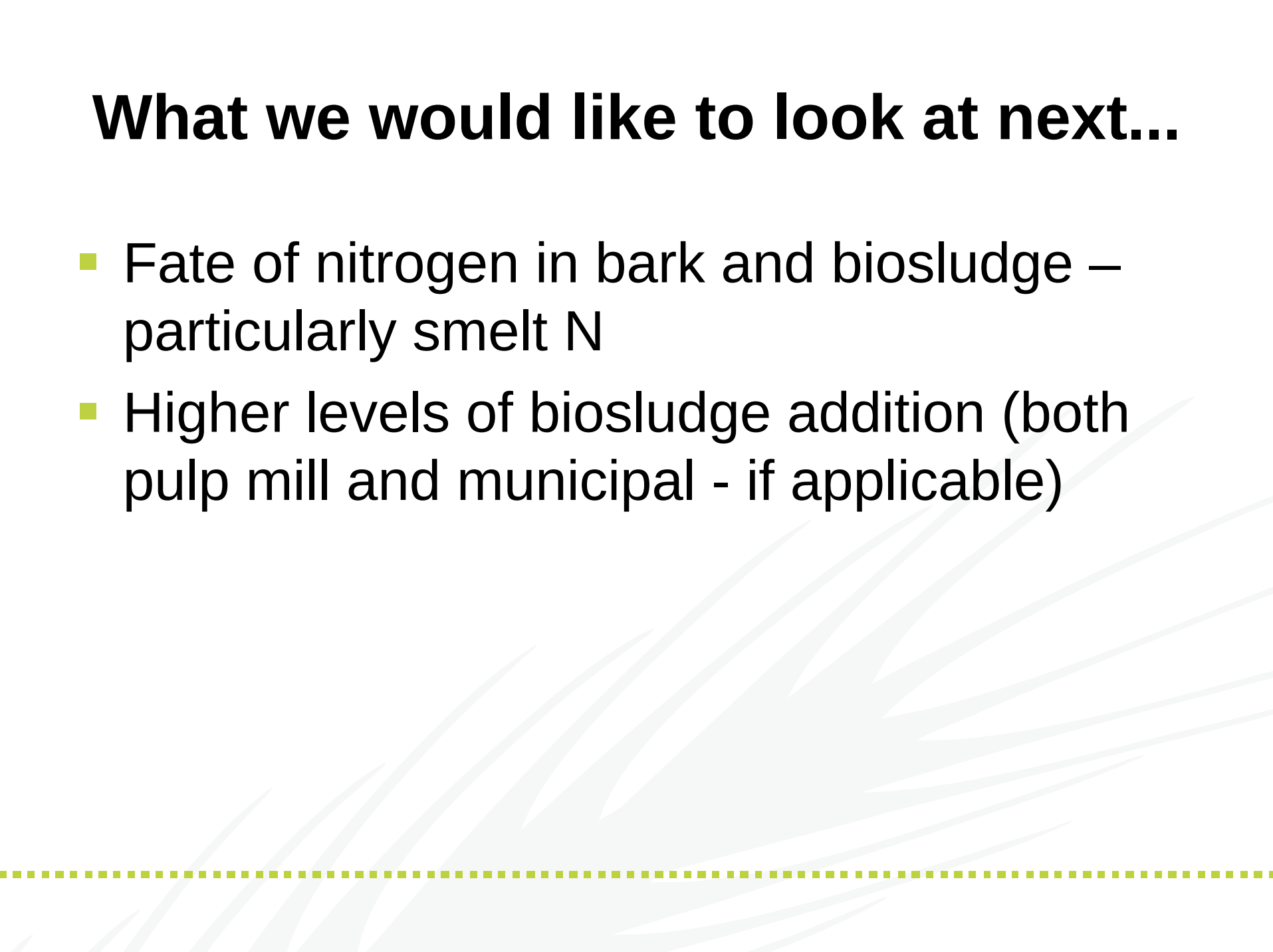
Summary

- Droplet homogeneity difficult to ensure
 - Peat had the largest overall impact
 - Changes in swelling difficult to explain
 - Char burning marginally increased by all fuels except 13,3% bark (no change) and 25,5% peat (large change)
 - Large increase in NO from peat can likely be controlled to some extent in boiler by proper air staging
-

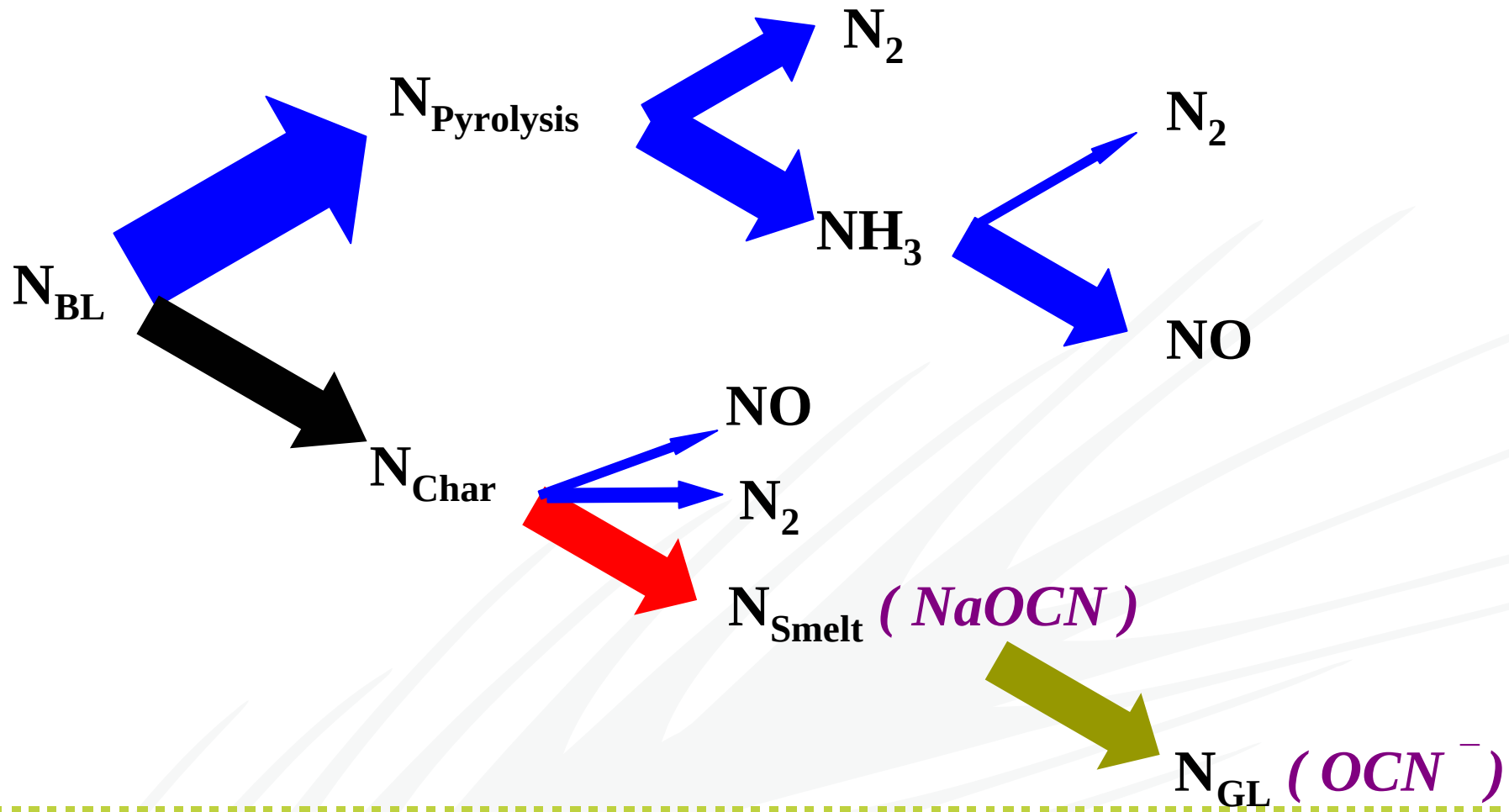
Conclusions

- Results show promise for co-combustion
 - Feeding?
 - Fate of added elements (eg. K) need to be considered
 - Fate of nitrogen should be better understood, does the amount of cyanate increase?
-

What we would like to look at next...

- Fate of nitrogen in bark and biosludge – particularly smelt N
 - Higher levels of biosludge addition (both pulp mill and municipal - if applicable)
- 

N Distribution in BL Combustion



LIITE IV

Co-firing Black Liquor and Biomass – Loppuyhteenveto

Niko DeMartini, ÅA



Co-firing Black Liquor and Biomass

Summary

The objective of this work was to determine if mixing other biofuels in with black liquor would alter the combustion characteristics of the black liquor. The four biofuels mixed with black liquor were bark, wood chips, peat and biosludge. The specific variables followed were swelling, carbon evolution ($\text{CO}_2 + \text{CO}$), and NO formation tendency. We found that there were changes in all of these, but not for all mixtures and that the level of added fuel made a difference.

The largest changes in swelling were seen for peat and bio-sludge addition. The cause of these changes is not clear as 13,2 % and 25,5 wt % peat addition resulted in higher and lower swelling respectively when compared to the black liquor. Similarly, the 0,8 % biosludge mixture resulted in more swelling, while the swelling of the 1,8 % biosludge mixture had swelling similar to the black liquor.

The char burning stage is on average increased only slightly by the addition of bark, wood chips and biosludge, but more significantly by peat, especially the 25,5 wt% peat mixture. This was caused in part by the significantly lower swelling of the this mixture. Peat also had a significant impact on NO formation, resulting in an increase in NO formed during both the devolatilization and char burning stages. The other fuels did not result in a significant change in the NO formed.

The mixtures (except the black liquor + biosludge sample) looked more like a wet solid fuel rather than a liquid fuel containing entrained solids and therefore it is probable that there is some variation in the exact distribution of the biofuel and black liquor in the droplets studied. At least some future combustion tests will be carried out with the fuel being ground into a finer powder if possible to improve fuel homogeneity.

There are a number of interesting open topics with regards to the combustion chemistry of biomass mixed with black liquor. They include:

- distribution of nitrogen between the gas phase and smelt
- sulfur, sodium, potassium and chloride release
- distribution of volatiles and fixed carbon

In the next piece of this work we would like to look more closely at the nitrogen chemistry of bark and bio-sludge addition, specifically the smelt. Both should result in an increase in the nitrogen content of the black liquor, but neither resulted in an increase in the NO formed. We would run interrupted pyrolysis and char gasification tests to better understand the fate of this nitrogen. For example, does it result in more cyanate in the smelt. We would also be interested in running two biosludges if deemed appropriate – one from a mill and the other a municipal biosludge that a mill might burn. In this way, a biosludge could represent a larger biomass stream for co-combustion.

Report Prepared by:

Nikolai DeMartini

Senior Researcher

24 August 2009



Experimental

The four biofuels tested were bark, wood chips, peat and biosludge (pre-dried). The individual fuels were mixed as received and the dry solids of the fuels and mixtures are given in Table I.

Table I. Dry solids of fuels and mixtures.

Sample	Dry solids	Size description	Mass Fraction Biomass in Mixture (wt % d.s.)	Mixture (wt % d.s.)
BL	80,4	liquid		80,4 %
bark	95,0	< 1 mm	13,2 % / 25,6 %	82,1/83,7
wood chips	95,9	4 mm	13,3 % / 26,9 %	82,2/84,1
peat	94,2	ground	13,3 % / 25,5 %	82,0/83,5
bio-sludge	21,9	viscous liquid	0,82 % / 1,84 %	78,7/76,6

Pictures of the mixtures are given in Figure 1. Aside from the biosludge, the other fuels resulted in a fuel that more closely resembled a wet solid fuel than a liquid fuel with entrained solids. Fuel homogeneity was of concern when preparing the droplets.

Six droplets of each fuel mixture were burned at 1100 °C in 3 % O₂ in the droplet furnace at Åbo Akademi, Figure 2. Combustion was recorded with a digital video camcorder. A picture of the droplet at maximum swelling was analyzed to obtain an estimate of the swollen droplet volume. On-line analyzers were used to follow carbon (CO+CO₂) and NO evolution during the droplet combustion.

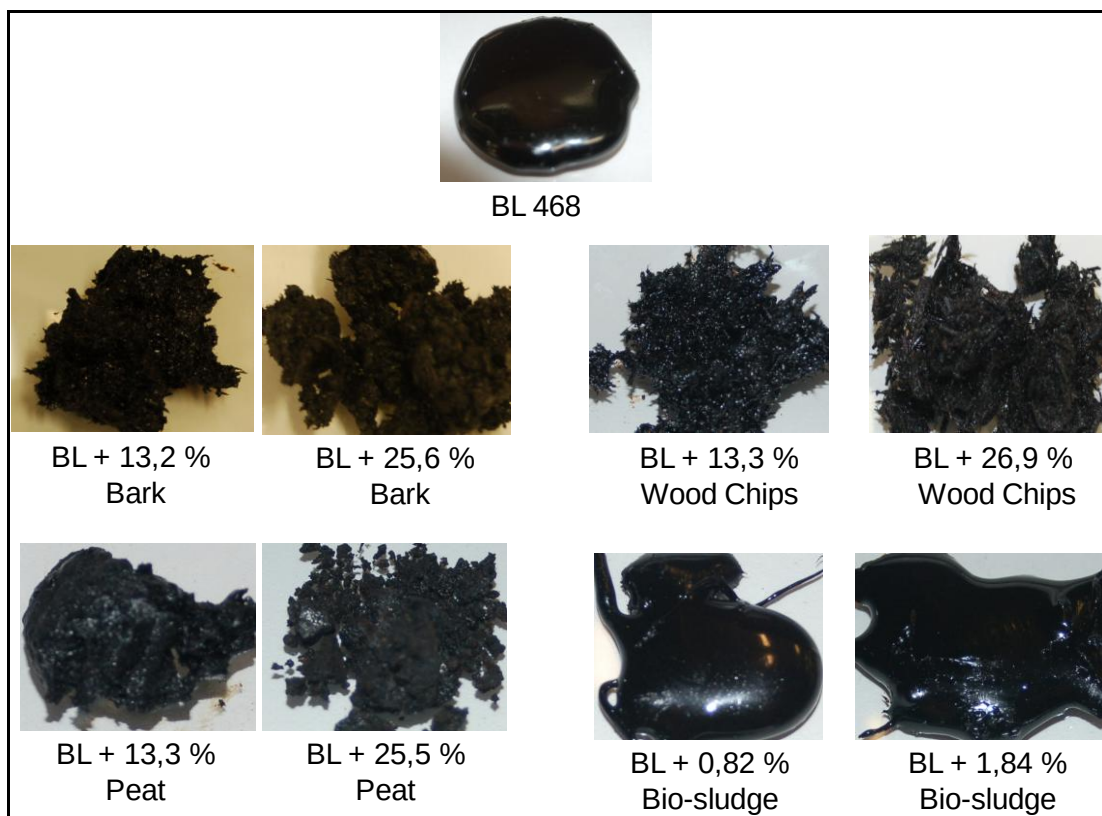


Figure 1. Photos of the fuel mixtures.

