

LIITE 1
Tilinpäätös 2015

TASEKIRJA 31.12.2015

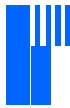
Suomen Soodakattilayhdistys ry

Suomen Soodakattilayhdistys ry

Tilinpäätös tilikaudelta 1.1.2015-31.12.2015

SISÄLLYS

	Sivu
Toimintakertomus	1..18
Tuloslaskelma	19
Tase	20
Liitetiedot	21
Luettelo käytetyistä kirjanpitokirjoista	21
Tositelajit ja säilyttämistapa	21
Tilinpäätöksen allekirjoitus	21
Tilintarkastuskertomus	22
Tase-erittelyt	23
Tili-erittelyt	24..25



TOIMINTAKERTOMUS 1.1.2015 - 31.12.2015

Suomen Soodakattilayhdistys ry

Sisältö

- 1 SUOMEN SOODAKATTILAYHDISTYS RY:N TOIMINTAPERIAATTEET**
- 2 HALLITUKSEN TOIMINTAKERTOMUS 2015**
- 3 KESTOISUUSTYÖRYHMÄN TOIMINTAKERTOMUS 2015**
- 4 LIPEÄTYÖRYHMÄN TOIMINTAKERTOMUS 2015**
- 5 YMPÄRISTÖTYÖRYHMÄN TOIMINTAKERTOMUS 2015**
- 6 AUTOMAATIOTYÖRYHMÄN TOIMINTAKERTOMUS 2015**
- 7 OHJELMATYÖRYHMÄN TOIMINTAKERTOMUS 2015**
- 8 OPINNÄYTETETYÖPALKINTO**
- 9 TOIMINNAN RAHOITUS 2015**

LIITTEET

- | | |
|-----------|--|
| Liite I | Yhdistyksen säännöt |
| Liite II | Hallituksen ja työryhmien kokoonpanot 2015 |
| Liite III | Työryhmien toimenkuvat |
| Liite IV | Julkaistut raportit 2015 |
| Liite V | Jäsen- ja yhdyshenkilöt 2015 |
| Liite VI | Jäsenmaksut 2015 |



1 SUOMEN SOODAKATTILAYHDISTYS RY:N TOIMINTAPERIAATTEET

Suomen Soodakattilayhdistyksen tarkoitus on edistää soodakattiloiden ja niihin läheisesti liittyvien prosessien turvallista, taloudellista ja ympäristöystävällistä käyttöä sekä kehitystyötä.

Yhdistyksen puitteissa kerätään tiedot soodakattiloissa tapahtuneista vaurioista ja vaaratilanteista sekä informoidaan jäseniä näistä saaduista kokemuksista.

Yhdistys järjestää ja seuraa soodakattila-alan kansainvälistä yhteistoimintaa. Yhdistyksen tehtävänä on muun muassa muiden maiden määräysten ja suositusten saattaminen jäsentensä käyttöön.

Yhdistys voi harjoittaa kirjallisuuspalvelua, julkaisutoimintaa sekä koulutusta edistääkseen päämääriään. Soodakattila-alan esitelmätilaisuuksien ja kokousten järjestäminen sekä osallistuminen tällaisiin ovat osa toimintaa.

Yhdistys voi harjoittaa tai tukea sellaisia tutkimuksia tai projekteja, jotka tähtäävät soodakattiloiden ja niihin läheisesti liittyvien prosessien käyttövarmuuden, taloudellisuuden ja ympäristöystävällisyyden parantamiseen.

Suomen Soodakattilayhdistyksen toimintasääntö on liitteessä I.



2 HALLITUKSEN TOIMINTAKERTOMUS 2015

2.1 Hallituksen toiminta

Suomen Soodakattilayhdistyksen toimeenpanevana elimenä on hallitus. Hallituksen puheenjohtajana toimi Kari Ala-Kaila (Metsä Fibre Oy) ja varapuheenjohtajana Toni Orava (UPM-Kymmene Oyj, Kymi). Puheenjohtajan henkilökohtaisena varajäsenenä toimi Timo Merikallio (Metsä Fibre Oy).

Vuoden aikana tapahtui hallituksessa seuraavia muutoksia: Ympäristötyöryhmän puheenjohtajaksi valittiin Timo-Pekka Veijonen (Stora Enso Biomaterials, Pulp Competence Centre) Harri Jussilan tilalle. Veijosen varajäseneksi hallitukseen valittiin Sanna Hämäläinen (Metsä Fibre Oy). Jorma Torniaisen (Labtium Oy) varajäseneksi valittiin Kaarina Fagerholm (Labtium Oy). Andritzin edustajaksi hallitukseen valittiin Keijo Salmenoja ja hänen varajäseneksi Jukka Röppänen (Andritz Oy). Timo Kurki valittiin IF Vahinkovakuutusyhtiön edustajaksi hallitukseen ja hänen varajäsenekseen Ari Santavuori (IF Vahinkovakuutus Oy).

Hallituksen ja työryhmien kokoonpanot vuonna 2015 on esitetty liitteessä II.

Hallitus piti vuoden 2015 aikana kolme kokousta.

Sääntöjen mukaan vuosikokous valitsee hallituksen jäsenille henkilökohtaisen varajäsenen, joka edustaa varsinaista jäsentä tämän ollessa estynyt osallistumaan hallituksen kokoukseen.

2.2 Sihteeristön toiminta

Suomen Soodakattilayhdistyksen hallitus päätti ostaa vuoden 2015 sihteeristö- ja taloushallintapalvelut Pöyry Finland Oy:ltä. Sihteeristöpalveluista tehtiin kirjallinen sopimus. Kuluva sopimuskausi alkoi 23.4.2015 ja jatkuu vuoden 2016 vuosikokoukseen saakka, kuitenkin enintään 31.5.2016 asti.

Yhdistyksen kirjanpito- ja talouspalvelut vuonna 2015 tilattiin alihankintana Pirca Oy:ltä.

Vuonna 2015 Suomen Soodakattilayhdistyksen sihteeristössä tapahtui muutoksia. Yhdistyksen vastuullisena sihteerinä toimi Markus Nieminen ja hänen sijaiseksi valittiin Antti Tikkanen Outi Suomen tilalle. Toimistosihteerinä toimi Päivi Lampinen.

Sihteeristön tärkeimpinä tehtävinä ovat olleet:

- taloushallinto
- laskutus ja laskujen maksu
- kokousjärjestelyt
- tapahtumien myynti ja markkinointi
- työsuunnittelu ja muistioiden laadinta
- kotisivun ylläpito
- vauriotietokannan ylläpito
- julkaisutoiminta
- yhteydenpito muihin alan järjestöihin



Taloushallintoon on kuulunut tilikauden 1.1.–31.12.2015 tilintarkastuksen järjestäminen sekä vuoden 2015 kirjanpito ja kustannusseuranta. Sihteeristö on huolehtinut yhdistyksen jäsenmaksujen ja osallistumismaksujen laskutuksesta sekä hoitanut yhdistyksen laskujen maksun.

Sihteeristön suunnittelutyöhön ovat kuuluneet yhdistyksen vuosikokouksen, seminaarin, hallituksen ja eri työryhmien kokousten järjestäminen, tutkimussuunnitelmien ja sopimusten laadinta sekä vuosibudjetin tekeminen.

Julkaisutoimintaan ovat kuuluneet muun muassa hallituksen ja eri työryhmien kokousmuistiot, kokousmateriaalit Konemestaripäivälle 2015 ja Soodakattilapäivälle 2015, vuosikertomus 2014 ja pöytäkirja Suomen Soodakattilayhdistyksen vuosikokouksesta 23.4.2015 sekä tutkimusraportit.

Kansainvälisiä yhteyksiä on ylläpidetty Ruotsiin Sodahuskommitténiin, Yhdysvaltoihin Black Liquor Recovery Boiler Advisory Committee:hen (BLRBAC), American Forest and Paper Association:iin sekä Brazilian Recovery Boiler Safety Committee:hen (CSCRB). Sihteeri piti esitelmän Suomen Soodakattilayhdistyksen toiminnasta ÅF:n järjestämässä Sodahuskonferenssissa Tukholmassa ja vastavuoroisesti Sodahuskommitteen sihteeri piti esitelmän heidän toiminnastaan yhdistyksen Soodakattilapäivillä. Lisäksi sihteeri lähetti esitykset toiminnasta AF&PA järjestämään 2015 Recovery Boiler Conference –seminaariin sekä CSCRB:n seminaariin ja sai vastaavat esitykset pidettäväksi Soodakattilapäivillä.

Työryhmien toimenkuvat on esitetty liitteessä III.

2.2.1 Julkaistut raportit 2015

Vuonna 2015 yhdistys julkaisi yhteensä 9 raporttia internetsivuillaan. Julkaisuista tiedotettiin sähköpostilla yhdistyksen hallitusta, työryhmiä sekä jäsenyhdyshenkilöitä. Seminaariesitelmät, vuosikertomus 2014 sekä vuosikokouksen pöytäkirja painettiin myös paperille.

Vuonna 2015 julkaistut raportit on esitetty liitteessä IV.

2.3 Jäsenistö

Yhdistyksen jäsenyrityksistä yksi muutti nimeään, Valmet Power Oy nimi muuttui Valmet Technologies Oy:ksi.

Yhdistyksen jäsenmäärä kasvoi yhdellä, kun vuosikokous 2015 päätti valita Replico Oy:n yhdistyksen jäseneksi. Yhdistyksen jäsenmäärä on tällä hetkellä 28.