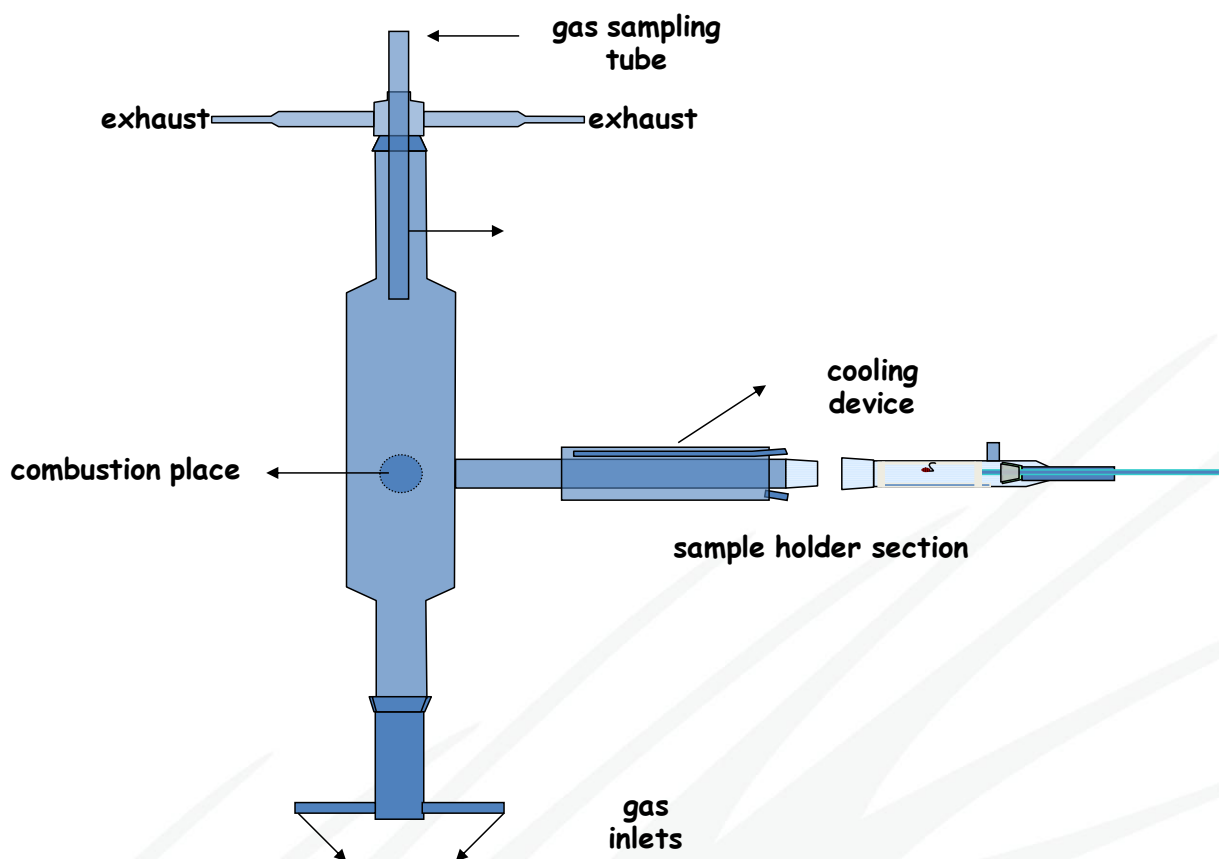


Figure 2. Diagram of droplet furnace used in this work.



Results and Discussion

Swelling. Average swelling changed most significantly with peat addition and 0,82 bio-sludge addition, Figure 3. The cause of the significant change in swelling for the two levels of peat addition is not clear, but this swelling change is likely at least partially responsible for the much longer char conversion time for the mixture with 25,5 wt % peat discussed in the next section.

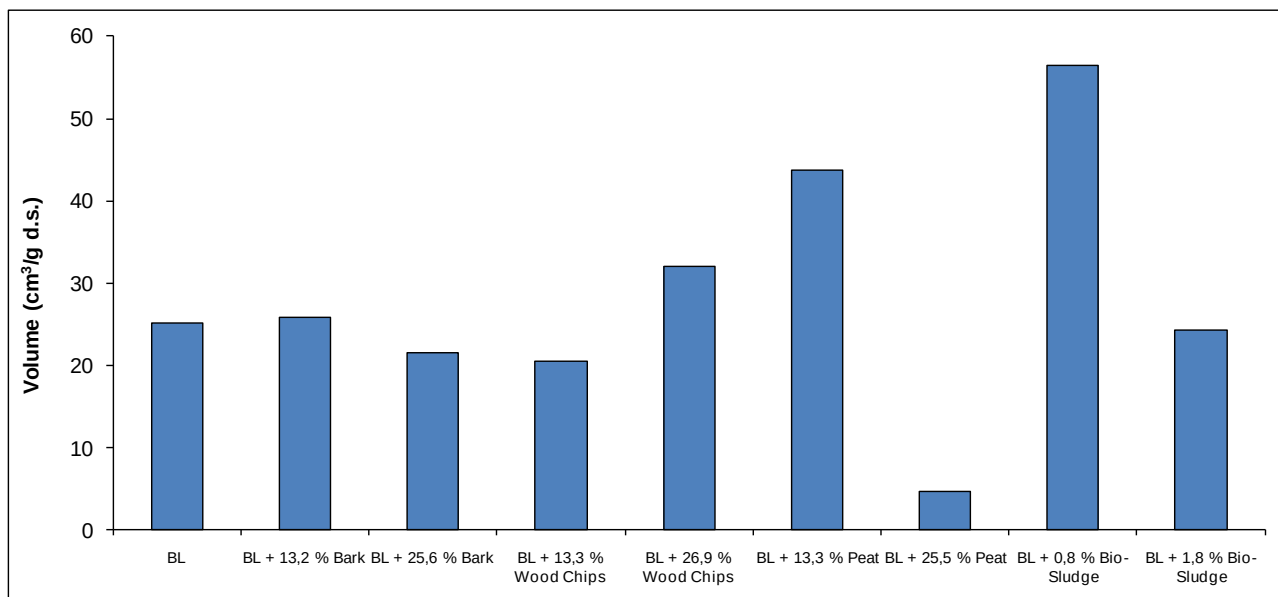


Figure 3. Average swelling of the black liquor and mixtures.

Gas Evolution. All of the mixtures exhibited longer char burning times on average than the black liquor, Figure 4. This is most pronounced for the mixtures with peat. It would appear from the curves for peat that less material is volatilized and the significant increase in char burning time is both because of more fixed carbon and the reduced swelling though these effects have not been separated.

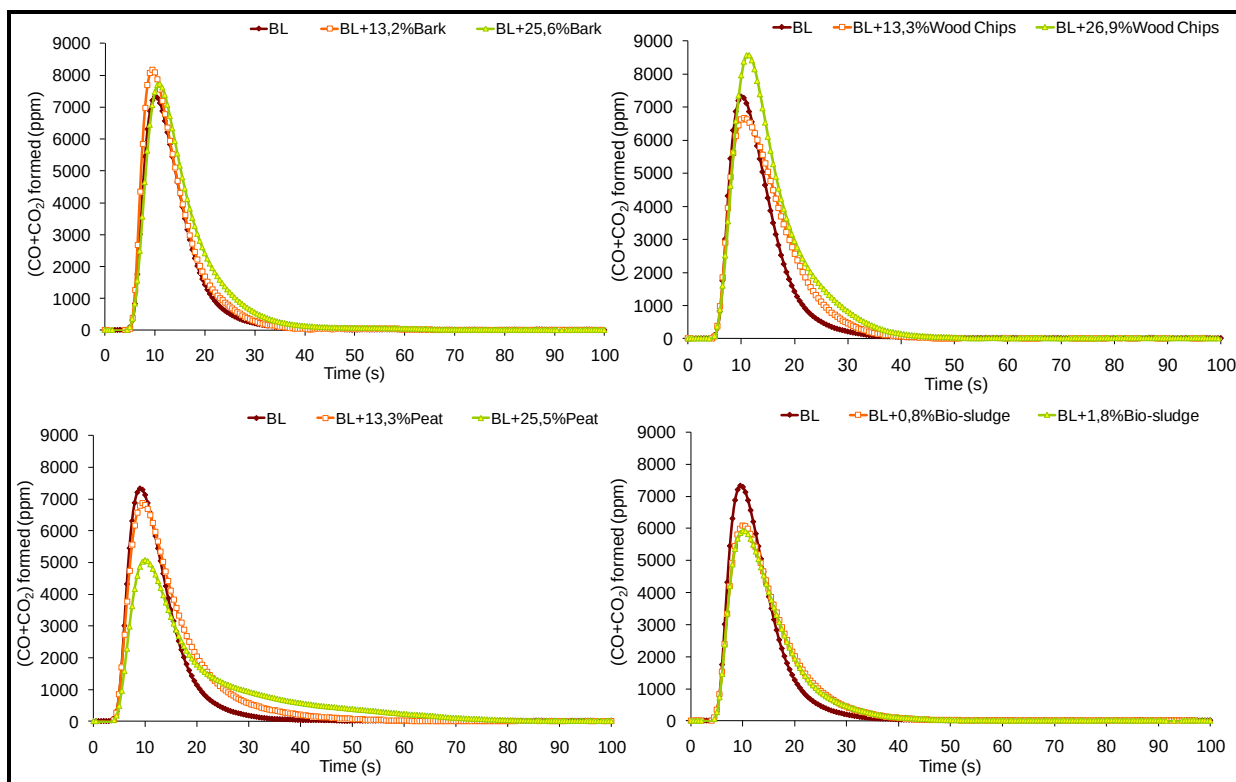


Figure 4. Carbon evolution as $\text{CO} + \text{CO}_2$ (avg. for 6 droplets) for the black liquor and the mixtures burned at 1100°C with 3% O_2 in N_2 .

The videos were also used to determine the average times for devolatilization and char burning, Figure 5. The devolatilization time was the time from the beginning of the flame to the end of the flame and the char burning stage was taken as the time from the end of the flame to smelt coalescence. Drying is not included as the high temperature in the reactor resulted in significant drying of the samples before insertion into the reactor despite the nitrogen cooling. Combustion times were 30-50% longer when compared with the black liquor for all samples except the mixture with 13,2% bark and 25,5% peat. Most of this increase in the reaction time occurs in the char burning phase and may be due to the fact that the alkali is not as intimately mixed with the biomass fuels as it is with the organics in the black liquor thereby resulting in a difference in the catalysis of the fixed carbon during the char conversion reactions. The addition of 13,2% bark does not affect the total combustion time based on the droplet results, but addition of 25,5% peat results in a combustion time 3.5 times longer than for the black liquor.

The only fuel mixture which resulted in a significant change in NO formation was peat, Figure 6. Peat resulted in significantly more NO formation both during devolatilization and char burning. Whether this results in more NO from the recovery boiler will likely depend on air staging and lower furnace conditions. Earlier work has shown that the addition of 0.5 wt. % biosludge to black liquor does not result in an increase in NO formed in the recovery boiler or in OCN with the smelt [1]. The impact of the other fuels on smelt nitrogen was not studied, but would be of interest.

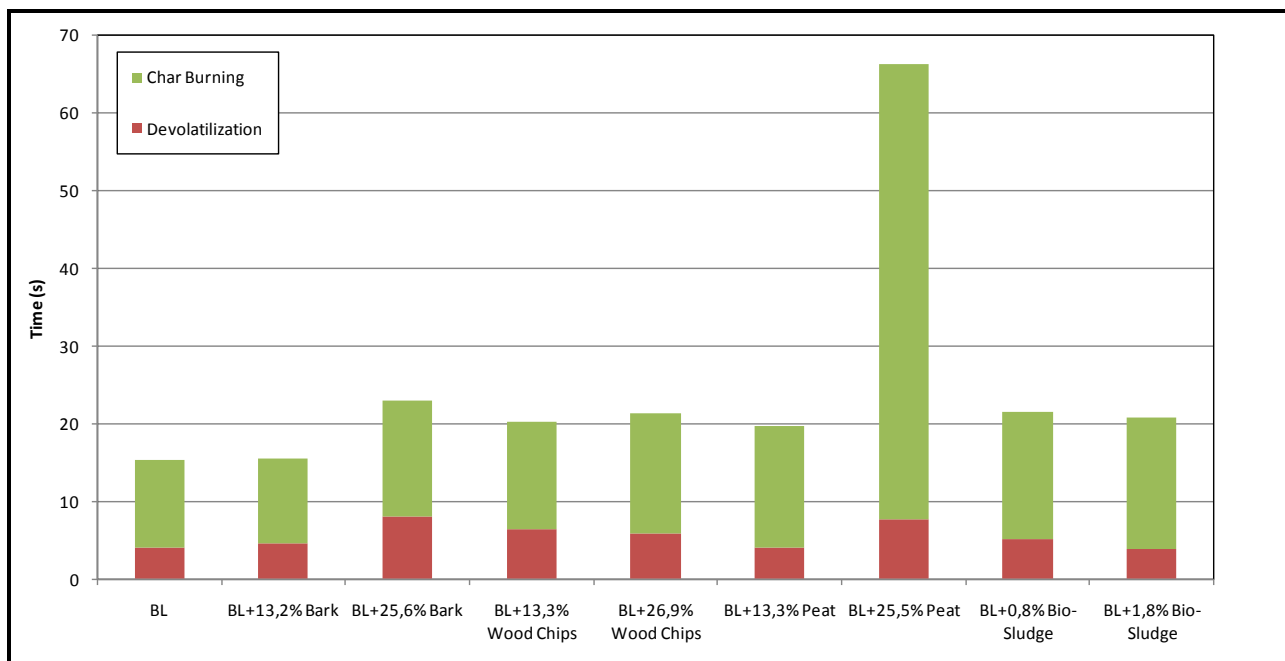


Figure 5. Times of the combustion stages (drying, devolatilization, and char burning) for the fuel mixtures.

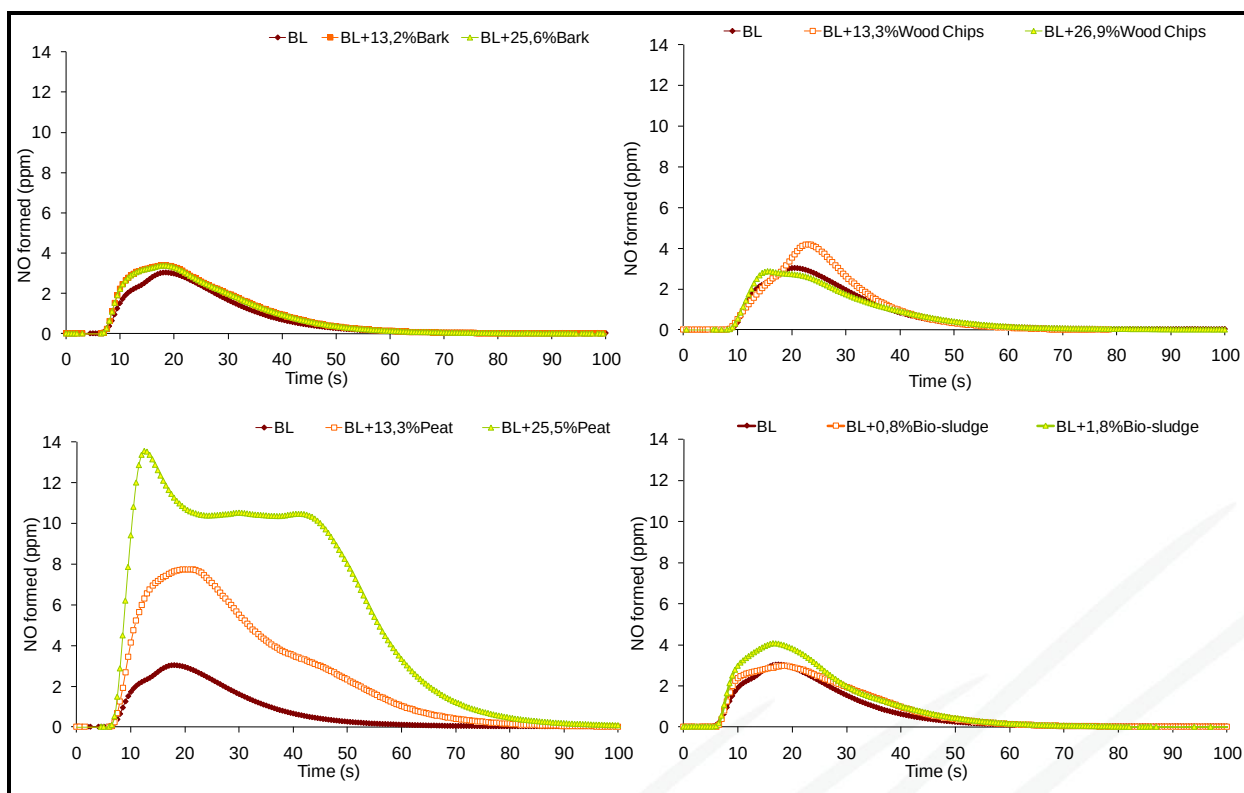


Figure 7. NO formed for the various fuel mixtures relative to black liquor. Mixtures made with 80.4 wt % d.s. black liquor.

References

1. Kymäläinen, M.; Holmstrom, M.; Forssén, M.; Hupa, M. The fate of nitrogen in the chemical recovery process in a kraft pulp mill. Part III. The effect of some process variables. J. Pulp Pap. Sci. 27(9): 317-324 (2001).

LIITE V

Emäveden jatkokäsittely – Esitys

Kurt Siren, Sirra T:mi

Emäveden jatkokäsittely

Kurt Sirén

Sirra T:mi

SKY/lipeätyöryhmän kokous 1.9.2009

Tavoite

Löytää keino emäveden käsittelemiseksi, jolla voidaan parantaa mäntyöljyn saantoa, ja vähentää haitallisen kalsiumin kulkeutumista takaisin haihduttamolle



Työvaiheet

1. Koemateriaalin hankinta, 2 tehdasta Valmis
 - havutehdas ja havu + koivutehdas
 - viher- ja valkolipeä, NaOH + mahd. muita tarvikkeita
 - mäntyöljyä

2. Ligniinilautan rakenteen tutkiminen Valmis
 - mikroskooppivalokuvasarja
 - pyritään verifioimaan/kumoamaan oletettu rakenne
 - määritetään komponenttien osuudet (ligniini, mö, vesi)

3. Erottumisen aikariippuvuus Valmis
 - selvitetään erottumisnopeus (putkimenetelmä)
 - tehtävä tehtaalla. Emävesi muuttuu vanhetessaan
 - voidaan tehdä laite, esim. 2 m läpinäkyvä PC tai PVC-putki

4. Kalsiumsakan erottaminen (labrassa)

Menossa

- selvitetään miten hyvin saadaan Ca erotetuksi
- kokeillaan apuaineita (viherlipeä, Na_2CO_3 (?))
- vaihdellaan aika ja annosteluja
- analyysit (KCL)

5. Öljy + ligniinikerroksen käsittely

Menossa

5.1 Ligniinin liuottaminen lipeällä

- valkolipeä ja NaOH
- selvitetään vaadittavia olosuhteita (aika, lämpötila, annostelut)

5.2 Lämpö (ja paine)-käsittely

- saadaanko yhtenäinen öljykerros syntymään?
- autoklavointi (T -> P)
- vaihdellaan lämpötila ja aika (max 180 °C ?)
- auttaako mö-lisäys?

LTR lisäys: Komponenttianalyysit lämpökäsitelystä MÖ:stä laadun huononemisen selvittämiseksi

3. Erottumisen aikariippuvuus

Tehtailla tehtyt selkeytyskokeet

Tehtaan A tulokset edellisessä kokouksessa
Tehtas B tehty kesäkuussa

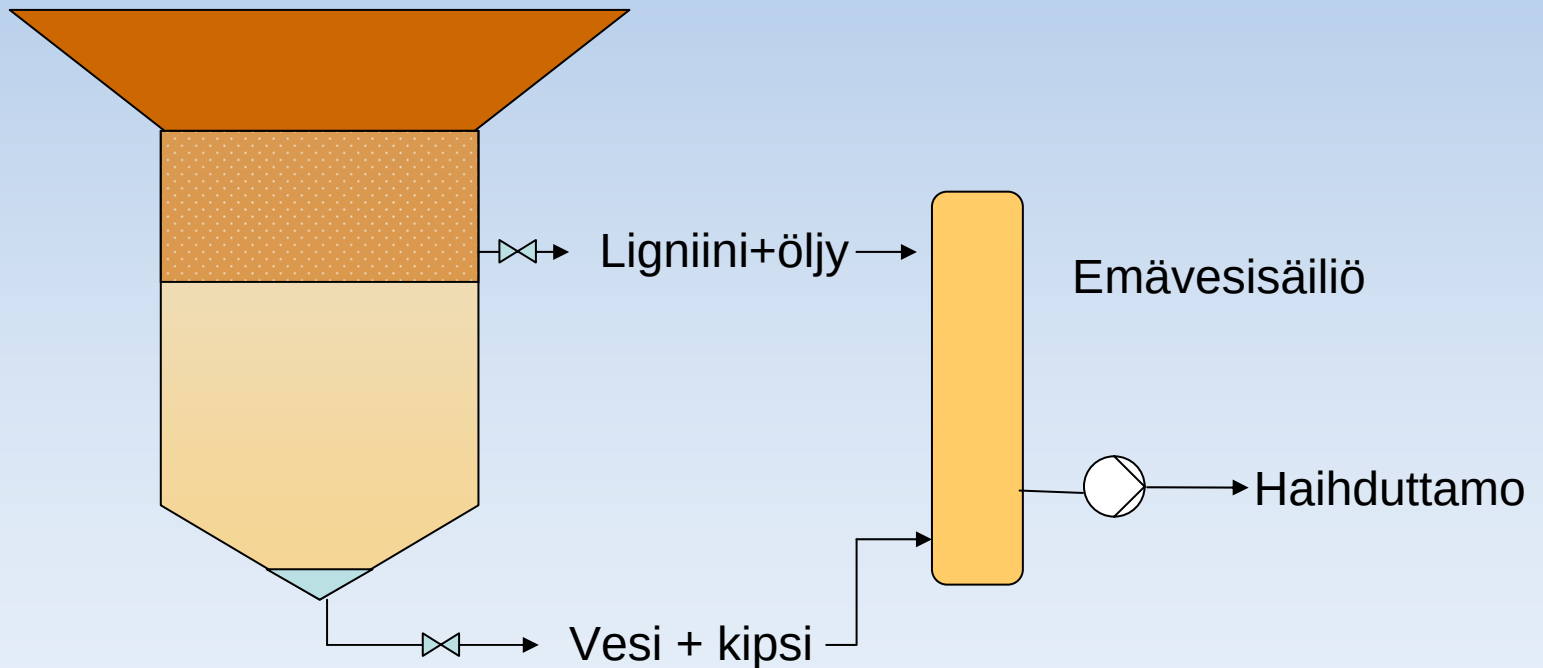


Järjestelmien vertailu A ja B

Tehdas A HDS

Vanhempi versio, ollaan vaihtamassa uudempaan

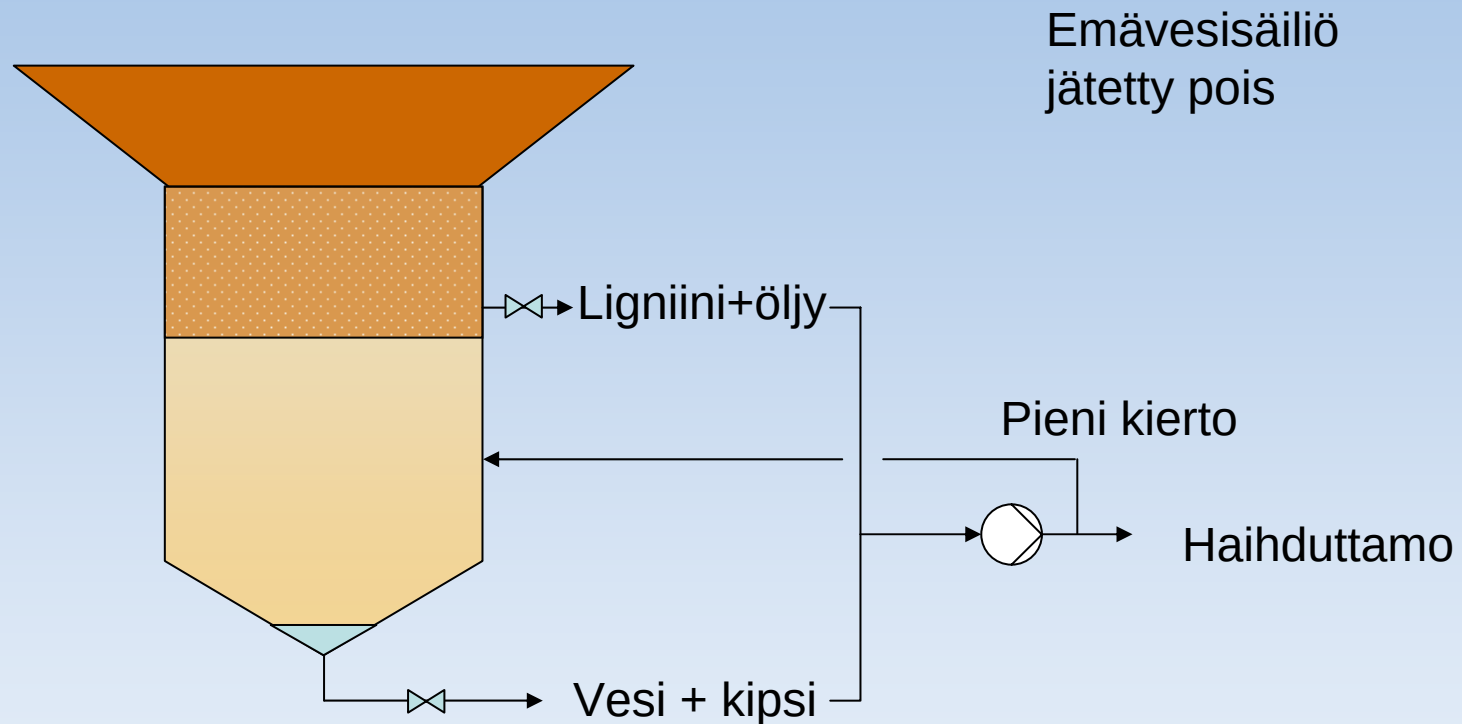
Ulosotto vuorotellen ylhäältä ja alhaalta aikaperusteisesti



Selkeytyskokeeseen otettiin pelkästään vesi + kipsi

Tehdas B HDS

Nykyaikainen versio



Näyte kun ligniinilauttaventtiili oli auki. Kipsiä kuitenkin mukana.
Voitiin seurata sekä öljy + ligniiniosan että kipsin erottumisnopeutta