Yhdyshenkilöissä tapahtui seuraavat muutokset:

Andritz Oy:n yhteyshenkilöksi tuli Keijo Salmenoja, Marja Heinolan tilalle; Kotkamills Oy:n yhteyshenkilöksi Jarmo Latva, Ari Mikkelen tilalle; Metsä Fibre Oy Joutsenon tehtaan yhteyshenkilöksi Kimmo Pakkanen, Antti Vainio-Pekan tilalle; Metsä Fibre Oy Kemin tehtaan yhteyshenkilöksi Tomi Seppä, Pekka Postin tilalle; Pohjola Vakuutus Oy:n yhdyshenkilöksi Harri Janhonen, Mika Kivistön tilalle; Stora Enso Oyj Heinola Fluting tehtaan yhdyshenkilöksi Eija Liikola, Sami Kalmin tilalle sekä Stora Enso Oyj Veitsiluodon tehtaan yhdyshenkilöksi tuli Kari K. Salminen, Pekka Nykäsen tilalle;

UPM-Kymmene Oyj Kaukaan tehtaan yhteyshenkilöksi Cay Gunnila, Ismo Tapalisen tilalle. Uuden jäsenyrityksen Replico Oy:n yhteyshenkilöksi valittiin Jyri Järvi.

Suomen Soodakattilayhdistyksen jäsen- ja yhteyshenkilöluettelot vuonna 2015 on esitetty liitteessä V.

Vaurioraportoinnin yhteyshenkilöissä tapahtui seuraavat muutokset: IF Vahinkovakuutus Oy:n yhteyshenkilöksi tuli Ari Santavuori, Jaakko Tukian tilalle; Pohjola Vakuutus Oy:n yhteyshenkilöksi Harri Janhonen, Mika Kivistön tilalle; Stora Enso Oyj Heinola Fluting tehtaan yhteyshenkilöksi Eija Liikola, Sami Kalmin tilalle; UPM-Kymmene Oyj Kaukaan tehtaan yhteyshenkilöksi Cay Gunnila, Ville-Veikko Viinikaisen tilalle sekä UPM-Kymmene Oyj:n Kymin tehtaalle yhdyshenkilöksi tuli Ilkka Välipakka, Raine Rantasen tilalle. Andritzin yhdyshenkilöksi tuli Tony Puikkonen, Lasse Koiviston tilalle. Uuden jäsenyrityksen Replico Oy:n vaurioraportoinnin yhteyshenkilöksi valittiin Päivi Lemberg.

Jäsentehtaat vuoden 2015 lopussa:

- Metsä Fibre Oy, Joutsenon tehdas
- Metsä Fibre Oy, Kemin tehdas
- Metsä Fibre Oy, Rauman tehdas
- Metsä Fibre Oy, Äänekosken tehdas
- Kotkamills Oy
- Stora Enso Oyj, Enocell Oy
- Stora Enso Oyj, Heinolan Flutingtehdas
- Stora Enso Oyj, Imatran tehtaat
- Stora Enso Oyj, Oulun tehdas
- Stora Enso Oyj, Varkauden tehdas
- Stora Enso Oyj, Veitsiluodon tehtaat
- Stora Enso Oyj, Sunilan tehdas
- UPM-Kymmene Oyj, Kaukas
- UPM-Kymmene Oyj, Pietarsaaren tehtaat
- UPM-Kymmene Oyj, Kymi, Kuusaanniemen sellutehdas

Muut jäsenet vuoden 2015 lopussa:

- Andritz Oy
- If Vahinkovakuutus Oy
- Inspecta Oy
- Valmet Technologies Oy
- Pohjola Vakuutus Oy
- Pöyry Finland Oy
- Lactium Oy
- Caverion Industria Oy
- Replico Oy

Ulkojäsenet vuoden 2015 lopussa:

- Aalto-yliopisto
- Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu
- Åbo Akademi
- Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes)



3 KESTOISUUSTYÖRYHMÄN TOIMINTAKERTOMUS 2015

3.1 Työryhmän toiminta ja vaurioraportointi

Kestoisuustyöryhmän puheenjohtajana on toiminut Reijo Hukkanen Stora Enso Oyj, Oulun tehtailta. Työryhmään valittiin uudeksi jäseneksi Tony Puikkonen (Andritz Oy).

Työryhmän kokoonpano toimintavuonna 2015 on esitetty liitteessä II.

Jäsenistöltä saatujen, 28.1.2016 mennessä sihteeristöön palautettujen vaurioraporttien mukaan vuoden 2015 aikana tapahtui 9 kattilavauriota, jotka aiheuttivat yhteensä 350 tunnin keskeytyksen lipeän polttoon. Kestoisuustyöryhmä antoi lausunnon jokaiseen raportoituun vaurioon.

Kestoisuustyöryhmä kokoontui vuoden aikana neljä kertaa.

3.2 Työryhmän tehtäväalueen projektitoiminta

Kestoisuustyöryhmällä on ollut vuoden 2015 aikana vauriotietokannan ylläpidon lisäksi kolme projektia:

- Vauriotietokanta
- Soodakattilalaitoksen suojaussuosituksen päivitys
- Sularännien laadunvarmistus- ja tarkastusohjeistus
- Ääninuohouksen mahdollisuudet soodakattilassa

3.2.1 Vauriotietokanta

Vauriotietokannan tarkoituksena on kerätä tietoa sattuneista soodakattilavaurioista/ vaaratilanteista, ja levittää tietoa jotta vastaavia tapauksia ei sattuisi jatkossa. Vauriotietokanta on sijoitettu Soodakattilayhdistyksen kotisivulle. Vaurioilmoitukset tehdään internetin kautta suoraan tietokantaan, ja siihen on syötetty yhdistyksen keräämät vaurioilmoitukset alkaen vuodesta 1970.

Yhdistyksen kestoisuustyöryhmä antaa vauriosta lausunnon, jossa johtopäätökset ja opetukset tapahtuneesta.

3.2.2 Soodakattilalaitoksen suojaussuosituksen päivitys

Projektin tarkoituksena on päivittää vuonna 1997 julkaistu soodakattilalaitoksen suojaussuositus vastaamaan nykytilannetta ja -tarvetta seuraavin osin:

- Osa 1. Soodakattilan materiaalit ja hitsaukset
- Osa 2. Soodakattilapinnoitukset
- Osa 3. Paineastian korjaukset
- Osa 4. Soodakattilatarkastukset

Suojaussuosituksen päivitys tullaan julkaisemaan vuoden 2016 puolella.

3.2.3 Sularännien laadunvarmistus- ja tarkastusohjeistus

Yhdistyksen vauriotietokantaan on raportoitu useita sularännivauriota viimeisen kahden vuoden aikana. Koska vaurioita on ollut normaalia enemmän, kestoisuustyöryhmän päätti käynnistää projektin, jonka tavoitteena tehdä sularännien laadunvarmistus- ja

tarkastusohjeistus. Ensimmäisessä vaiheessa vuoden 2015 aikana kerättiin tietoa tapahtuneista vaurioista kyselyn avulla.

3.2.4 Ääninuohouksen mahdollisuudet soodakattilassa, TTY

Soodakattiloissa on 30 vuoden aikana kokeiltu ääninuohousta ratkaisemaan paikallisia tukkeentumisongelmia. Kokeilut eivät kuitenkaan ole johtaneet pysyviin ratkaisuihin soodakattiloiden nuohouksessa ja niistä ei ole tehty julkisia dokumentteja. Soodakattilan savukaasuihin muodostuva pöly on sittemmin muuttunut helpommin nuohottavaksi rikkidioksidin vähetessä savukaasuissa. Myös ääninuohouslaitteiden kehitys antaa aiheen suorittaa tutkimus ääninuohouksen soveltuvuudesta soodakattilaprosessin yhteyteen.

Ensimmäisessä vaiheessa yhdistys teetti kandidaattityön aiheesta Tampereen teknillisessä korkeakoulussa. Työn tavoitteena oli koota yhteen laitevalmistajien ja loppukäyttäjien ääninuohouksesta kerryttämää kokemusta soodakattilaprosessin yhteydessä.

Kandidaattityö valmistui keväällä 2015. Yhteenvedo tuloksista:

- Ääninuohousta ei ole juurikaan käytetty soodakattilaprosessin yhteydessä ja tutkimustietoa on saatavilla rajoitetusti. Kokemuksia on kertynyt muutamilta tehtailta, joissa ääninuohousta on käytetty mm. sähkösuodatinta edeltävillä jakovirtauslevyillä ja sähkösuotimen ja savukaasupuhaltimen välisissä lämmönvaihtimissa.
- Olemassa olevien tutkimusten ja käyttökokemusten perusteella ääninuohous ei toimi, jos kerrostuma on osin sulaa. Ääninuohous soveltunee kuitenkin viileämpien pintojen, missä tuhka on kiinteää, puhdistamiseen soodakattilassa yhtä hyvin kuin muissakin voimakattilatyypeissä.
- Ääninuohouksen etuina höyrynuohoukseen voidaan pitää erityisesti sen matalia käyttökustannuksia ja tiheää toimintasykliä.

Kandidaattityö julkaistiin yhdistyksen kotisivuilla, [raportti 8/2015](#).

4 LIPEÄTYÖRYHMÄN TOIMINTAKERTOMUS 2015

4.1 Työryhmän toiminta

Lipeätyöryhmän puheenjohtajana on toiminut Toni Orava, UPM-Kymmene Oyj, Kymi. Työryhmän sihteeriksi valittiin vuosikokouksessa Antti Tikkanen (Pöyry Finland Oy).

Työryhmän kokoonpano toimintavuonna 2015 on esitetty liitteessä II.

Lipeätyöryhmä kokoontui vuoden aikana kolme kertaa.

4.2 Työryhmän tehtäväalueen projektitoiminta

Lipeätyöryhmän tehtäväalueella on ollut vuoden 2015 aikana kuusi projektia:

- Mustalipeän Ei-newtonilaisuus ja pisaroituminen, Labtium/Aalto-yliopisto
- CFD Modeling of Reduced Lignin Black Liquor Combustion, ÅA
- CFD Modeling of Reduced Lignin Black Liquor Combustion – Phase 2, ÅA
- Understanding Low Temperature Corrosion in BL Combustion, ÅA
- Understanding Low Temperature Corrosion in BL Combustion – Phase 2, ÅA
- Black Liquor Evaporation Book, ÅA

4.2.1 Mustalipeän ei-newtonilaisuus ja pisaroituminen, Labtium/Aalto

Projektin tuloksena saatiin tietoa erilaisten mustalipeiden ei-Newtonilaisesta käyttäytymisestä sekä vaikutuksesta soodakattilan toimintaan, erityisesti mustalipeän ruiskutukseen. Ei-Newtonilaisen nesteen viskositeetti riippuu lämpötilan ja kuiva-aineen lisäksi myös leikkausnopeudesta. Tutkimuksessa mitattiin lehtipuulipeän, havupuulipeän, sekalipeän ja eukalyptuslapeän viskositeetti.

Kaikki lipeät olivat ei-Newtonilaisia pienillä leikkausnopeuksilla. Tämä vaikuttaa pisaroitumiseen, palamiseen ja mahdollisesti haihduttamon viimeisen yksikön toimintaan. Ruiskutuksen jälkeen tulipesässä leikkausnopeudet ovat pieniä ja mustalipeä tämän takia ei-newtonilaista. Tämä vaikuttaa keon muotoon ja koostumukseen sekä intensiivisimmän palamisen sijaintiin tulipesässä.

Tutkimusta varten kehitettiin paineistettava mustalipeän näytteenotin. Näin varmistettiin kuumassa mustalipeässä olevan höyryn pysyminen näytteessä ja siten todellisen kuiva-ainepitoisuuden mittaaminen. Mustalipeän kuiva-ainepitoisuus on tärkeä suure, koska monet muut mustalipeän ominaisuudet, kuten kiehumapisteennousu ja viskositeetti esitetään kuiva-aineen funktiona. Uudella menetelmällä otettuja näytteitä verrattiin vanhalla menetelmällä otettuihin näytteisiin. Kahdessa tapauksessa kolmesta kuiva-ainepitoisuus aleni, kuten oletetaan höyryn päätyessä lipeään. Kolmannessa tapauksessa kuiva-aine kohosi käytettäessä paineistettua näytteenotinta. Näytteen ottaminen ja käsittely tai sulfidin hapettuminen voivat aiheuttaa ko. virheen.

Lisäksi projektissa selvitettiin jatkuvatoimisen kapillaariviskometrin soveltuvuutta tehdasolosuhteissa viskositeetin mittaukseen. Tutkimuksessa käytetyn online-viskometrin tarkkuudeksi arvioitiin laboratoriossa huoneenlämpöisellä kalibrointinesteellä 15 %. Tehtaalla tarkkuus on huonompi, koska lämpötilan ja virtauksen säätö ovat vaikeampia. Kapillaariviskometrasta olisi kuitenkin kehitettävissä jatkuvatoiminen mittalaite. Laitet-

ta voitaisiin käyttää esimerkiksi ruiskutuksen ohjaukseen, jolloin voitaisiin reagoida viskositeettimuutoksiin jo ennen keossa tai palamisessa havaittuja muutoksia.

Projektin loppuraportti julkaistaan yhdistyksen kotisivuilla 2016.

4.2.2 CFD Modeling of Reduced Lignin Black Liquor Combustion, ÅA

Projektissa saatiin perustietoa CFD-mallinnuksen avulla kuinka suuria muutoksia ligniinin talteenotto aiheuttaa soodakattilan ilmajakoon / lipeän ruiskutukseen. Projektissa tutkitaan seitsemän erilaista tapausta (case):

- Case 1: Perustapaus, kattilan kuorma 100%, savukaasujen happi 3%
- Case 2&3: Ligniiniä vähennettäessä (10% tai 20%) keko palaa pois, jos muutoksia ei tehdä = hiiltä kulkeutuu vähemmän tulipesän alaosaan. Kattilakuorma väheni ligniinipoiston verran
- Pelkät ilmajakomuutokset (Case 4-5) tai ruiskutuslämpötilan muutokset (Case 6-7) tasapainotilaan (hiilitase = 0) pääsemiseksi ovat suuria, jos kattilakuormaa pudotetaan myös -> näin suuret muutokset eivät mahdollisia todellisuudessa.

Lopputuloksena todettiin että sekä ilmajako että ruiskutuslämpötilaa tulee muuttaa yhdessä. Tulokset on julkaistu yhdistyksen raporttina [4/2015](#).

4.2.3 CFD Modeling of Reduced Lignin Black Liquor Combustion – Phase 2, ÅA

Projekti oli jatkotutkimus aikaisemmalle Åbo Akademin projektille “[CFD Modeling of Reduced Lignin Black Liquor Combustion](#)”.

Jatkotutkimuksen tavoitteena oli tarkentaa aikaisemmassa projektissa saatuja tuloksia mallintamalla vähäligniinisen mustalipeän palamista soodakattilassa ja siihen tarvittavien muutosten suuruutta (ilmajako, lipeän ruiskutuslämpötila). Sensitiivisyysanalyysin perusteella orgaanisten hiiliyhdisteiden jakautuminen haihtuviin ja sulaan ei muutu verrattuna tavalliseen mustalipeään (50/50). Aikaisemmassa projektissa oletettu palavan hiilen määrän sulassa vähenevän, joka vaikutti tuloksiin huomattavasti.

Åbo Akademin CFD-mallilla laskettiin seuraavat tapaukset:

- Case 8 ja 9: sama kuin edellisen projektin case 2&3
- Case 10 ja 11: Muutettiin ilmajakoa ja ruiskutuslämpötilaa siten että hiilitase = 0
- Case 12 % 13: Samat kuin case 10&11, mutta 100% kattilakuormalla

Tulokset jos lipeästä vähennetään 20% ligniiniä:

- Jos ilmajako pysyy samana (p22%/s43%/t35%) ruiskutuslämpötilaa pitää pudottaa noin 1 °C.
- Jos halutaan korvata ligniinin talteenoton aiheuttama lämpöarvon alenema syöttämällä enemmän ilmaa (p28%/s40%/t32%) ja lipeää tulipesän alaosaan (korkeampi lämpötila) lipeän lämpötilaa tulee pudottaa noin 3.6 °C
- Tulokset ovat suuria, mutta mahdollista tehdä nykyisillä laitteilla

Projekti valmistui vuoden 2015 lopulla, ja tulokset julkaistiin yhdistyksen kotisivuilla raporttina [3/2016](#).

4.2.4 Understanding Low Temperature Corrosion in BL Combustion, ÅA

Projektin tavoitteena on pidemmällä aikavälillä mahdollistaa alemmat savukaasun lämpötilat, jolloin saadaan enemmän energiaa talteen savukaasuista. Lyhyellä aikavälillä pyritään ymmärtämään syitä matalan lämpötilan korroosioon (miksi ei havaittu tehdaskokeissa vaikka kokemuksia korroosiosta löytyy) laboratoriokokeiden avulla.

Projektissa kehitettiin menetelmä testata hydroskooppisten suolojen vaikutusta hiiliteräksen korroosioon matalissa savukaasun lämpötiloissa eri kosteusprosentteilla. Menetelmä testattiin kahdella suolalla (NaHSO_4 , Na_2SO_4), lämpötiloissa 90-120 °C, kosteudella 60 %.

- Natriumvetysulfaattikokeissa havaittiin pistekorroosiota ja raudan hapettumista, joka viittaa happamaan natriumvetysulfaatti korroosioon. Korroosio kasvoi lämpötilan laskiessa, suurimmat pisteet havaittiin 90 °C lämpötilassa.
- Natriumsulfaatinkokeissa rautaoksidea (korroosiota) muodostui 90 °C lämpötilassa ja vähemmän 100 °C, 110 °C ja 120 °C kaasun lämpötiloissa korroosiota ei havaittu

Yhteenvedon voidaan todeta että savukaasun sisältämät hydroskooppiset suolat voivat imeä itseensä kosteutta savukaasuista vesikastepistettä korkeammassa lämpötilassa. Savukaasujen kosteuden kasvaessa esim. nuohojen ohittaessa kiinteät suolat liukenevat asteittain ja muodostavat happaman liuoksen, joka aiheuttaa korroosiota lämpöpinnoilla. Jokaisella suolalla on oma kriittinen kosteus, jolloin liukeneminen alkaa.

Tulokset julkaistiin yhdistyksen kotisivuilla raporttina [5/2015](#).

4.2.5 Understanding Low Temperature Corrosion in BL Combustion, Phase 2, ÅA

Tämä oli jatko projekti aikaisemmalle Åbo Akademin projektille “[Understanding Low Temperature Corrosion in BL Combustion](#)”.

Jatko projektin tavoitteena oli selvittää kattavasti eri kosteuden, lämpötilan ja suolojen Na_2SO_4 , Na_2CO_3 , NaCl , KCl ja niiden yhdistelmien vaikutus hiiliteräksen korroosioon. Yhtenä yhdistelmänä oli myös kattilatuhka. Projektissa käytettiin edellisessä vaiheessa kehitettyä koelaitteistoa tutkimaan hygroskooppisten suolojen vaikutusta hiiliteräksen korroosioon savukaasun lämpötiloissa. Kokeita suoritettiin 2h sekä 24h jaksoissa. Kokeissa ei havaittu korroosiota kattilatuhkalla, lämpötiloissa 100–110 °C (<60 til-% vettä) ja 110–120 °C (80 til-% vettä). Suolojen absorboiman veden määrään vaikutti enemmän savukaasujen lämpötila kuin savukaasun kosteus. Jo pieni määrä kosteutta riittää suoloille aiheuttamaan korroosiota lämpöpinnoilla.