Tehdas B

Koelaitteisto

Tilanne heti
täytön jälkeen



Yläosa

45 min



Kipsikerros →

45 min



45 min



1,5 h

Kolme kerrosta
näkyvät selvästi

Raja →

Raja →



1,5 h

Raja →

Rajan yläpuolella
liikkuvia flokkeja,
alapuolella paikallaan pysyviä



4,5 h

Ohut öljykerros
pinnassa, n. 3mm

Öljy + ligniini-
patsaassa
vaaleampi
osa alhaalla



4,5 h

Keskiosa kirkas

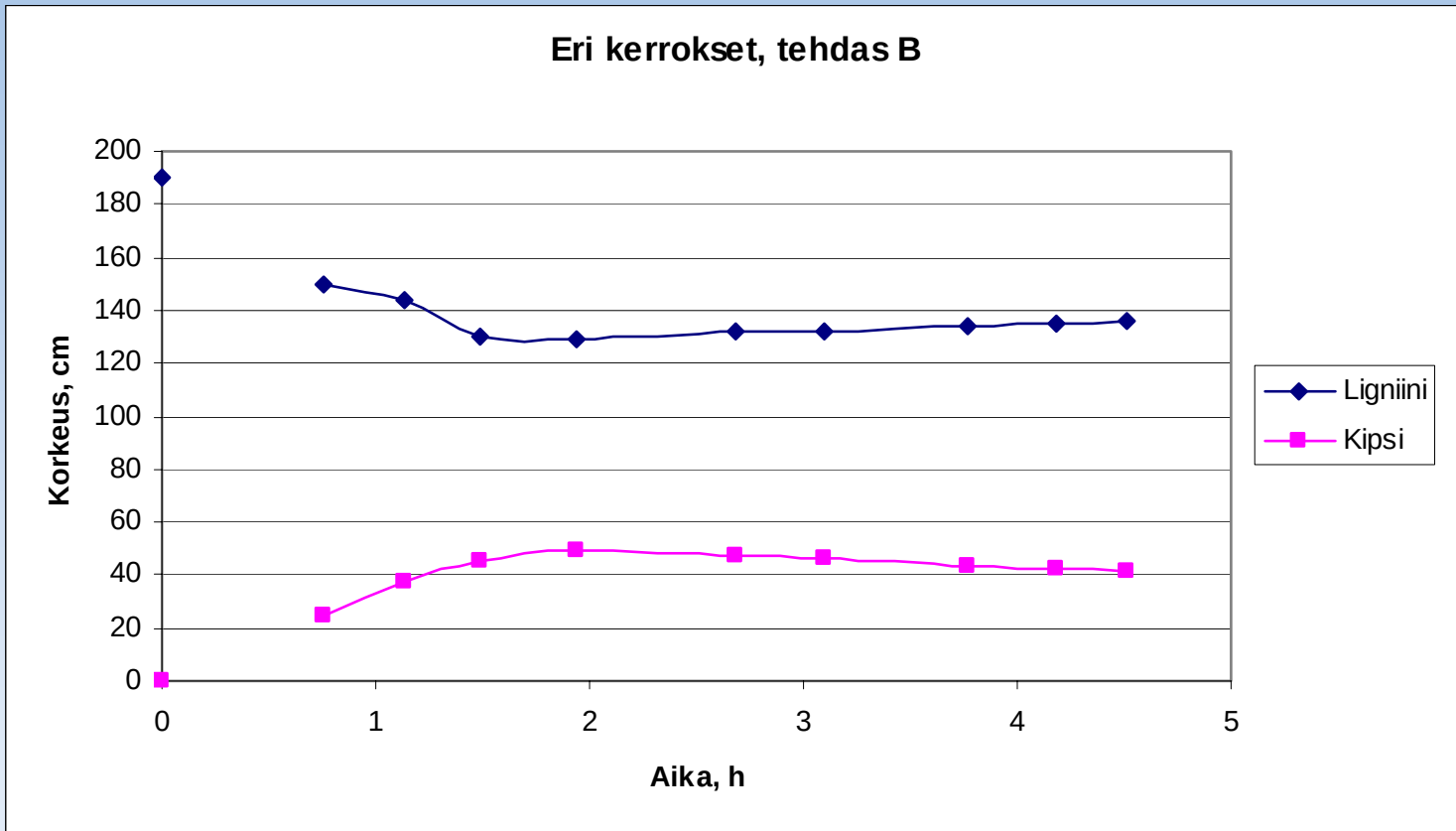


4,5 h

Kipsikerros



Erottumisen aikariippuvuus



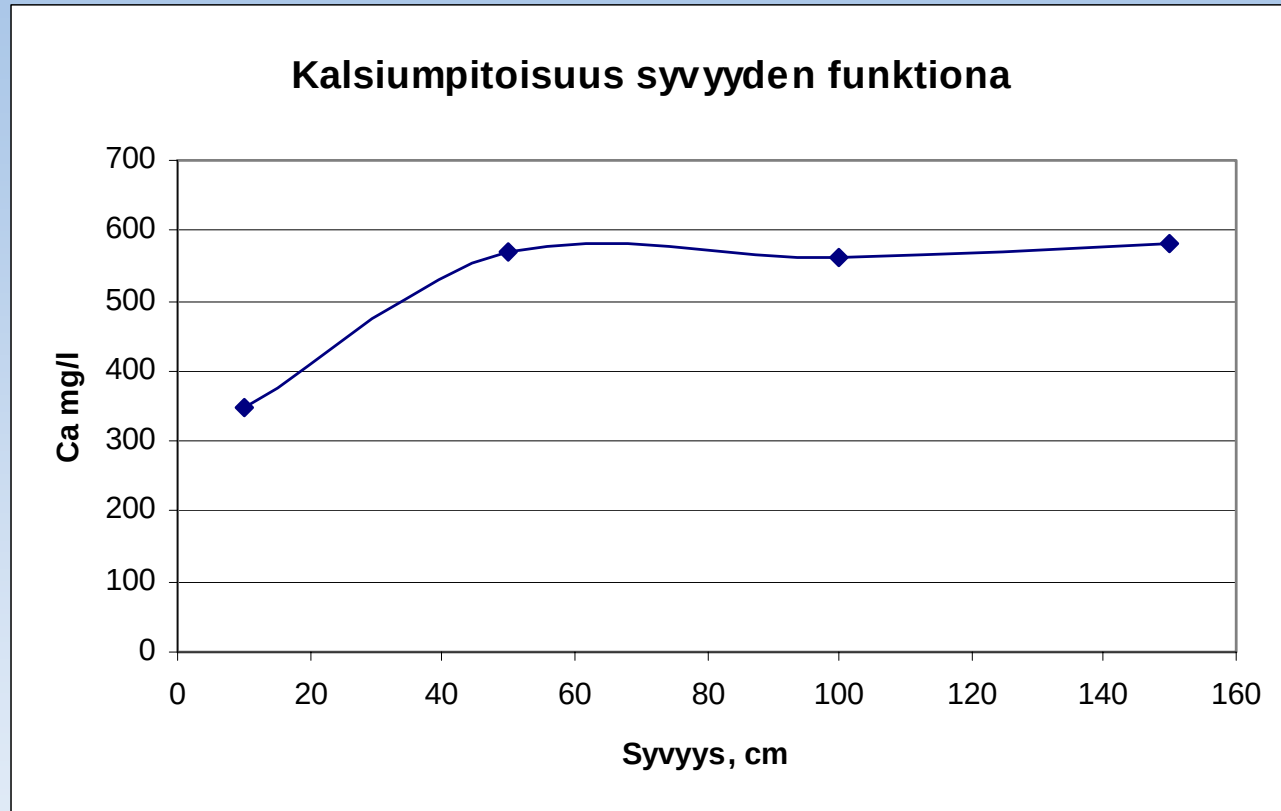
Alkuvaiheessa: Kerrokset erottuvat
Loppuvaiheessa: Kerrokset tiivistyvät

4. Kalsiumsakan erottaminen

Käsittelyn tavoite: Vähentää haihduttamon likaantumista

- Kipsipatja erotettava ja vietävä haihduttamon ohi ulos
- Liuennut kalsium kirkasteessa myös syytä poistaa (pieni pitoisuus mutta suurehko tilavuus)
- Myös leijailevia pieniä kipsihiukkasia?

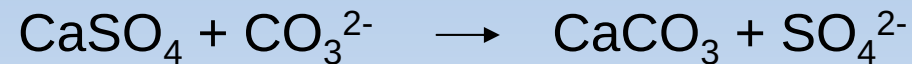
Tehdas A



Kalsiumpitoisuus kasvaa alaspäin mentäessä. Viittaa siihen, että pienet kipsihiukkaset leijailevat vielä vedessä (?).
Orgaanisia kalsiumsuoloja? Lisää valaistusta tulossa

Kalsiumin kipsimuoto haitallisempi kuin karbonaattimuoto

Hankala reaktio:



Likaa lämpöpinnat ja tukkii putket ja viirat
Ei saa tapahtua näissä
Ainoastaan säiliöissä

Siksi voi olla vaarallista tuoda kipsisakka
suoraan soodasakkasuotimelle. Parempi
neutraloida ensin viherlipeällä.

Koe: Kalsiumin saostus kirkkaasta vesifaasista

kirkaste + viherlipeää

Lämpötila 85 oC

Vaihdeltiin aika ja viherlipeäännostelu

VL 50 - 200 ml/l

Aika 15 min – 1h (ulos vesihauteesta)

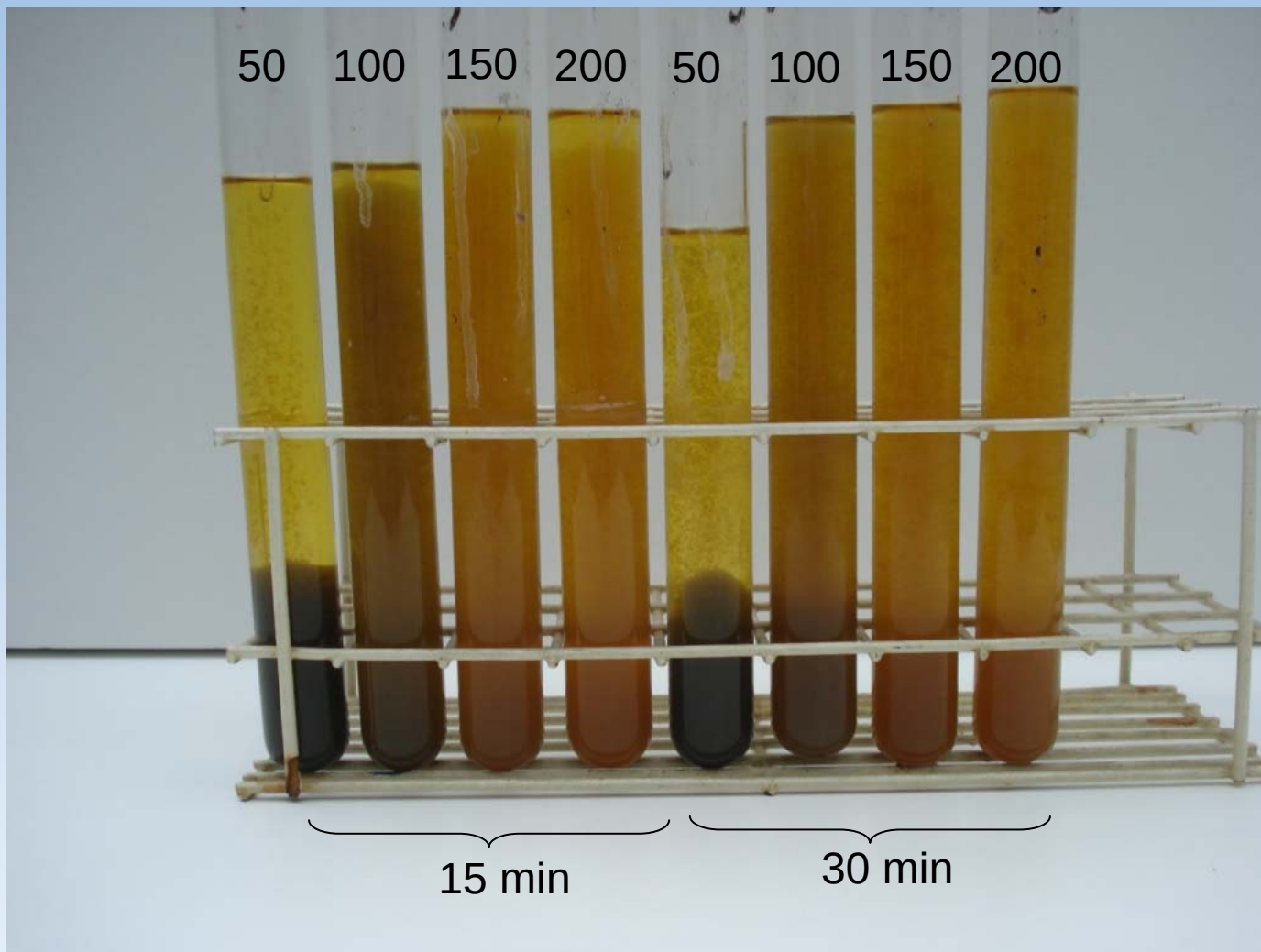
Selkeytyminen jatkui kuitenkin ulosoton jälkeen



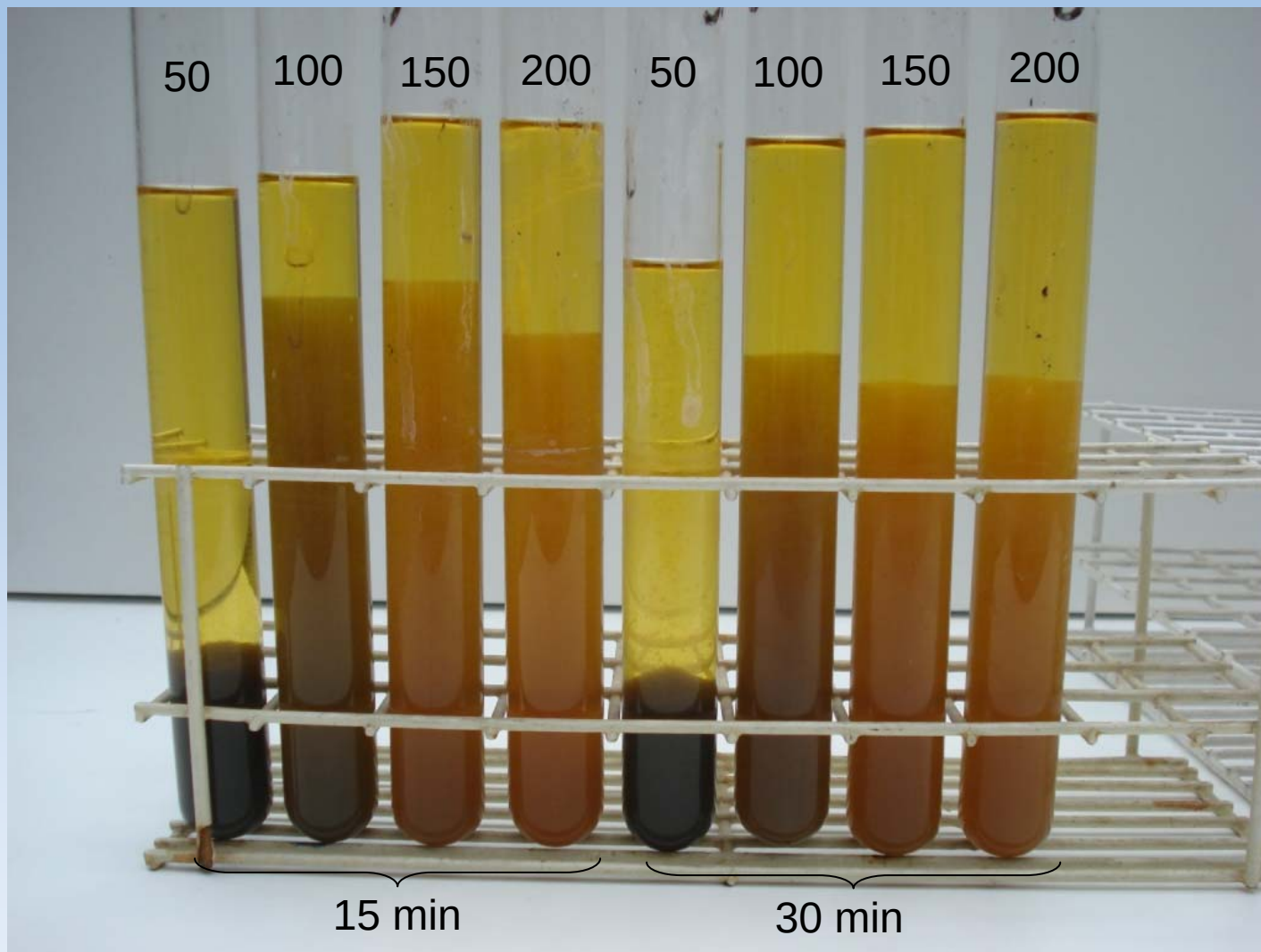
Tulokset:

Annostelu ml/l	pH
50	10
100	12
150	n. 14
200	n. 14

Sakka laskeutui melko hitaasti, vaati noin tunnin
Mitä pienempi viherlipeäannos sitä nopeampi selkeytys!

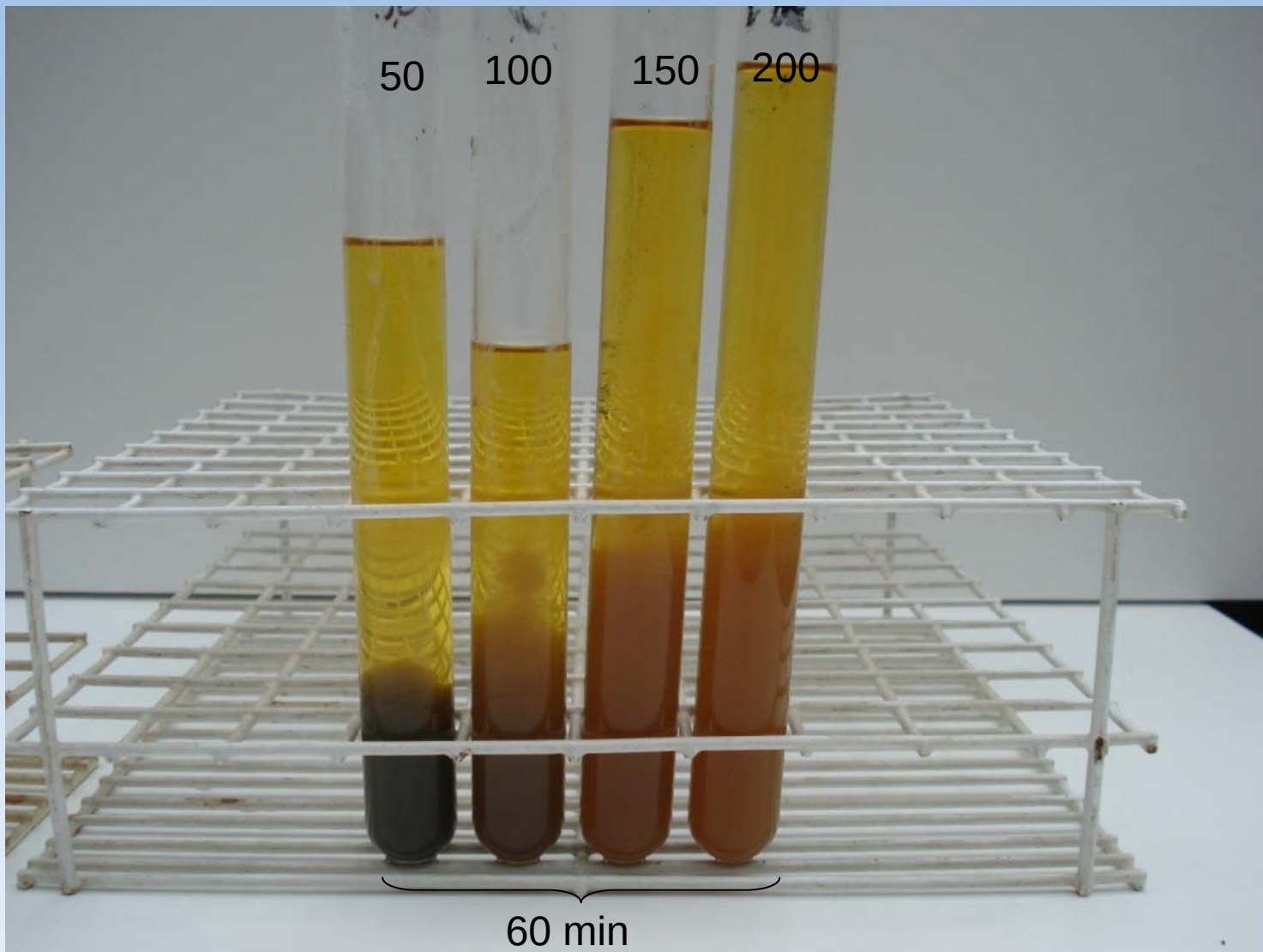


Kuvaus 40 min jälkeen pH:ssa 10 nopein selkeytyminen (50 ml/l)



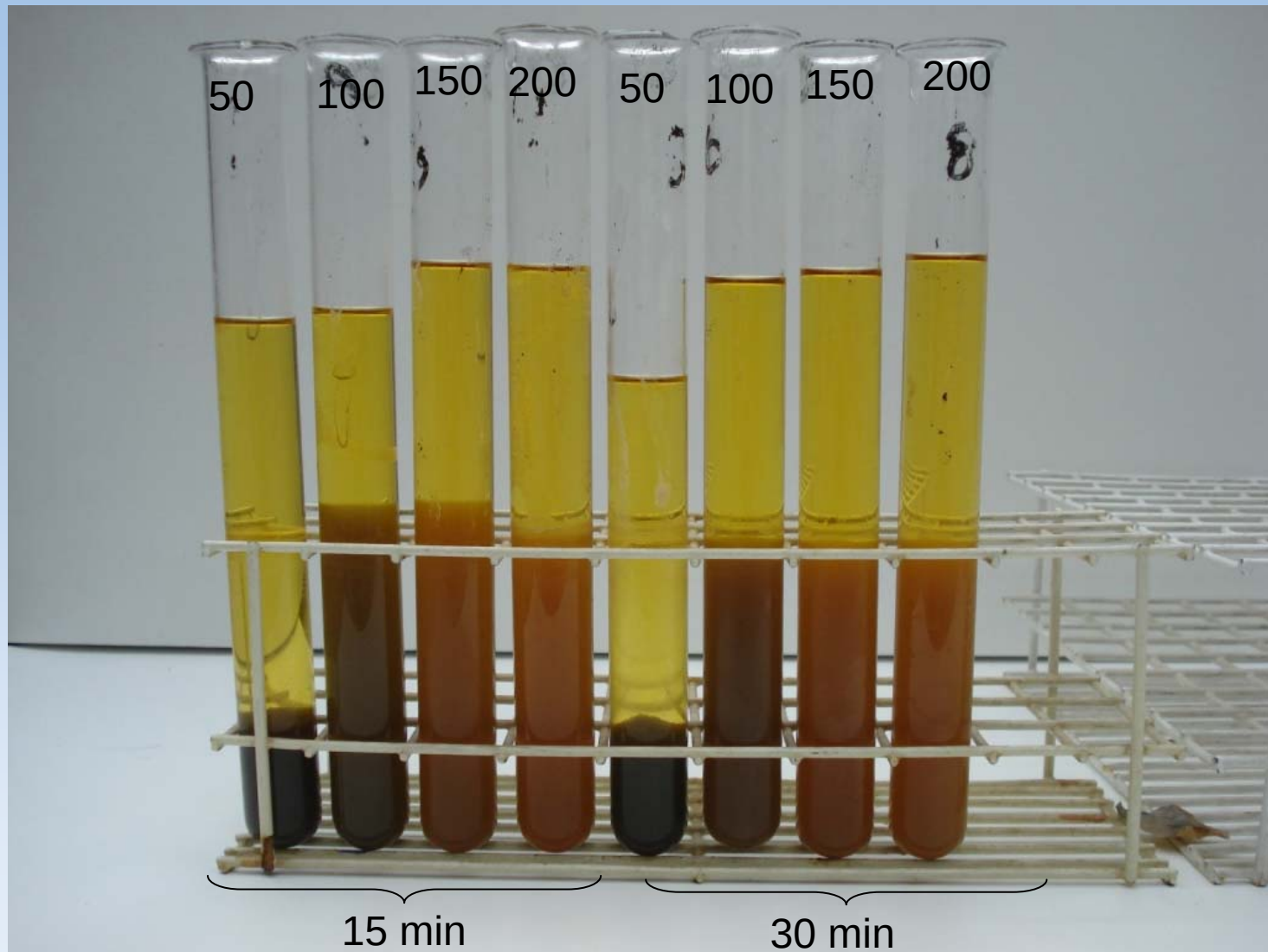
Kuvaus 60 min jälkeen

Ainoastaan pH 10 selkeä

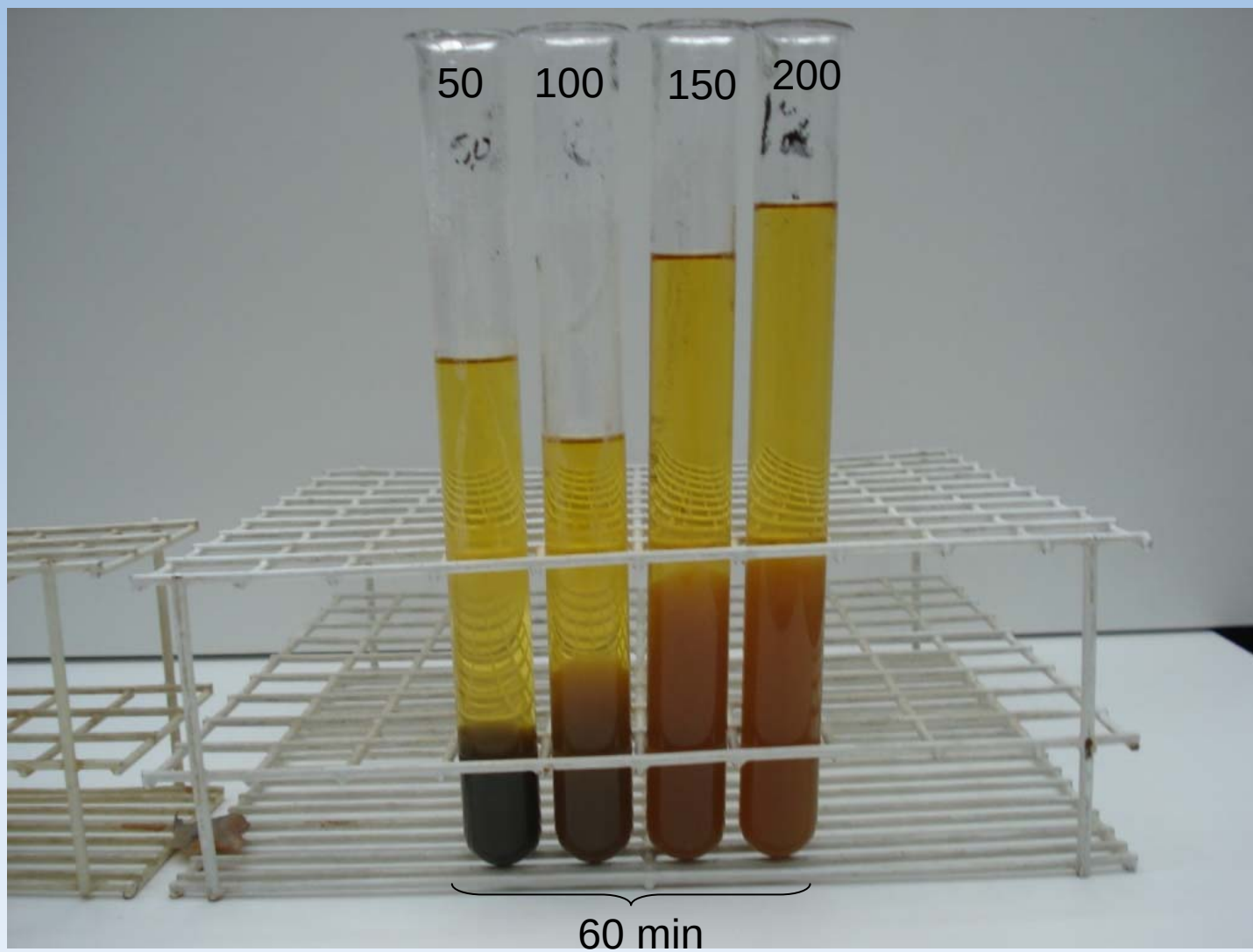


Kuvaus 60 min jälkeen

Selkeytys lämmössä parempi kuin jäähtyessä
pH 10 edelleen nopein



Kuvaus 2 h jälkeen



Kuvaus 2 h jälkeen

Tulokset:

- 50 l/m³ sopiva viherlipesäannos (H₂S-kehitys loppuu, karbonaatti CO₃²⁻ -muodossa)
- Suurempi annos hidastaa selkeytystä
- Noin tunnin selkeytys jotta liuos kirkastuisi
- Sakkakerros pienenee edelleen 2 h:n jälkeen
- 50 l/m³ annostuksella sakkatilavuus n. 25 % 2 h:n jälkeen, pienenee edelleen

Koe: Karbonatisointi kun kipsi on mukana

Näyte sedimentoinnin kipsikerroksesta

- Vaati enemmän viherlipeää koska reaktio kipsin kanssa kulutti osan
- Kului 83 ml/l pH:n korottamiseen 10:een
- Selkeytyminen nopeampi, suurempi sakkamäärä (2/3 kirkasta)
- Kirkaste analysoitavana KCL:ssä

Ligniinilautan koostumus

Osa	Tehdas A %	Tehdas B %
Mäntyöljy	56,3 (38,2)*	54,5 (27,0)*
Ligniini	3,6	2,3
Vesi	35,8	34,8
Liuenneet suolat + kipsi	4,3	8,4**

* sponttaanisesti erottuva osuus

** enemmän kipsiä mukana (ks. kytkentä)

Kokeet saannon parantamiseksi

- Aikaisemmat havainnot: Ligniinilautta koostuu öljypalloista, jotka eivät valu yhteen koska ligniinipöly estää. Öljy ei erotu.
- Käsittelyn tavoite: Saada aikaan yhtenäinen öljykerros joka nousee pinnalle
- Ligniini liuotettava tai rikottava pallorakenne

Mahdollisuuksia ligniinilautan käsittelymiseen:

1. Ligniinin liuottaminen alkalilla
2. Painekeumennus
3. Linkous (?) (kallis laitteisto)

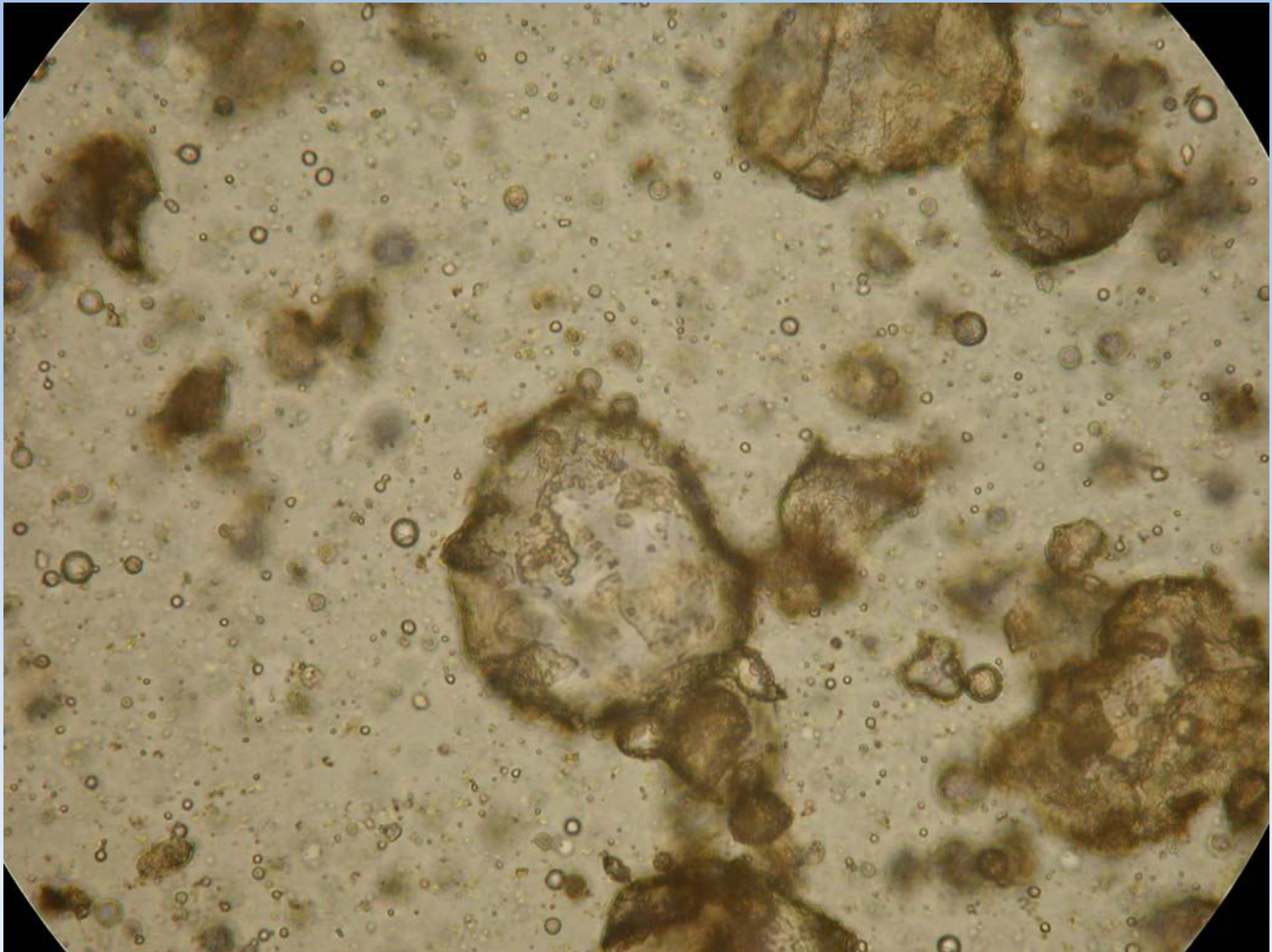
Kaikilla hyvät ja huonot puolensa

Merkittävä osa öljystä erottuu jos annetaan
lautan seistä – tunteja – vuorokausia.
Saantoa voidaan merkittävästi parantaa, mutta
ligniinilauttaa jää edelleen.