Työ tehtiin diplomityönä ja tuloksia esiteltiin Soodakattilapäivillä. Tulokset julkaistiin yhdistyksen kotisivuilla raporttina [2/2016](#).

4.2.6 “Black Liquor Evaporation” –kirja, Åbo Akademi

Kirjan tarkoituksena on perehdyttää nuoria insinöörejä mustalipeän haihdutukseen sel-lutehtaalla sekä tarjota yksityiskohtaista tietoa mustalipeän ominaisuuksista sekä haihduttamon likaantumisen. Kirjaa voidaan käyttää pohjatietona tieteelliselle tutkimukselle kuin myös haihduttamon yleisten ja likaantumisongelmien selvittämiseen.

Kirjan kirjoittajat ovat Jim Fredrick ja Nikolai DeMartini. SKY:n osuus kirjan kuluista kattaa DeMartinin osuuden. Kirja julkaistaan vuoden 2016 aikana.

5 YMPÄRISTÖTYÖRYHMÄN TOIMINTAKERTOMUS 2015

5.1 Työryhmän toiminta

Ympäristötyöryhmän puheenjohtajana on toiminut Timo-Pekka Veijonen (Stora Enso Biomaterials, Pulp Competence Centre, Imatra). Työryhmään valittiin UPM-Kymmene Oyj:n edustajaksi Päivi Hyvärinen ja sihteeriksi Antti Tikkanen.

Työryhmän kokoonpano toimintavuonna 2015 on esitetty liitteessä II.

Ympäristötyöryhmä kokoontui vuoden aikana viisi kertaa.

5.2 Työryhmän tehtäväalueen projektitoiminta

Ympäristötyöryhmän tehtäväalueella oli vuoden 2015 aikana käynnissä kaksi projektia:

- Soodakattilan käynnistys-, pysäytys- ja häiriöjaksojen määrittely
- Viherlipeäsakan syrjäytyspesu

5.2.1 Soodakattilan käynnistys-, pysäytys- ja häiriöjaksojen määrittely

Projektin tavoitteena oli laatia dokumentti, johon kerätään ehdotuksia kuinka määritellä soodakattilan käynnistys-, alasajo- ja häiriöaika. Tehtaat voivat käyttää dokumenttia hyväksi keskustelussa ympäristöviranomaisten kanssa. Projektilla valmistauduttiin uusia BAT-referenssiasiakirjan (BREF) päätelmien voimaantuloon. BAT-päätelmät otetaan lähtökohdaksi lupaehtoja määritettäessä seuraavalla ympäristölupakierroksella.

Yleisen käsityksen mukaan BAT-päätelmissä annetut parhaan käytettävissä olevan tekniikan mukaiset päästötasot koskevat vain normaaliajoa, eivät kattilan käynnistys-, pysäytys- ja häiriöjaksoja. Tämä on tärkeää koska esimerkiksi soodakattilan SO₂-päästö on normaalisti lähes nolla, mutta ylös-/alasajossa SO₂-päästöt kasvavat.

Yhteenvedo tehtaiden ehdotuksista ja mielipiteistä käynnistys-, pysäytys ja häiriöjaksojen määrittelyistä julkaistiin yhdistyksen kotisivuilla huhtikuussa 2015, raportti [3/2015](#).

5.2.2 Viherlipeäsakan syrjäytyspesu

Projektin tarkoituksena oli selvittää soveltuuko syrjäytyspesumenetelmä viherlipeäsakan (suodatuksesta tai selkeytyksestä tuleva liete) puhdistamiseen. Projektissa menetelmää kokeiltiin pilot-mittakaavassa.

Viherlipeän syrjäytyspesumenetelmän kokeilua varten rakennettiin laitteisto ja sillä suoritettiin ensimmäiset kokeet Kaukopäästä hankitulla viherlipeäsakalla. Sakka oli peräisin selkeyttimestä, sillä selkeyttimestä poistuvan sakan kuiva-ainepitoisuus on korkeampi kuin vaihtoehtoisten ratkaisujen. Esiselvityksessä huomattiin, että liete sellaisenaan laskeutuu hitaasti ja laimentuksen todettiin olevan välttämätön ajan säästämiseksi. Laimentamalla sakkaa enemmän kuin 2:1-suhteella selkeytymisaika lyhenee huomattavasti. Syrjäytyspesu toteutettiin siis lopulta laimennetulla (4:1 ja 3:1) sakalla. Vedenkäyttöä on mahdollista tehostaa käyttämällä suodos uudelleen ja näin ollen väkevöittää sitä. Lisäselvityksessä tutkittiin lietepylvään korkeuden vaikutusta selkeytysnopeuteen ja huomattiin sen olevan pidempään lineaarista kuin lyhyemmällä putkilla. Näin ollen pesuputken pituutta kasvattamalla on mahdollista nostaa käsittelykapasiteettia. Kaksi

metriä korkealla pylväällä mahdollinen selkeytysaika voisi käytännössä olla noin 30–40 min.

Näytteet laboratorioanalyysijä varten kerättiin pesusuodoksesta eli lipeästä ja pestystä sakasta. Tulokset saatiin loppuvuodesta 2015 ja loppuraportti julkaistiin yhdistyksen kotisivuilla [5/2016](#). Projektiin ehdotettiin jatkoa, jossa tarkasteltaisiin pesun onnistumista kemiallisten analyysien avulla.

6 AUTOMAATIOTYÖRYHMÄN TOIMINTAKERTOMUS 2015

6.1 Työryhmän toiminta

Automaatiotyöryhmän puheenjohtajana on toiminut Toni Henriksson, Stora Enso Oyj, Sunilan tehdas. Työryhmän kokoonpano toimintavuonna 2015 on esitetty liitteessä II.

Automaatiotyöryhmä kokoontui vuoden aikana yhden kerran.

6.2 Työryhmän tehtäväalueen projektitoiminta

Automaatiotyöryhmän tehtäväalueella oli vuonna 2015 yksi projekti:

- Valvomohälytykset – hyvät käytännöt hälytysten laatimiseksi

6.2.1 Valvomohälytykset – hyvät käytännöt hälytysten laatimiseksi

Projektin taustalla on tieto siitä, että useasti/turhaan tulevat hälytykset heikentävät turvallisuutta jos operaattori ei enää luota/kiinnitä niihin huomiota. Lisäksi häiriötilanteissa ja mm. alasajon aikana voi operaattorin näytölle tulla kymmeniä hälytyksiä, jolloin tärkeät hälytykset voi mennä ohi. Projektissa laadittiin raportti, johon kerättiin hyvät käytännöt hälytysten laatimiseksi ja jossa kuvattiin menetelmä turhien hälytysten kar-
simiseksi.

Raportti julkaistiin yhdistyksen kotisivuilla [6/2016](#).

7 OHJELMATYÖRYHMÄN TOIMINTAKERTOMUS 2015

7.1 Työryhmän toiminta

Työryhmän puheenjohtajana on toiminut Jorma Torniainen (Labtium Oy). Työryhmän sihteeriksi valittiin Antti Tikkanen (Pöyry Finland Oy).

Ohjelmatyöryhmän kokoonpano toimintavuonna 2015 on esitetty liitteessä II.

Ohjelmatyöryhmä piti vuonna 2015 kolme kokousta.

7.2 Yhdistyksen toimintaan liittyvät kokoukset ja seminaarit vuonna 2015

Yhdistyksen kokoukset ja seminaarit järjestettiin seuraavina ajankohtina:

- Konemestaripäivät 28.–29.1.2015 Raumalla
- Vuosikokous 23.4.2015 Helsingissä
- Soodakattilapäivä 29.10.2015 Vantaalla

7.2.1 Konemestaripäivät 2015

Konemestaripäivät järjestettiin 28.–29.1.2015 Cumulus hotellissa Raumalla. Päivien isäntätehtäenä toimi Metsä Fibre Oy:n Rauman tehdas. Konemestaripäiville osallistui 51 ja vauriokeskusteluun 27 henkilöä.

Tilaisuudessa myönnettiin viiri numero 20 Raine Rantaselle, UPM-Kymmene Oyj.

Päivän aikana kuultiin seuraavat esitykset:

- Suomen soodakattilavauriot 2014
Markus Nieminen, Suomen Soodakattilayhdistys ry
- Veden käsittely ja tekeminen tänään
Maija Vidqvist, Teollisuuden Vesi Oy
- Suovan hallinta ja mäntyöljykeittämön toiminta
Markus Nieminen, Suomen soodakattilayhdistys
- Jaakko Rautala, Metsä Fibre Oy Rauma
Reijo Hukkanen, Stora Enso Oyj, Oulu
- Mäntyöljystä on moneksi
Timo Saarenko, Forchem Oy
- Case stories from recovery boilers with selected Diamond Power products
Johan Engvall ja Markus Hämäläinen, Diamond Power Finland Oy

Seminaaripäivän esitysmateriaali on julkaistu yhdistyksen kotisivuilla raportissa [1/2015](#).

7.2.2 Vuosikokous 2015

Vuosikokous järjestettiin 23.4.2015 ”Top Lounges” –kattohuoneiston kokoustiloissa, Helsingissä. Vuosikokouksen jälkeen oli ruokailu ja magikoomikko Risto Leppänen Show. Vuosikokoukseen osallistui 15 henkilöä.

Vuosikokouksen pöytäkirja on ladattavissa yhdistyksen kotisivuilta, raportti [7/2015](#).

7.2.3 Soodakattilapäivä 2015

Soodakattilapäivä järjestettiin Sokos hotelli Flamingossa 29.10.2015 Vantaalla. Yhdistyksen opinnäytetyöpalkinto jaettiin kuudennen kerran ja palkinto luovutettiin Mia Bredenbergille, Aalto-yliopisto, diplomityöstään "Waste to Product - Improving the Utilization Potential of Green Liquor Dregs by Using Froth Flotation."