Ligniinin liuottaminen lipeällä, kokeet

Periaate: Suopapalloilla oleva ligniinipöly liuotetaan alkalilla (valkolipeällä) muodostamaan mustalipeää, öljy muutetaan takaisin suovaksi. Suopa uudestaan MÖ-keittoon.

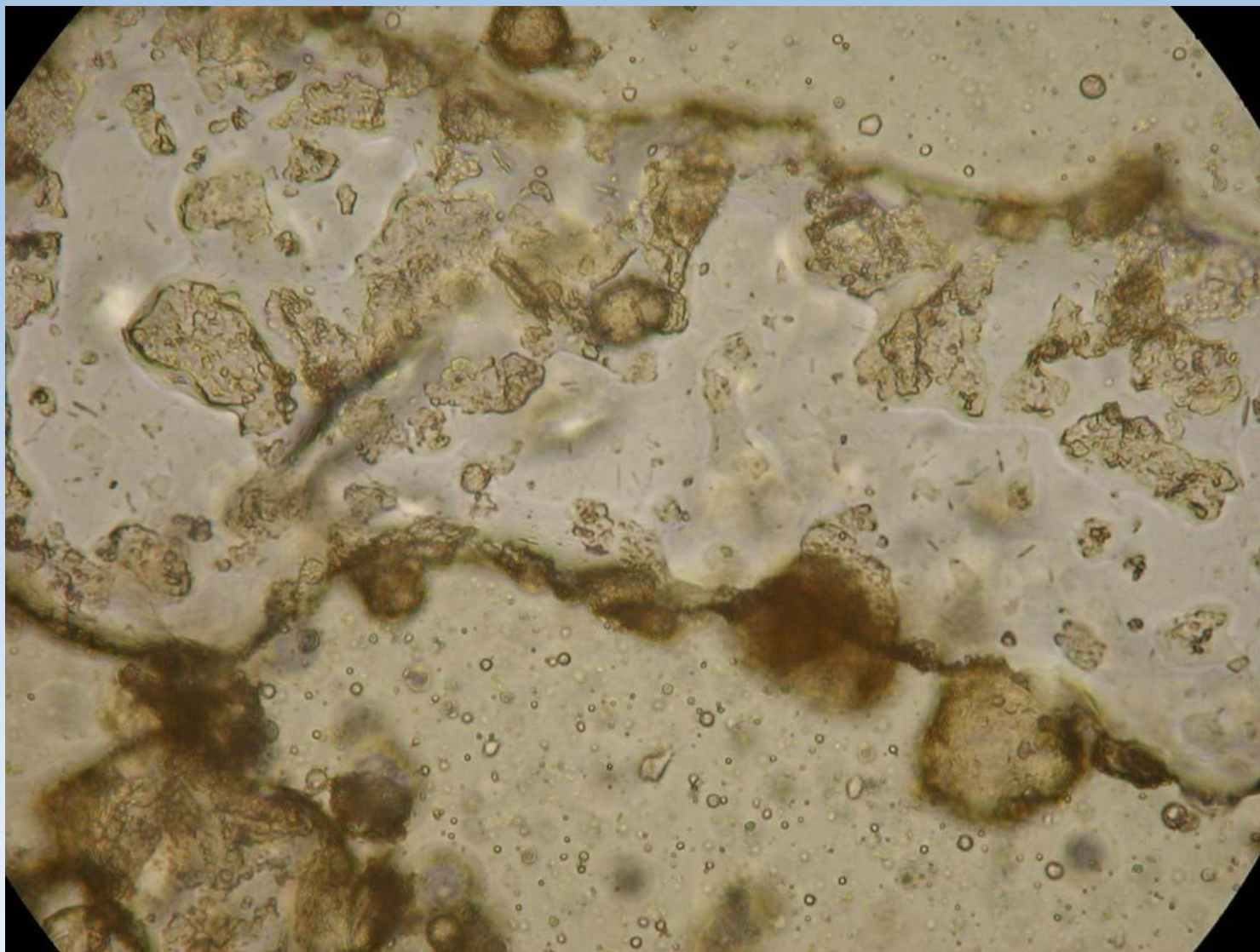
Etu: Suovan laatu pysyy hyvänä (ei liiallista lämmitystä)



Ligniinilautan rakenne

400x

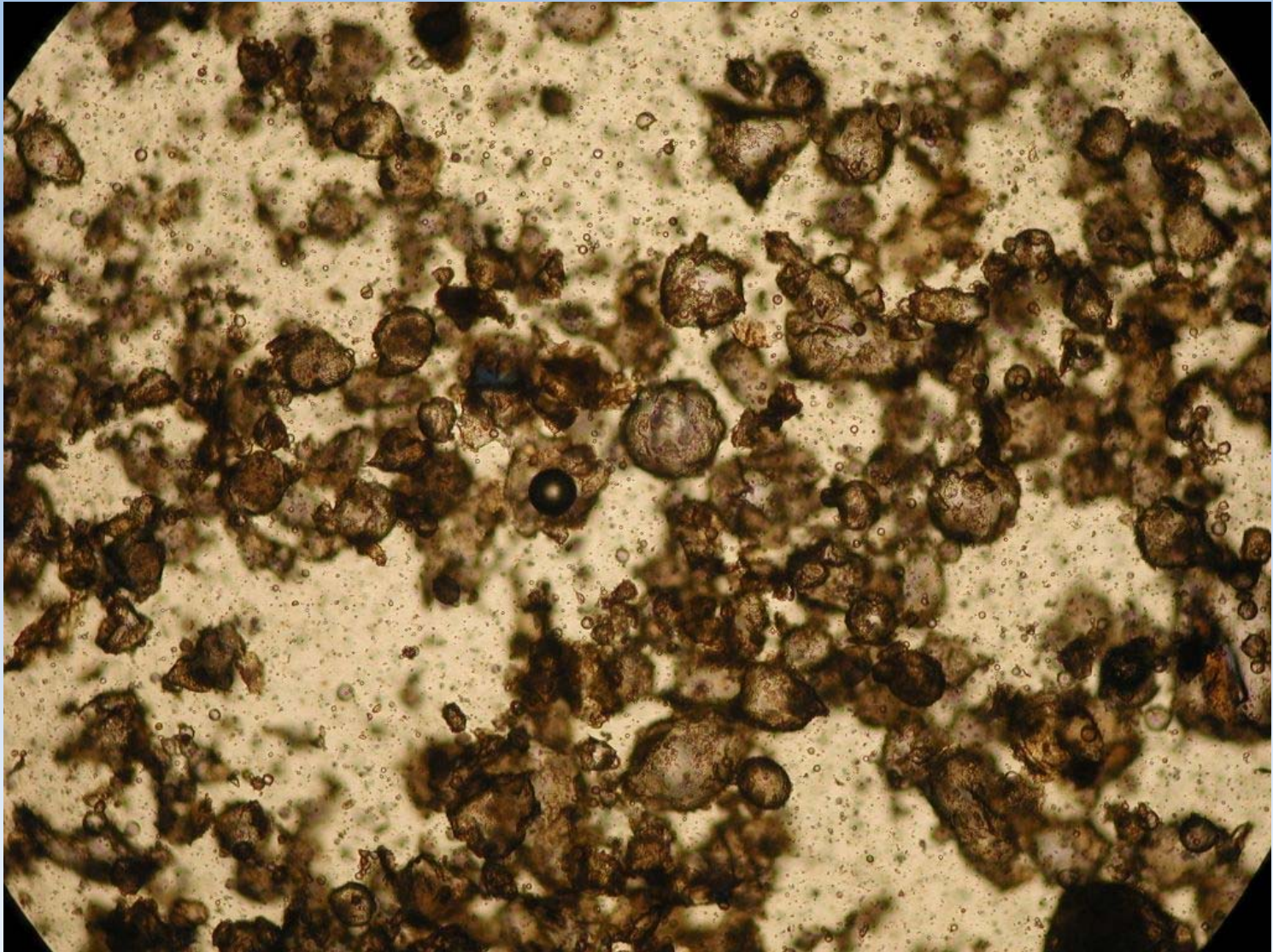
Ligniinipölyä pallon pinnassa



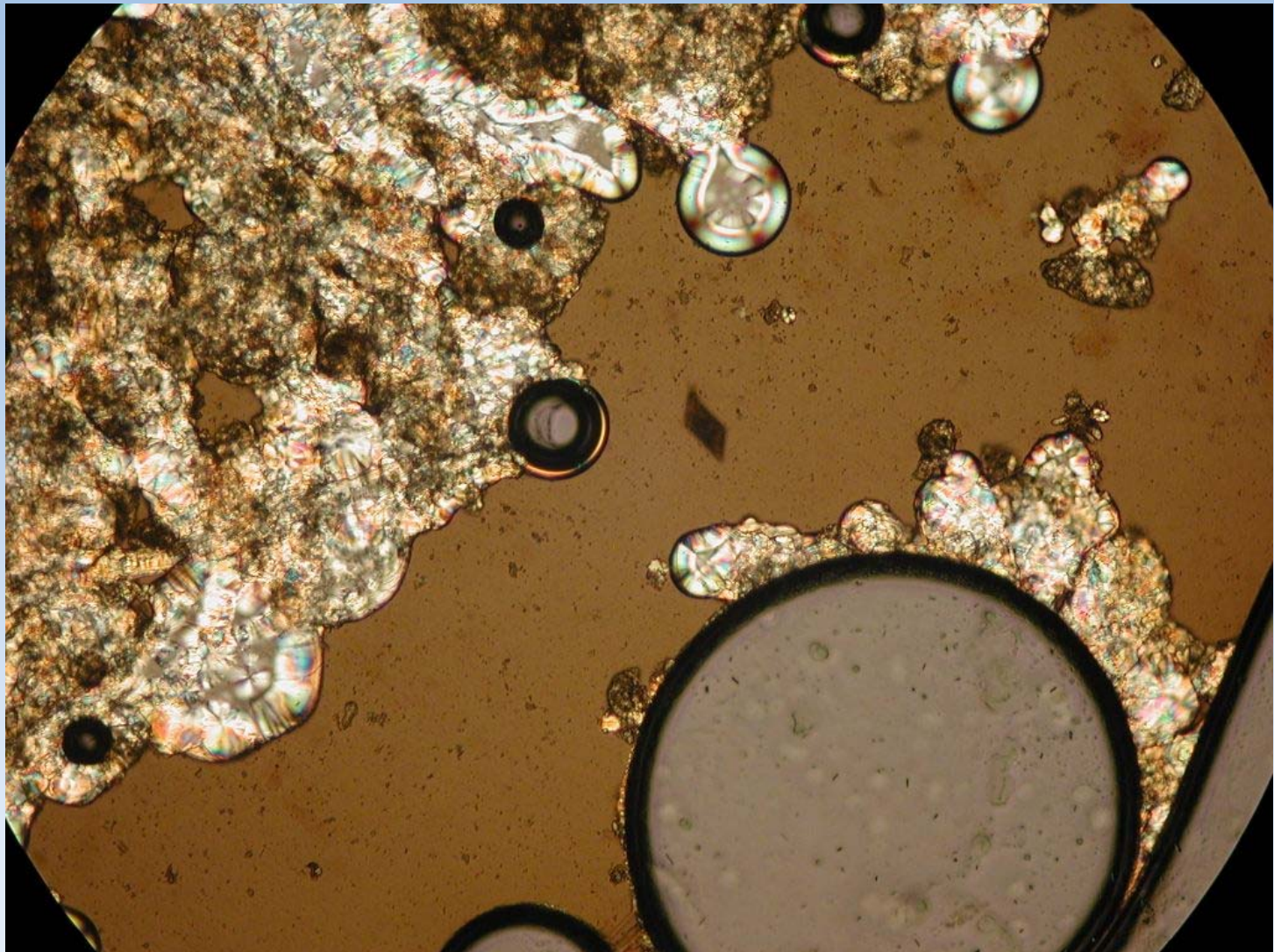
Ligniinilautan rakenne

400x

Hiutalemainen ligniinipöly



Ennen käsittelyä: Öljypalloja ja ligniiniä 100x



Öljy muutettu takaisin suopamuotoon (polarisoiva)
Ligniini poistettu, yhtenäinen suopafaasi

Koetulokset:

- Öljyn muuttaminen takaisin suovaksi valkolipeällä onnistui helposti
- Ligniini liukeni ja syntyi tumma mustalipeä
- Hyvä yhtenäinen suopakerros

Tämä on toimiva menetelmä!

Olosuhteita vielä tarkennettava



Painekuumennuskokeet

Tehdas A

- Ligniinilauttaa (ilman sponttaanisesti erottuvaa öljyä) käsiteltiin autoklaavissa 180 °C, 3,5 h, n. 10 bar
- Muodostui hyvä yhtenäinen öljykerros
- Lisäksi muodostui puuomainen jäykempi ”öljyhiekka”
 - koostui ligniinistä, kipsistä ja öljystä
- Osa öljystä erottui valumalla huonelämpötilassa
- Lämpötilaa nostettaessa puuro pehmeni, mikä mahdollistaa pumppaamisen
- Pohjassa kipsihiekkaa





Ölgy + vesi

Ligniini + kipsi + ölgy

Menetelmä täysin toimiva.

Kuumentamisen takia mäntyöljyn laatu lienee tavallista huonompi (KCL tekee koostumusanalyysin)

Tuote tuskin kelpaa mäntyöljyn jalostajille, on polttoaine

Vielä selvitettävä riittääkö alhaisempi lämpötila (esim. 140 °C)
- voidaanko käyttää matalapainehöyryä?