Tilaisuus oli ulkopuolisille avoin ja siihen osallistui 94 henkilöä.

Päivän aikana kuultiin seuraavat esitykset:

- Ligniini- ja turpeen markkinat nyt ja huomenna
Klaus Niemelä, VTT
- Uusi biotuotetehdas
Jukka Kiuru, Metsä Fibre Oy
- Understanding Low Temperature Corrosion in BL Combustion (Phase 2)
Nikolai DeMartini, Åbo Akademi
- Laihan mustalipeän kaasutus veden ylikriittisissä olosuhteissa
Mika Järvinen, Aalto-yliopisto
- Sodahuskommittén - Ruotsalais-norjalainen soodakattilakomitea, vuosikatsaus 2014
Kajsa Fougner, Sodahuskommittén
- Tietotekniikan soveltaminen ja kyberturvallisuus laitoksilla
Raimo Rahkonen, Pöyry Finland Oy
- BAT-päästöjen vaikutus tehtaisiin
Esa Vakkilainen, Lappeenranta teknillinen yliopisto
- Suomen, Pohjois-Amerikan ja Brasilian soodakattilayhdistysten kuulumiset
Markus Nieminen, Suomen Soodakattilayhdistys ry
- Soodakattilayhdistyksen opinnäytetyöpalkinnon esittely:
"Waste to Product - Improving the Utilization Potential of Green Liquor Dregs by Using Froth Flotation"
Mia Bredenberg, Aalto-yliopisto

Seminaaripäivän esitysmateriaali on julkaistu yhdistyksen kotisivuilla raportissa [9/2015](#).

7.3 Yhdistyksen historiikki

Soodakattilayhdistyksen 50-juhlavuoden kunniaksi yhdistys on tilannut historiikin yhdistyksen toiminnasta. Historiikin kirjoittaja Risto Valkeapää aloitti projektin maaliskuussa 2014 alussa. Ensimmäinen versio haastatteluihin ja arkistomateriaaliin perustuvasta kirja saatiin nähtäväksi kesällä 2015. Tämän jälkeen historiikkia on muokattu kommenttien perusteella kronologiaan perustuvaksi. Historiikki valmistuu vuoden 2016 aikana.

7.4 Yhdistyksen internetsivujen uusinta

Yhdistyksen uudet nettisivut esiteltiin jäsenistölle vuosikokouksessa 2015.

Yhdistyksen vanhat internetsivut olivat aikaansa jäljessä ja niiden päivittäminen yhdistyksen tarpeisiin on hankalaa monesta syystä. Tämän vuoksi yhdistyksen hallitus päätti joulukuussa 2014 tilata uudet nettisivut ja niiden ylläpidon Jabadaduu-nimiseltä yritykseltä. Projekti paransi sivujen käytettävyyttä ja tätä kautta niistä tuli käyttäjäystävällisemmät.



7.5 Yhdistyksen viirihenkilöt

Numero	Nimi	Myönnetty
1	Keijo Imeläinen	03.10.1994
2	Osmo Niemitalo	10.10.1996
3	Paavo Hyöty	10.10.1996
4	Vesa Mikkola	24.02.1997
5	Liva Söderhjelm	09.02.1999
6	Pekka Heikkinen	14.07.1999
7	Raimo Paju	28.03.2001
8	Heikki Keskinen	21.03.2002
9	Olavi Aaltonen	16.10.2003
10	Hannu Kytö	16.10.2003
11	Håkan Sjö	20.10.2005
12	Lars-Martin Wikström	20.10.2005
13	Reijo Kiuru	02.11.2006
14	Lasse Koivisto	03.06.2009
15	Jorma Viinikainen	03.06.2009
16	Mauri Loukiala	29.10.2009
17	Kalle Salmi	11.02.2010
18	Reijo Hukkanen	11.02.2010
19	Tapio Huuska	25.10.2012
20	Raine Rantanen	29.1.2015

8 OPINNÄYTETYÖPALKINTO

Suomen Soodakattilayhdistys jakaa vuosittain palkinnon parhaasta opinnäytetyöstä (laajuus 30 op) sulfaattisellutehtaan talteenottoalueella. Palkinnon arvo on 2.000 €. Palkintoa voi hakea Suomessa korkeakoulussa tai yliopistossa tutkintonsa suorittavat opiskelijat, joiden opinnäytetyö liittyy sulfaattisellutehtaan kemikaalien talteenottoon.

8.1 Opinnäytetyöpalkinto 2015

Vuonna 2015 palkinto luovutettiin Mia Bredenbergille, Aalto-yliopisto. Opinnäytetyön aihe oli "Waste to Product - Improving the Utilization Potential of Green Liquor Dregs by Using Froth Flotation".

Hallituksen mukaan työ oli ajankohtainen ja erittäin huolellisesti tehty. Lisäksi vastavaa tutkimusta ei ole tehty aikaisemmin, joten työllä ja tuloksilla on uutuusarvoa.

Diplomityössä tutkittiin vaahdotustekniikan soveltuvuutta viherlipeäsakan käsittelyssä sen hyötykäyttöä varten. Viherlipeäsakka koostuu pääosin niukkaliukoista kalsiumkarbonaatista (kalsiitista), jolle on useita hyötykäyttökohteita. Viherlipeäsakka sisältää myös pieniä määriä raskasmetalleja, joiden pitoisuudet tapauskohtaisesti ylittävät jätteen hyötykäytölle asetetut raja-arvot. Vaahdotusmenetelmällä oli tarkoitus erottaa viherlipeäsakasta kalsiitti yhdessä tai erikseen palamattoman hiilen kanssa vaahdoterokseen ilmakuplia ja vaahdotuskemikaaleja hyväksi käyttäen. Diplomityön tarkoituksena oli tutkia soveltuuko vaahdotusmenetelmä Stora Enson Imatran Tehtaiden viherlipeäsakan käsittelyyn.

Vaahdotustekniikan soveltuvuutta tutkittiin suodattamattomalle ja pre-coat suodatetulle viherlipeäsakalle laboratorio- ja pilottikokeiden avulla. Kokeiden aikana huomattiin, että viherlipeäsakan laatu vaikuttaa suuresti vaahdotusprosessin tehokkuuteen. Palamattoman hiilen ja kalsiitin erotus tutkitusta suodattamattomasta viherlipeäsakasta osoittautui haasteelliseksi johtuen sen alhaisesta palamattoman hiilen pitoisuudesta (0, 6 %) ja korkeasta vesiliukoisten yhdisteiden määrästä (80 %). Tulokset pilottikokeista osoittavat että kalsiittia voidaan tehokkaasti erottaa pre-coat suodatetusta viherlipeäsakasta, joka koostuu pääasiallisesti niukkaliukoisista yhdisteistä (>90 %) ja jonka palamattoman hiilen pitoisuus on melko korkea (1,2 %). Vaahdotusprosessin käyttöä hankaloittaa viherlipeäsakan koostumuksen päivittäinen vaihtelu, sillä laiteparametrit ja kemikaaliannokset määritetään lietteen ominaisuuksien perusteella. Tämän takia myös erotettujen vaahdotusfraktioiden koostumukset vaihtelevat, mikä vaikeuttaa näiden hyötykäyttöä.

8.2 Palkinnon aikaisemmat voittajat:

- 2009 Niklas Vähä-Savo, Åbo Akademi / SKY:
"Utveckling och användning av en korttidssond vid mätningar av överbäring i soda-pannor"
- 2010 Tero Luukkonen, Oulun Yliopisto / SKY:
"Soodakattilalaitoksen lisäveden orgaanisen aineen vähentäminen"
- 2011 Aino Leppänen, Tampereen teknillinen yliopisto / Metso Power Oy:
"Soodakattilan tulipesän pienhiukkasten ja alkalimetalliyhdisteiden mallintaminen"
- 2012 Tiia Nousiainen, Aalto yliopisto / Stora Enso Oyj:
"Crude Tall Oil Production Improvement"



- 2013 Viljami Maakala, Aalto-yliopisto / Andritz Oy:
“Multi-Objective Optimization of Recovery Boiler Dimensions Using Computational Fluid Dynamics”
- 2014 Antti Kokkonen, Oulun Yliopisto:
"Influence of Kraft recovery boiler's main control parameters on reduction degree"



9 TOIMINNAN RAHOITUS 2015

Suomen Soodakattilayhdistyksen toiminnan rahoitus järjestettiin vuonna 2015 jäsenmaksuin. Jäsenmaksuina kerättiin yhdessä erässä yhteensä 103 600,00 euroa, vuosikokous päätti että toista jäsenmaksuerää ei peritä hyvän taloustilanteen takia. Hallitus päätti että kolmatta erää (15%) ei peritä hyvän taloustilanteen takia. Jäsenmaksut on esitetty liitteessä VI.

Jäsenmaksujen suuruuden määräävä suhdeluku lasketaan soodakattilakäytössä normaalisti olevien kattiloiden suurimman jatkuvan höyrytehon avulla. Höyryteho on mitoituksen mukaan maksimi jatkuva höyryteho. Suhdeluku määritetään korottamalla höyryteho toiseen potenssiin ja ottamalla tästä kuutiojuuri. Tehtailta yhteensä kerättävät jäsenmaksut kerrotaan kyseisen tehtaan suhdeluvun ja kaikkien tehtaiden suhdelukujen summan osamäärällä, josta saadaan kyseisen tehtaan jäsenmaksun suuruus.

Muiden jäsenten kuin soodakattilan käyttäjien jäsenmaksuosuudet määritetään hyötyperiaatteella.

Suomen Soodakattilayhdistyksen tilikauden 1.1 - 31.12.2015 tulos oli -50,00 euroa. Oma pääoma 31.12.2015 oli 33 886,43 euroa.

Tilinpäätöksessä sivulla 18 on Suomen Soodakattilayhdistyksen toimintasäännön mukaan määrättyjen tilintarkastajien kertomus tilikauden 1.1- 31.12.2015 tilintarkastuksesta.

TULOSLASKELMA	1.1.-31.12.2015	1.1.-31.12.2014
Varsinainen toiminta		
Tuotot	54 660,60	72 565,00
Kulut	-64 193,66	-188 408,93
Tuotto/kulujäämä	-9 533,06	-115 843,93
Varainhankinta		
Tuotot	174 273,65	291 453,74
Kulut	-165 083,90	-176 050,64
Tuotto/kulujäämä	9 189,75	115 403,10
Sijoitus- ja rahoitustoiminta		
Tuotot	2 293,31	2 440,83
Tuotto/kulujäämä	2 293,31	2 440,83
Avustukset		
Avustukset	-2 000,00	-2 000,00
Tilikauden tulos	-50,00	0,00

Suomen Soodakattilayhdistys ry
Y-0982180-9

TASE

VASTAAVAA	1.1.-31.12.2015	1.1.-31.12.2014
LYHYTAIKAiset SAAMiset		
MUUT SAAMiset		
1800 Siirtosaamiset	2 790,00	2 231,92
Alv	9 667,35	6 945,86
LYHYTAIKAiset SAAMiset	12 457,35	9 177,78
RAHAT JA PANKKISAAMiset		
1910 Nordea	208 507,22	247 441,61
VAIHTUVAT VASTAAVAT	220 964,57	256 619,39

TASE

VASTATTAVAA

OMA PÄÄOMA		
2070 Edel. tilikausien tulos	25 690,18	25 690,18
2030 Peruspääoma	8 246,25	8 246,25
Tilikauden tulos	-50,00	0,00
OMA PÄÄOMA	33 886,43	33 936,43
VIERAS PÄÄOMA		
LYHYTAIKAINEN		
2760 Ostovelat		37 200,00
2990 Muut velat	187 078,14	185 482,96
LYHYTAIKAINEN	187 078,14	222 682,96
VASTATTAVAA	220 964,57	256 619,39

TILINPÄÄTÖKSEN LIITETIEDOT 31.12.2015

TILINPÄÄTÖKSEN LAATIMISTA KOSKEVAT LIITETIEDOT

Jaksotusperiaatteet ja -menetelmät

Yhtiöllä ei poistettavaa käyttöomaisuutta.

TASEEN VASTATTAVIA KOSKEVAT LIITETIEDOT

Oman pääoman erittely

Oman pääoman muutokset	31.12.2015	31.12.2014
Käyttöraho	8 246,25	8 246,25
Ed. tilikauden voitto/tappio	25 690,18	25 690,18
Tilikauden voitto/tappio	-50,00	0,00
Oma pääoma yhteensä	33 886,43	33 936,43

HENKILÖSTÖÄ KOSKEVAT LIITETIEDOT

Tilikauden aikana yhtiön palveluksessa ei ollut henkilökuntaa.

LASKELMA VOITONJAKOKELPOISISTA VAROISTA

Tilikauden voitto/tappio	-50,00
Ed. tilikausien voitto/tappio	25 690,18
Vapaa pääoma yhteensä	25 640,18

KIRJANPITOKIRJAT

Tasekirja	ATK-listoina
Tase-esittelyt	ATK-listoina
Päivä- ja pääkirja	ATK-listoina

TOSITTEIDEN SÄILYTYSTAPA

Yleistositelaji	paperitositteina
Kassatositteet	paperitositteina
Alv-tositteet	paperitositteina
Myyntitositteet	paperitositteina

TILINPÄÄTÖKSEN ALLEKIRJOITUS

Helsingissä / 2016

Kari Ala-Kaila

Jukka Suutela

Timo-Pekka Veijonen

Toni Orava

Kari Haaga

Keijo Salmenoja

Jorma Torniainen

Toni Henriksson

Reijo Hukkanen

Timo Kurki

TILINPÄÄTÖSMERKINTÄ

Johan Weckman
Pricewaterhouse Coopers Oy

Muutos

-50,00

TASE-ERITTELYT 31.12.2015

VASTAAVAA

AINEELLISET HYÖDYKKEET

SAAMISET, LYHYTAIKAISET

Tili

1360 Siirtosaamiset

Stora Enso lasku 96

558,00

Valmet lasku 93

1 116,00

OP lasku 77

558,00

Labtium lasku 68

558,00

2 790,00

RAHAT JA PANKKISAAMISET

Tili

Alv

9 667,35

1910 Nordea

208 507,22

Rahat ja pankkisaamiset yhteensä

218 174,57

VASTAAVAA YHTEENSÄ

220 964,57

VASTATTAVAA

OMA PÄÄOMA

Tili

2030 Käyttörahas

8 246,25

Tilikauden voitto/tappio

-50,00

Ed. tilikausien voitto/tappio

25 690,18

Oma pääoma yhteensä

33 886,43

VIERAS PÄÄOMA, LYHYTAIKAINEN

Tili

2990 Velat

Sirra tos 379

18 600,00

Maventa tos 380

7,99

Radisson tos 381-382

513,00

Åbo Akademi tos 383

18 600,00

Åbo Akademi tos 384

31 000,00

Pöyry tos 371-378

8 888,32

Muut (varaus)

109 468,83

Lyhytaikainen yhteensä

187 078,14

VASTATTAVAA YHTEENSÄ

220 964,57

Suomen Soodakattilayhdistys ry
Y-0982180-9

VARSINAINEN TOIMINTA

		1.1.-31.12.2015	1.1.-31.12.2014
Tuotot	3000 Seminaarituotot, 24%	54 495,00	72 565,00
	3110 Muut tuotot	165,60	
Tuotot varsinainen toiminta		54 660,60	
Kulut			
Henkilöstökulut			
	5910 Kilometrikorvaukset	-41,80	
Muut kulut			
	3010 Seminaarikulut, 24%	-34 488,67	-33 185,42
	3011 Seminaarikulut, 14%	-12 525,22	-13 938,37
	3012 Seminaarikulut, 0%	-856,92	-1 138,07
	3013 Seminaarikulut, 10%	-1 144,26	-1 607,09
	3015 50-vuotisjuhlakulut, 24%		-99 728,72
	3016 50-vuotisjuhlakulut, 0%		-11 408,01
	3017 50-vuotisjuhlakulut, 10%		-4 271,45
	3018 50-vuotisjuhlakulut, 14%		-29 829,21
Kulut varsinainen toiminta		-49 056,87	-195 106,34

MUUT VARSINAISEN TOIMINNAN KULUT

Kulut	3810 Pankkikulut	-148,60	-217,07
	3820 Taloushallinto	-3 050,10	-4 137,67
	3835 Hallituksen kulut 14 %		-1 393,12
	3840 Hallituksen kulut, 24%		-2 437,98
	3850 Vuosikokouskulut, 24%	-8 337,82	-7 366,23
	3855 Vuosikokouskulut, 14%	-1 376,50	-1 110,77
	3856 Vuosikokouskulut 0 %		-79,90
	3857 Vuosikokouskulut, 10%	-107,18	-702,69
	3860 Apurahat	-2 000,00	-2 000,00
	3865 Kotisivukulut	-1 292,84	-2 666,00
	3880 Muut kulut	-824,37	-632,96
Kulut muut varsinainen toiminta		-17 137,41	-22 744,39

VARSINAISEN TOIMINNAN

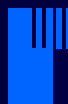
TUOTTO/KULUJÄÄMÄ	-11 533,68	-145 285,73
------------------	------------	-------------

VARAINHANKINTA

Tuotot	5000 Jäsenmaksut	103 600,02	175 300,03
	7020 Muu varainhankinta	70 673,63	116 153,71
Tuotot varainhankinta		174 273,65	291 453,74
Kulut	5510 Sihteeristö, 24%	-25 401,66	-24 981,80
	5520 Hallitus, 24%	-7 319,15	-5 906,00
	5530 Kestoisuustyöryhmä, 24%	-4 215,00	-4 212,00
	5535 Lipeätyöryhmä, 24%	-3 912,98	-3 432,00
	5540 Ympäristötyöryhmä, 24%	-6 057,37	-4 853,26
	5541 Ympäristötyöryhmä, 14%	-350,18	-537,39
	5542 Ympäristötyöryhmä, 10%		-71,00
	5545 Automaatiotyöryhmä, 24%	-160,00	-2 329,08
	5550 Ohjelmatyöryhmä, 24%	-4 509,20	-786,00
	5745 Viivekulut	-9,94	
Kulut varainhankinta		-51 935,48	-47 108,53

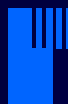
		1.1.-31.12.2015	1.1.-31.12.2014
PROJEKTIT			
Kulut	5700 Kestoisuustyöryhmä, 24%	-800,00	-780,00
	5710 Lipeätyöryhmä, 24%	-58 000,00	-58 000,00
	5720 Ympäristötyöryhmä, 24%	-15 000,00	-3 666,00
	5721 Ympäristötyöryhmä 14 %		
	5730 Automaatiotyöryhmä, 24%		
	5740 Ohjelmistotyöryhmä, 24%	-39 338,87	-38 954,48
	5741 Ohjelmistotyöryhmä, 14%		-4,47
	5742 Ohjelmistotyöryhmä, 10%	-9,55	-95,36
Kulut projektit		-113 148,42	-101 500,31
VARAINHANKINNAN			
TUOTTO/KULUJÄÄMÄ		9 189,75	142 844,90
KOKO TOIMINNAN			
TUOTTO/KULUJÄÄMÄ		-2 343,93	-2 440,83
SIJOITUS JA RAHOITUSTOIMINTA			
	6020 Korkotuotot	2 293,93	2 440,83
Tilikauden tulos		-50,00	0,00