3. Linkous

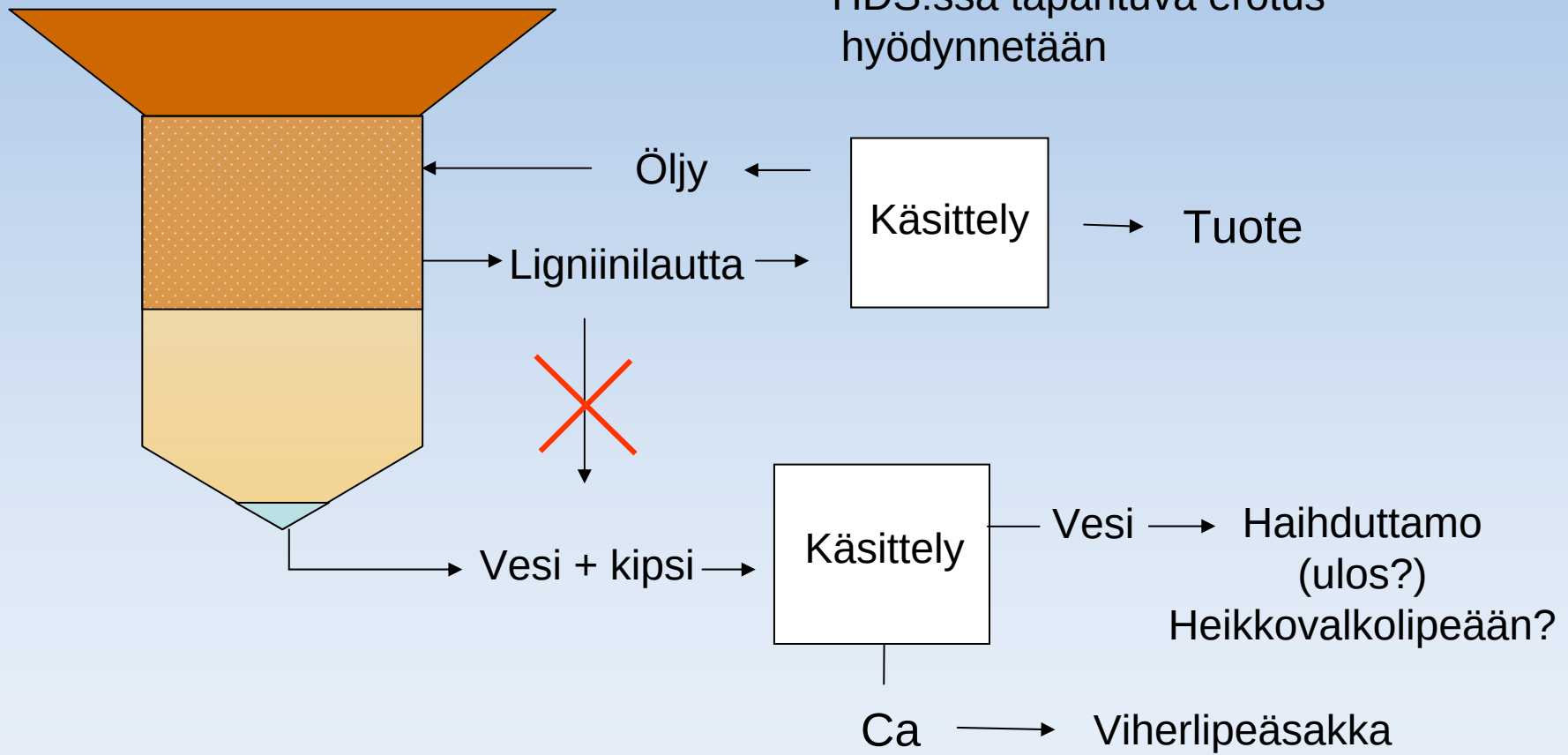
- Toimiva?
- Kallis laitteisto
- Kokeiltava?



Prosessin muodostus tuloksien perusteella



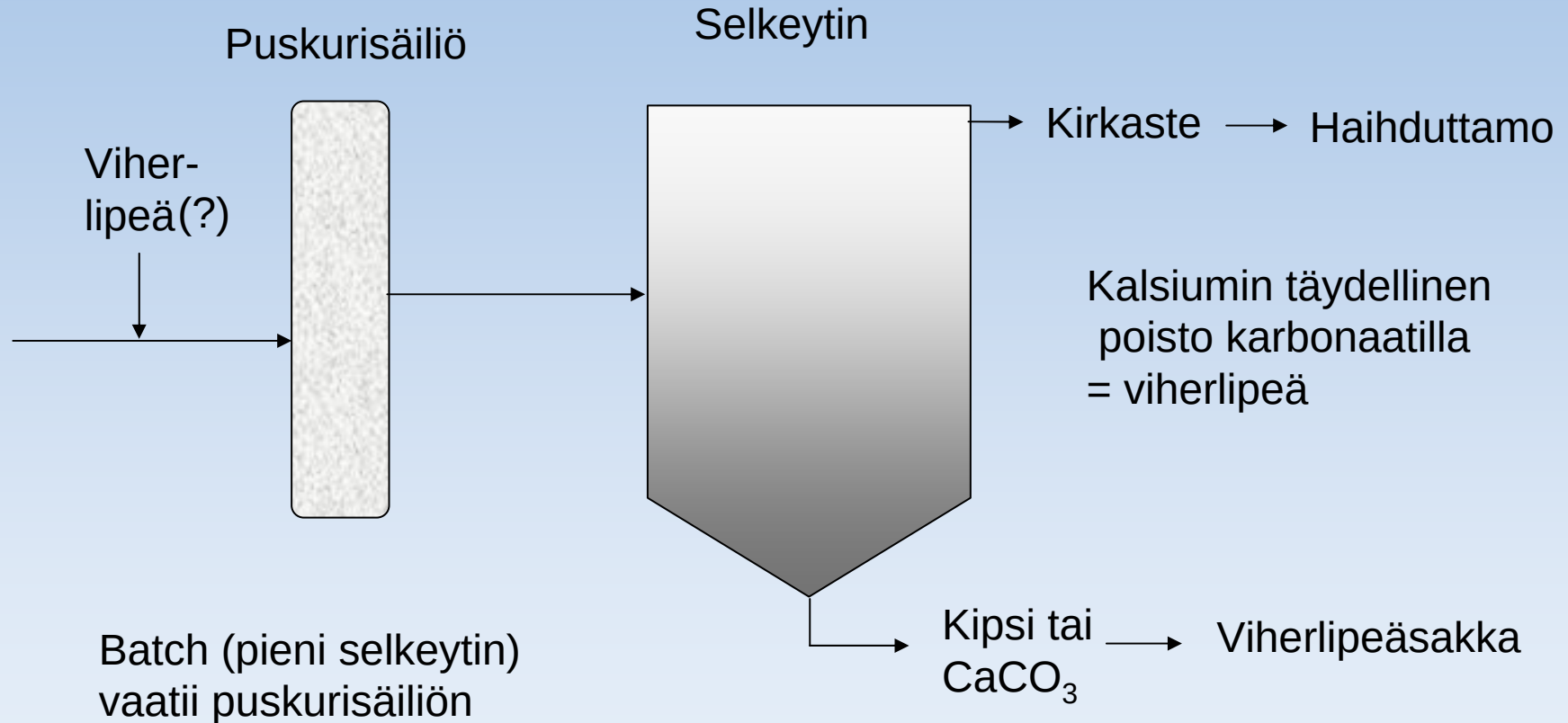
Emäveden jatkokäsittely: Muutokset prosessissa



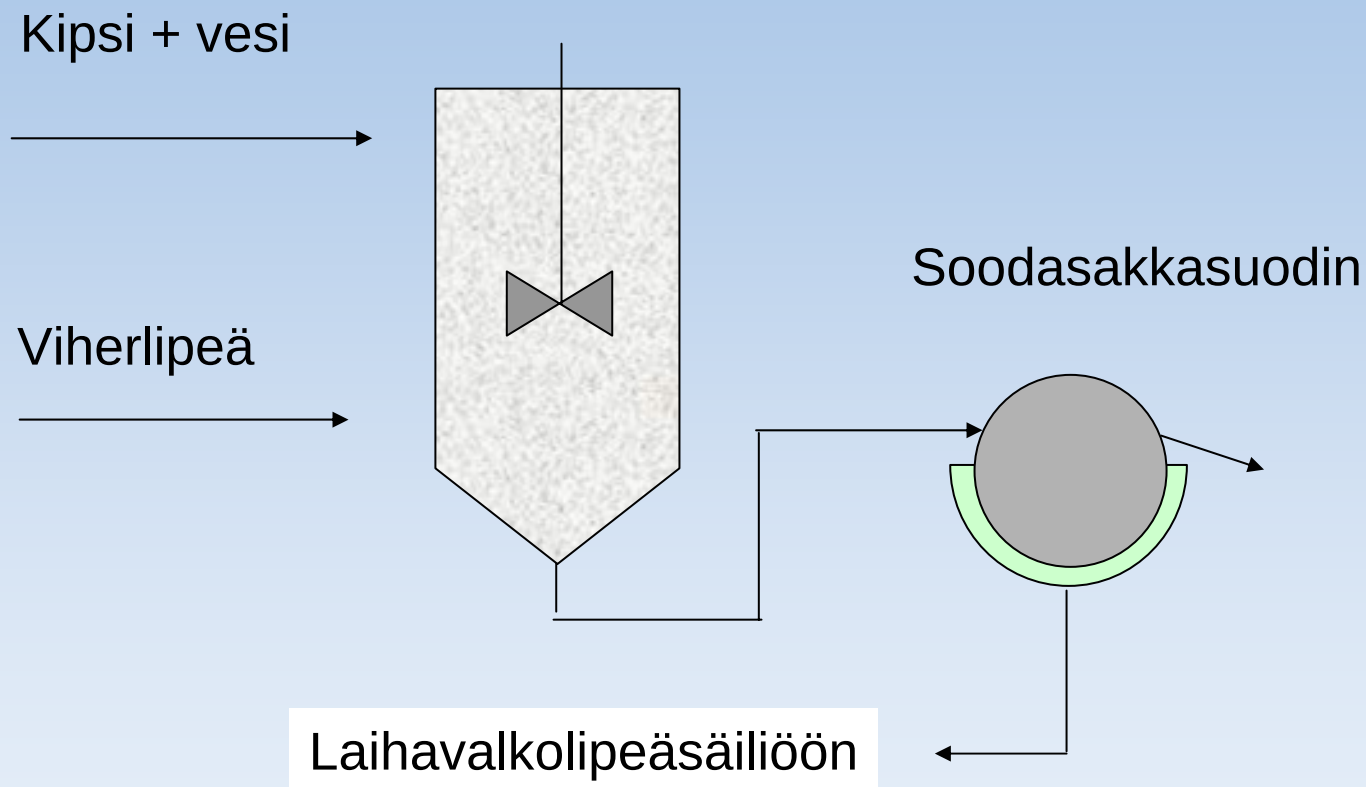
Ensisijainen periaate:
Ligniinilautta ja vesi+kipsiosa
erilleen (ei yhdistetä kuten nyt)
- HDS:ssä tapahtuva erotus
hyödynnetään

Mahdollinen vesi + kipsiosan käsittely:

Jatkuvatoiminen vai batch?



Yksinkertaisempi vaihtoehto:



Haittoja valkoliipeän tuotannossa?
Haihdutussäästö!

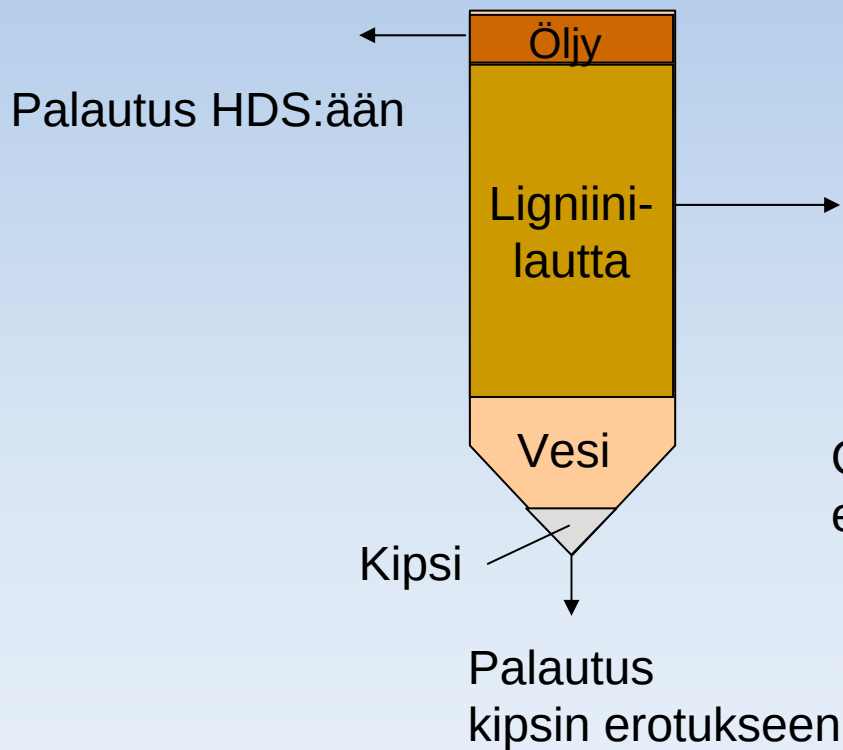
- Äärimmäisen yksinkertainen vaihtoehto
- Lievä sulfaattipitoisuuden nousu keittolipeässä
 - muuten kuitenkin huomattava haihduttamon toiminnan parannus
- Vesi suoraan viherlipeään haihduttamon ja soodakattilan ohi => haihdutussäästö
- Voiko syntyä haittoja valkolipeätuotannossa?

Ligniini- lautan käsittely:

Edullista antaa sen seistä
rauhallisissa oloissa

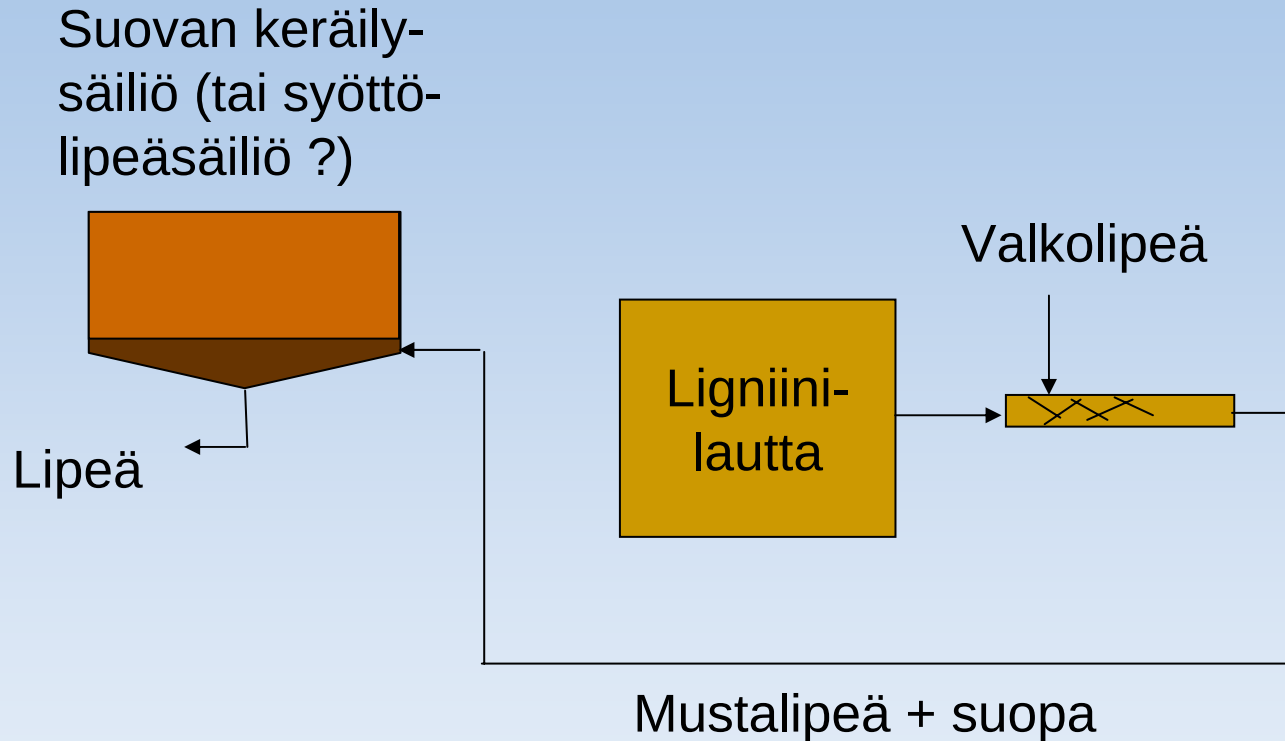
Pelkkä seisottaminen
saa merkittävän osan
öljystä erottumaan
(vaihtelee)

Vaihtoehtoja:
1. Lipeäliuotus
2. Painekeumennus



Osa vedestä ja kipsistä
erottuu tässä

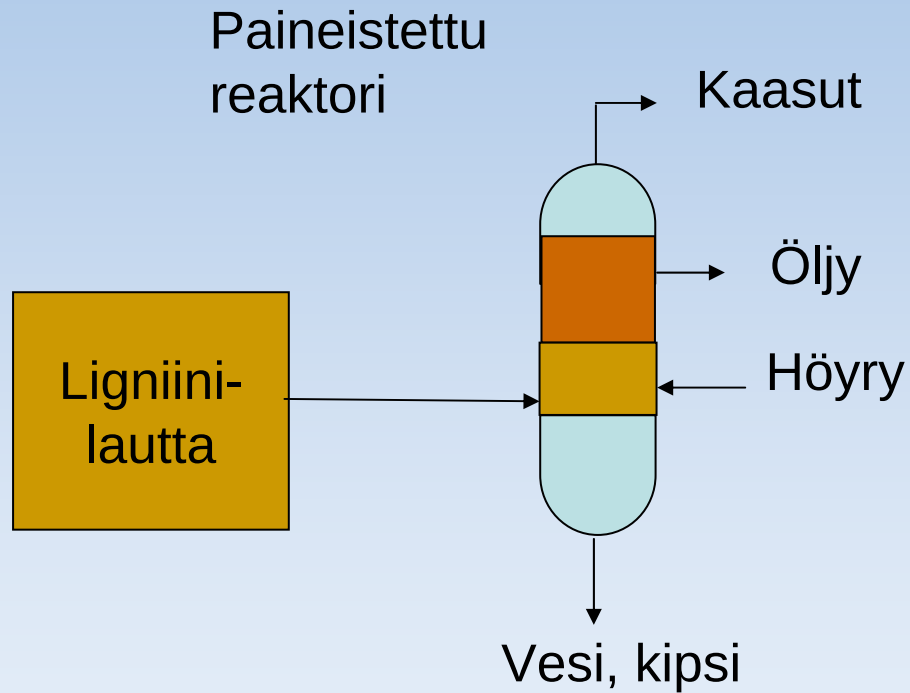
Vaihtoehto 1. Ligniinin liuottaminen valkolipeällä



Öljy palautuu suopamuotoon ja ligniini liukenee muodostaen uudestaan mustaliipeää. Liuennut ligniini menee haihduttamolle.

- Muodostuuko kuitulooppi?
 - suovan kuidut alkavat kiertää?
 - vähemmän jos palautus syöttölipeäsäiliöön
 - riittäisikö mustalipeän alkalisuus suopa-reversioon? Ei tarvittaisi valkolipeää
- Rikkihappoa kuuluu jonkun verran enemmän
 - 10 – 15 %?
 - suodintuhkan liuotus kasvaa vastaavasti,
=> pieni Na-häviön lisäys
- Valkolipeän kulutus pienempi kuin nykyisellä neutraloinnilla
- Etu: Mäntyöljy edelleen korkealaatuista, ei kuumennusta

Vaihtoehto 2. Painekeuumennus



Painekuuminen

- Kemikaaleja ei käytetä
 - rikkihapon kulutus ei kasva
 - suodintuhkan liuotus ei kasva
- Kuluttaa jonkun verran välipaine (?) höyryä (180 °C)
- Ligniinissä jonkin verran lämpöarvoa



Johtopäätöksiä

- Emävetä voidaan käsitellä siten, että mäntyöljyn saantoa voidaan parantaa ja haihduttamoa voidaan suojata haitalliselta kalsiumilta
- MÖ-keittosaantoa voidaan parantaa merkittävästi, lähelle 100 %?
- Ligniinilautasta voidaan tehdä polttoainetta tai normaali-laatuista öljyä jalostukseen



LIITE VI

Sellutehtaan lipeäsäiliöiden optimaalinen koko – toiminnan simulointi

Tarjous, LTY



LAPPEENRANTA
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

TARJOUS

Sellutehtaan lipeäsäiliöiden optimaalinen koko – toiminnan simulointi

Soodakattilayhdistys ry

31.8.2009

Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto
Professori Heikki Haario

1

JOHDANTO

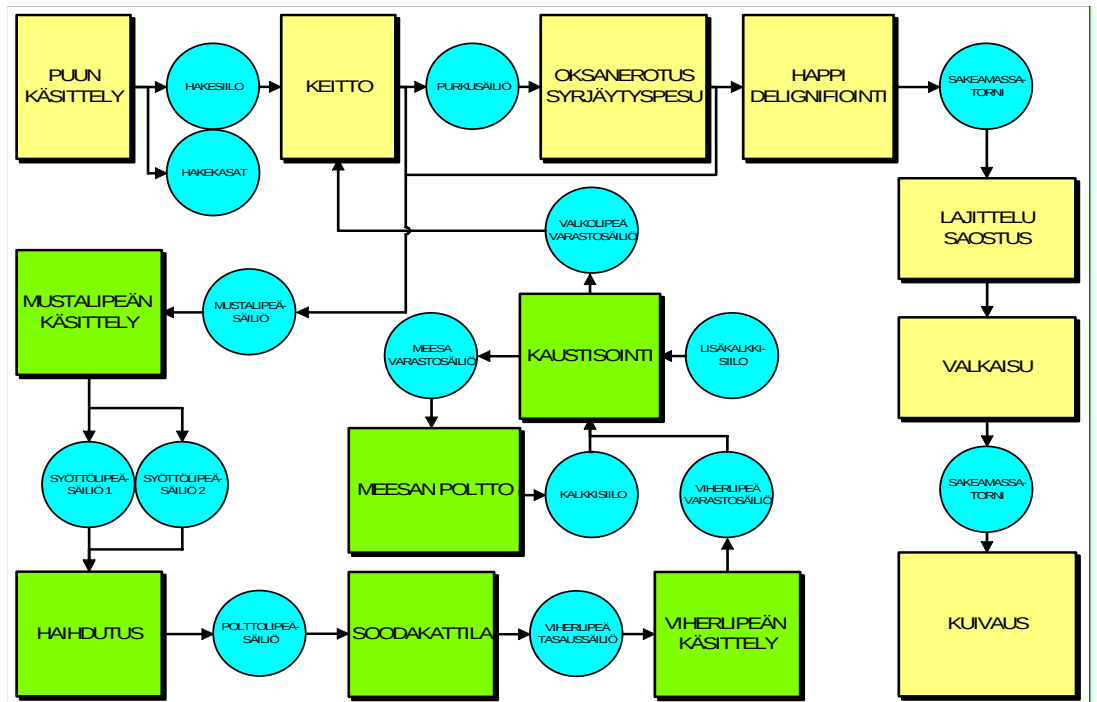
Suomen Soodakattilayhdistys (tilaaja) on halukas selvittämään miten sellutehtaan lipeäsäiliöiden tilavuus pitäisi optimaalisesti määrittää.

Sellutehtaan tuotanto hoidetaan normaalitilanteessa siten, että kukin osasto ajaa osastoa edeltävän säiliön tason mukaan pyrkien ylläpitämään siinä riittävä tilavuus. Vastaavasti pyritään ajamaan osastoa seuraava säiliö niin täyteen kuin mahdollista ennen kuin toimintaa jarrutetaan. Kuitenkin jos osaston toimintahäiriön vuoksi joudutaan kunkin osaston tuotantoa rajoittamaan säiliöiden tilavuuksien rajoissa ja jos säiliöiden kapasiteetti ei riitä, koko tehtaan kapasiteetti rajoittuu.

Materiaalivirtojen ja toimintakyvyn vaihtelusta johtuen säiliöiden mitoituksessa tulee olla puskuroinnin vuoksi ylimääräistä tilaa. Toisaalta myös tarpeettoman suuri ”varmuusvaraksi” rakennettava säiliön tilavuus aiheuttaa ylimääräisiä rakentamis- ja pääomakustannuksia.

Kapasiteetin vaihtelut ovat luonteeltaan satunnaisia. Kerätyn käyttöhistorian ja toiminnan mallintamisen avulla voidaan arvioida vaihteluiden esiintymistä ja laajuutta, josta päästään mitoitukseseen ja puskuritarpeeseen. Asettamalla säiliölle investointikustannus ja menetetylle tuotannolle hinta sekä sopimalla tavoiteltava korkotaso voidaan säiliöiden kokoa kvantifioida ja etsiä optimaalista mitoitusta.

Kapasiteetin vaihtelua ja toimintahäiriöitä aiheuttavia satunnaisia, yllättäviä, tilapäisiä epävarmuustekijöitä ovat esimerkiksi laitehäiriöt, tukkeutumis- ja sähkö- ja ohjaushäiriöt.



TAVOITTEET

Projektissa tehdään diplomityö, jossa tarkastellaan sellutehtaan lipeäsäiliöiden kokoa ja niiden vaikutusta tehtaan tuotantoon.

Työssä selvitetään erityisesti seuraavia seikkoja.

Vaihe 1.

Selvitetään käyttöhistoriatietojen ja käyttöhenkilöstön kokemusten, kirjallisuuden jne. perusteella toimintahäiriöiden ja –rajoitusten esiintymistä, syitä ja mekanismeja sekä kuvataan ajohistoriassa esiintyvän satunnaisten vaihtelun luonnetta, laajuutta, tyyppejä ja vaikutusmekanismeja. Kullekin tehdaskokonaisuuden yksikölle laaditaan alustava toiminnan epävarmuutta ja häiriöalttiutta kuvaava tilastollinen malli.

Selvitetään järjestelmän ohjauksen ja säädön käytäntöjä pinnankorkeuksien hälytysrajojen jne. osalta.

Vaihe 2.

Laaditaan aluksi pelkistetyn tehdaskonfiguraation toimintaa simuloiva laskennallinen malli, joka kostuu yksikköprosessien kuvauksesta ja niiden kytkennöistä. Mallia ajetaan käyttäen Vaiheen 1 mukaista satunnaista syöttödataa. Mallin avulla saadaan kokemuksia joita tarvitaan laajennettaessa lähestymistapaa todellisten tehdaskokonaisuuksien hallintaan. Erityisesti tutkitaan säiliökokojen optimoinnissa kohdefunktion satunnaisuuden vaikutusta: kuinka kokonaiskustannus minimoidaan siten, että ratkaisu annetulla varmuudella selviytyy kaikista ennakoitavissa olevista häiriötilanteista.

Vaihe 3.

Toteutetaan kahdelle valitulle tehdastapaukselle esimerkkilaskelmia säiliöiden mitoituksen vaikutuksesta kokonaisuuden toimintakykyyn, kapasiteettiin, toimivarmuuteen ja kustannuksiin.

Luodaan näille tilanteille Vaiheen 2 mukaiset laskentamallit ja taulukoituja esimerkkejä optimaalisen mitoituksen ohjearvoiksi. Laskelmissa on tarkoitus osoittaa paitsi mitoituksen nominaaliarvot, myös kuvata tilastollisten jakaumien avulla epävarmuuden marginaaleja. Tavoitteena on, että käyttäjä voi asettaa harkitsemansa rajat poikkeustilanteille ja niiden esiintymiselle, jolloin mitoituslaskelma näyttää millaiseen toimintavarmuuteen ja kapasiteettiin valitut säiliökoot johtavat.

Mikäli Soodakattilayhdistys järjestää mittauksia tai saamme käyttöön ajohistoriaa koskevaa seurantadataa, joita voidaan tutkimuksessa hyödyntää, niin niiden ja mallittamisen välinen tarkastelu kuuluu mukaan.



3 RAPORTOINTI JA AIKATAULU

3.1 Raportti

Työn loppuraportti kirjoitetaan englanniksi, mutta työstä raportoidaan suomeksi. Työstä raportoidaan sen kestäessä Suomen Soodakattilayhdistykselle sen haluamalla tavalla.

3.2 Aikataulu

Loppuraportti luovutetaan tilaajalle hyväksymistä varten 8 (kahdeksan) kuukautta tilauksesta.

4 RESURSSIT JA YHTEISTYÖ MUIDEN KANSSA

Projektin organisaatio

Projektin vastuullinen johtaja: Professori Heikki Haario

Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Matematiikan ja Fysiikan laitos

Pääasiallinen tutkija: Tekn yo. N.N. (DI-työ)

Tutkimus tehdään yhteistyössä LUT:n Uusiutuvien energiajärjestelmien laboratorion kanssa (professori Esa Vakkilainen).

Tämän projektin työ ja tulokset tukevat Soodakattilayhdistyksen tavoitetta lipeäkierron hallinnan kehittämiseksi.

5 KUSTANNUSARVIO JA RAHOITUSUUNNITELMA

Projektin kokonaiskustannus on € 15 000 + ALV. Tämä sisältää palkat, matkat ja muut tutkimusmenot. Projektin raportin painatuksesta vastaa Soodakattilayhdistys.

Kokonaiskustannuksista maksaa Soodakattilayhdistys € 5 000,- + ALV tilauksen tultua hyväksytyksi ja € 10 000,- + ALV loppuraportin tultua hyväksytyksi. Maksuaika 30 päivää.