LIITE 2
Budjettiehdotus 2016



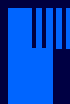
Budjettisuunnitelma 2016

	Toteuma vuodelle 2 014	Budjetti vuodelle 2014	Toteuma Vuodelle 2015	Budjetti vuodelle 2015	Budjetti- suunnitelma 2016
TULOT					
Jäsenmaksut ja muu säännöllinen tuki					
Kattilan käyttäjät	110 500	130 000	64 000	83 500	130 000
Kattilan valmistajat	24 650	29 000	14 500	18 850	29 000
If Vahinkovakuutus	5 950	7 000	3 500	4 550	7 000
Pohjola	3 825	4 500	2 250	2 950	4 500
YIT	7 650	9 000	4 500	5 850	9 000
Pöyry Finland	7 650	9 000	4 500	5 850	9 000
Labtium	3 825	4 500	2 250	2 950	1 000
Inspecta	7 650	9 000	4 500	5 850	9 000
Ulkojäsenet	3 600	3 600	3 600	3 600	3 600
Yhteensä	175 300	205 600	103 600	133 925	202 100
Ennakkojäsenmaksut		0		0	0
Kokousten osallistumismaksut					
Konemestaripäivä	23 725	25 000	17 995	20 000	20 000
Soodakattilapäivä	29 340	35 000	36 500	30 000	30 000
Yhteensä	53 065	60 000	54 661	50 000	50 000
Ulkopuolinen rahoitus					
Ulkopuolinen rahoitus yhteensä	0	0	166	0	0
Korkotuotot	2 440	1 500	2 294	1 500	1 500
TULOT YHTEENSÄ	230 805	267 100	160 555	257 100	253 600



Budjettisuunnitelma 2016

	Toteuma vuodelle 2 014	Budjetti vuodelle 2014	Toteuma vuodelle 2015	Budjetti vuodelle 2015	Budjetti- suunnitelma 2016
MENOT					
VARSINAINEN TOIMINTA					
Seminaarikulut					
Konemestaripäivä	24 531	25 000	21 774	20 000	20 000
Soodakattilapäivä	25 337	35 000	27 283	30 000	30 000
Seminaarikulut yhteensä	49 868	60 000	49 057	50 000	50 000
MUU VARSINAINEN TOIMINTA					
Taloushallinto	4 137	8 000	3 050	5 000	5 000
Vuosikokous	9 260	12 000	9 821	10 000	10 000
Pankin palvelumaksut	217	150	149	200	200
Opinnäytetyöapuraha	2000	2 000	2 000	2 000	2 000
Kotisivun ylläpito	2 666	1 000	1 293	2 000	2 000
Muut ostokulut	633	500	824	500	500
MUU VARSINAINEN TOIMINTA YHTEENSÄ	22 744	23 650	17 137	19 700	19 700
VARSINAINEN TOIMINTA YHTEENSÄ	72 612	83 650	66 194	69 700	69 700



Budjettisuunnitelma 2016

	Toteuma vuodelle 2 014	Budjetti vuodelle 2014	Toteuma vuodelle 2015	Budjetti vuodelle 2015	budjetti- suunnitelma 2015
JATKUVALUONTEISET TEHTÄVÄT					
Sihteeristötyö					
Sihteeristön työ	22 153	22 000	23 081	22 000	22 000
Kansainvälinen toiminta	2 828	8 000	2 320	3 000	3 000
Sihteeristötyö yhteensä	24 981	30 000	25 401	25 000	25 000
Hallitus ja työryhmät					
Hallitus	5 906	8 000	7 319	8 000	8 000
Kestoisuustyöryhmä	4 212	6 000	4 215	6 000	6 000
Lipeätyöryhmä	3 432	6 000	3 913	6 000	6 000
Ympäristötyöryhmä	5 461	6 000	6 407	6 000	6 000
Automaatiotyöryhmä	2 329	6 000	160	6 000	6 000
Ohjelmatyöryhmä	786	3 000	4 509	6000	3 000
Viivekulut			10		0
Hallitus ja työryhmät yhteensä	22 126	36 000	26 534	36 000	36 000
JATKUVALUONTEISET TEHTÄVÄT YHTEENSÄ	47 107	66 000	51 935	61 000	61 000
 VARSINAINEN + JATKUVA TOIMINTA	 119 719	 149 650	 118 129	 130 700	 130 700



PROJEKTIT

Kestoisuustyöryhmän tehtäväalue

Suojaussuosituksen päivitys	1 000
Hitsauspinnoitetut putket soodakattiloissa	12 000
Soodakattilan tiiveydenvalvontajärjestelmät	15 000
Sularännien laadunvarmistus ja tarkastusohjeistus	5 000

Kestoisuustyöryhmä yhteensä **33 000**

Lipeätyöryhmän tehtäväalue

Black Liquor Evaporation Book (Åbo Akademi)	14 750
Understanding Low Temperature Corrosion in Black Liquor Combustion, phase 3 (ÅA)	12 500
Pulp mill deposit formation and aging – role of intra-deposit alkali chloride transport (ÅA)	0 000
Writing of textbook "Chemistry of biomass combustion" (ÅA)	0 000

Lipeätyöryhmä yhteensä **27 250**

Ympäristötyöryhmän tehtäväalue

Viherlipeäsakan syrjäytyspesu, osa 2, Oy Sirra Ab/Labtium	7 280
Soodakattilan Nox-päästön riippuvuus puuraaka-aineesta, VTT	9 000
Projektivaraus	3 780

Ympäristötyöryhmä yhteensä **20 000**

Automaatiotyöryhmän tehtäväalue

Soodakattilan päästömittausten menetelmät (2007) raportin päivitys, XXX	10 000
Projektivaraus	10 000

Automaatiotyöryhmä yhteensä **20 000**

Ohjelmatyöryhmän tehtäväalue

-

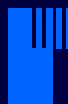
Ohjelmatyöryhmä yhteensä **0**

Muut projektit

SKY historiikki	35 000
Soodakattilan likaantuminen, hallinta/parantaminen, Fortum	10 000

Muut projektit yhteensä **45 000**

Varaus **50 000**



Budjettisuunnitelma 2016

	Toteuma vuodelle 2014	Budjetti vuodelle 2014	Toteuma vuodelle 2015	Budjetti vuodelle 2015	Budjetti Suunnitelma 2016
YHTEENVETO					
Varsinainen toiminta	72 612	83 650	66 194	69 700	69 700
Jatkuvaluonteinen toiminta	47 107	66 000	51 935	61 000	61 000
Työryhmien projektit	62 446	155 750	73 800	132 750	
Muut projektit	39 054	95 000	39 348	57 000	195 250
MENOT YHTEENSÄ	221 219	400 400	231 278	320 450	325 950
ICRC TULOT	125 672				
ICRC MENOT	145 237				
TULOS					
Tulot	356 475	267 100	160 555	185 400	253 600
Menot	336 500	403 400	231 278	320 450	325 950
Tilikauden yli/alijäämä	-10 024	-136 300	-70 723	-135 050	-72 000
Vapautetaan aikaisemmin kerätyistä jäsenmaksuista	10 024		70 673		72 000
Tilikauden tulos	0		-50		0
Aikaisemmilta vuosilta jäsenmaksuja jäljellä	180 142		109 468		32 000

LIITE 3
ATR: Hyvät hälytyskäytännöt – raportti 23.3.2016



Suomen Soodakattilayhdistys ry

**Hyvät hälytyskäytännöt - yhteenveto
Automaatiotyöryhmä
23.3.2016**

Raportti 6/2016

(16A0913-E0168)

SISÄLLYSLUETTELO

1	YLEISTÄ	3
2	HÄLYTYSTEN MÄÄRITELMÄ.....	3
3	HÄLYTYSTEN SUUNNITTELU	4
3.1	Hälytysten suunnittelun suosituksia	4
4	HÄLYTYSMÄÄRIEN VÄHENTÄMINEN	6
5	LISÄÄ LUETTAVAA	7



1 YLEISTÄ

Hälytys on automaatiojärjestelmän huomiofunktio, jolla operaattoreiden huomio kiinnitetään toimenpiteitä vaativaan prosessitapahtumaan, kuten poikkeustilanteeseen tuotannossa. Prosessi ”pyytää” operaattorin apua toimiakseen suunnitellulla tavalla. Hälytyssuunnittelussa käytetään yleensä mallipiirejä, joissa jokaiselle prosessisuurelle tulee oletuksena varoitus- ja hälytysrajat. Tämä perinteinen ”hälytys/mittaus”-periaate” voi johtaa hälytystulvaan, jolloin operaattori ei ehdi käsitellä tai edes huomata kaikkia hälytyksiä. Myös usein tai aiheettomasti tulevat hälytykset ylikuormittavat operaattoreita ja voivat jopa johtaa hälytysten huomiotta jättämiseen.

Tämän ohjeen tarkoituksena on kerätä hyviä käytäntöjä hälytysten suunnittelusta ja mahdollisuuksista karsia hälytyksiä.

2 HÄLYTYSTEN MÄÄRITELMÄ

Hälytykset ovat ei-toivottuja tiloja prosessissa ja ovat yleensä ennakoimattomia, mutta joskus seurauksia aikaisemmista tapahtumista. Yleisesti hälytykset voidaan jakaa järjestelmä- ja prosessihälytyksiin.

Järjestelmähälytykset liittyvät automaatiolaitteisiin, ohjelmistoon ja tiedonsiirtoon (esim. anturivika), joiden määrittelyn tekee tyypillisesti automaatiotoimittaja. Prosessihälytyksillä valvotaan prosessiarvojen (lämpötila, paine, virtaus jne.) pysymistä suunnitelluissa rajoissa.

Muita hälytyskategorioita voivat olla turvallisuuteen, laitteiden suojaukseen, henkilöturvallisuuteen ja ympäristöön liittyvät hälytykset.

Hälytykset voidaan määritellä prioriteetti-tiloihin, joilla pyritään usean hälytyksen sattuessa kiinnittämään operaattorien huomio tärkeäksi määriteltyihin hälytyksiin esimerkiksi turva-automaatiohälytykset. Tyypillisesti prioriteetti-tiloita on 2-4 valvottavan prosessin luonteesta riippuen. Myös erilaisia äänimerkkejä voidaan käyttää ilmaisemaan hälytyksen vakavuus.

3

HÄLYTYSTEN SUUNNITTELU

Hälytysjärjestelmän tehtävänä on havahduttaa operaattori prosessissa tapahtuvista poikkeamista ja antaa ymmärrettävä informaatio kohteen tilasta. Operaattori voidaan havahduttaa poikkeavasta tilasta käyttämällä mm. vilkkuvaa valoa, näyttösymbolia, äänimerkkiä ja/tai näytölle tulostuvaa sanallista viestiä. Informaation täytyy olla ymmärrettävä ja siitä tulee ilmetä hälytyksen prioriteetti, sijainti sekä aika, jolloin tapahtuma joko ylittää tai alittaa sallitun raja-arvon. Kun hälytyksen syy poistuu ja passivoituu, poistuu hälytys myös näytöltä. Hälytysten kuittaukseen tulee määritellä yhtenäinen käytäntö, esimerkiksi määritellään kenellä on oikeudet kuitata hälytyksiä.

Prosessisuunnittelussa ensimmäisiä tehtäviä ovat käydyt keskustelut ajotavoista, joiden tuloksena saadaan ajotapakuvaukset prosessista. Suunnittelun myötä syntyvät hälytysluettelot, jotka toimivat lähtötietoina automaatiosuunnittelulle. Prosessisuureille määritellään tässä vaiheessa varoitus- ja hälytysrajat (ns. mallipiiri), jonka seurauksena tulee paljon hälytyksiä, osa näistä hälytyksistä on turhia.

Jokaisen hälytyksen suunnitteluperusteet tulisikin jo tässä vaiheessa miettiä harkiten, koska ne antavat pohjan hälytysinformaation, kuten hälytystekstin ja toimintaohjeen, yksityiskohtaiselle suunnittelulle.

Tärkeä osa hälytysten suunnittelua on tarpeettomien hälytysten estologiikoiden määrittely. Esimerkiksi jos virtaukselle on tehty alarajahälytys, niin pienestä virtauksesta on turha hälyttää, mikäli pumppu ei käy.

Yleisemmin käytössä oleva hälytysten esitystapa perustuu tapahtumalistaan, jossa jokaisesta hälytyksestä tulostetaan valvomonäytölle aikaleimalla ja tilatiedolla (voimassaolo- ja kuittaustieto) sekä häiriön syytä kuvaavalla tekstillä varustettu rivi. Hälytystekstin lähtötietona tulisi olla prosessisuunnittelun perustelut hälytyksen tarpeellisuudesta, jos perustelua ei ole hälytyksen tarpeellisuus on kyseenalainen. Tekstin sisältö tulee suunnitella käyttäjän tarpeiden perusteella, mutta yleensä merkkien määrä on rajoitettu, mikä voi hankaloittaa häiriön kuvaamista tarkasti.

3.1

Hälytysten suunnittelun suosituksia

Jokaisen hälytyksen tulee vaatia operaattorilta jonkinlaista toimenpidettä, joko fyysistä tai henkistä. Tämä toimenpide tulee olla selkeästi määritelty hälytyksen suunnittelijan toimesta. Jos toimenpidettä ei voi määritellä, hälytys on turha. Hälytyksellä tulee aina ja kaikissa tilanteissa olla todellinen merkitys operaattorille. Lisäksi operaattorille tulisi antaa riittävästi aikaa suorittaa määritetyt toimenpiteet.

Jokaisen hälytyksen tulee olla aiheellinen ja motivoida prosessintarkasteluun. Hyvän hälytyksen tunnusmerkkejä ovat:

- Relevantti: hälytetään vain tapahtumista, jotka vaativat toimenpiteitä
- Uniikki: hälytyksen tulee olla yksilöllinen, ei kahta hälytystä samasta asiasta
- Sopiva (ajallisesti): hälytys tulee oikeaan aikaan, ei liian aikaisin eikä liian myöhään
- Priorisointi: Hälytyksen tulee näyttää tärkeysjärjestys, jolla hälytyksiin reagoidaan
- Ymmärrettävyys: Hälytysinformaation pitää olla selvää ja helposti ymmärrettävää
- Diagnosoitava: Hälytyksestä voi tunnistaa ongelmakohdan
- Neuvoa-antava: Hälytys indikoi, mitä toimenpiteitä tulisi tehdä
- Tarkentava: Kriittisten hälytysten tulisi erottua muista hälytyksistä



Hälytysten suunnittelussa tulee ottaa huomioon inhimilliset tekijät ja rajoitukset. Järjestelmän ei tulisi kuormittaa operaattoreita hälytystulvalla. Hälytysmäärän vähentäminen antaa operaattoreille enemmän aikaa ohjata ja valvoa prosesseja. Tällöin laitosta voidaan ajaa suuremmalla varmuudella ja vähemmällä määrällä tuotannonpysäytyksiä mikä parantaa kannattavuutta.

Tehtaan ylös- ja alasajossa käynnistetään/pysäytetään prosessilaitteita, joista syntyy paljon turhia hälytyksiä. Tällaisissa tapauksissa voitaisiin mittauksien hälytys suodattaa (maskata), jos toimenpide on tarkoituksellinen ja operaattorin tekemä. Hälytysjärjestelmä tulisi suunnitella tilanneherkäksi, jolloin huomioitaisiin hälytysilmoitukset prosessitilanteiden mukaan esimerkiksi normaali tuotantoajo, ylös- ja alasajot ja seisokit.

Koska ylikuormitustilanteita kuitenkin tapahtuu, näyttöjärjestelmä tulisi suunnitella siten että operaattori näkee prosessin kannalta tärkeät hälytykset/mittaukset vaikka hälytysjärjestelmä ylikuormittuisi. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi ns. avainhälytysten avulla. Avainhälytykset ovat joko tärkeitä yksittäisiä hälytyksiä ja/tai tiettyjen kriteerien mukaan yhteen koottuja hälytyksiä. Tällaisia hälytyksiä voivat olla esimerkiksi turva-automaatiojärjestelmän hälytykset, joiden prioriteetti on aina korkein. Näiden hälytysten esitystapa on vakioitu siten, että ne ovat näkyvissä kaikissa tilanteissa. Toteutustapoja voivat olla mm. kiinteä esityspaikka kaikilla näyttösiivuilla tai erilliset ”tile-näytöt”, joissa hälytykset on esitetty sijoittamalla ne näyttösiivulle matriisiin teksti- tai symbolimuodossa.

Taulukoissa 1 ja 2 on esitetty hälytysmäärien vaikutus hälytysten käsittelyyn sekä operaattorin toimintaan. Hyväksyttävänä pitkän ajan keskiarvona voidaan pitää 1 hälytys per 10 minuuttia tasoa, jonka alle tulisi pyrkiä. Tämä tarkoittaa noin 150 hälytystä vuorokaudessa.

Taulukko 1. Keskimääräinen tulevien hälytysten lukumäärä/minuutti ja hälytysten aiheuttama seurannaisvaikutus.

Hälytysten lukumäärä/min	Seurausvaikutus
Yli 1 hälytys / min	Hälytyksiä jää käsittelemättä
Yksi hälytys / 2 min	Hälytyksiä voi jäädä käsittelemättä
Yksi hälytys / 5 min	Hälytykset hallittavissa
Alle 1 hälytys / 10 min	Hälytykset ehditään käsitellä

Taulukko 2. Seurausvaikutukset operaattorin toimintaan erilaisilla tulevien hälytysten lukumäärillä/minuutti.

Hälytysten lukumäärä/min	Seurausvaikutus
Yli 10 hälytystä / min	Ylittää operaattorin suorituskyvyn ja johtaa todennäköisesti koko hälytysjärjestelmän hylkäämiseen
2 – 10 hälytystä / min	Asettaa kovia vaatimuksia operaattorille
Alle 1 hälytys / min	On normaalisti käsiteltävissä, jos ohjaustoimenpiteet eivät ole monimutkaisia.

4

HÄLYTYSMÄÄRIEN VÄHENTÄMINEN

Hälytysmääriä voidaan vähentää yksinkertaisilla toimilla, mutta niitä saa soveltaa vain henkilöt jotka ymmärtävät laitoksen toimintaa. Yksinkertaiset viat, kuten väärät hälytysrajat, on helppo ja nopea korjata. Vikahälytykset voivat liittyä myös kunnossapitoon. Viat voivat olla aiheellisia ja tällaisiin vikoihin tulisikin puuttua korjaustoimenpiteillä ennen kuin suurempi vika aiheuttaa onnettomuuden. Mikäli prosessiin tai laitteisiin tehdään muutoksia, tulisi myös hälytysasetukset tarkastaa tässä yhteydessä ja päivittää mikäli tarpeen.

Hälytysmäärien vähentäminen voidaan aloittaa esimerkiksi kartoittamalla usein esiintyvät hälytykset ja selvittämällä järjestelmällisesti syyt hälytyksiin esimerkiksi viikoittain tai kuukausittain. Tulleet hälytykset käydään läpi työryhmän kokouksessa ja tehdyt päätökset/muutokset dokumentoidaan. Hälytysten muutosten hallintaan on syytä luoda yhtenäinen käytäntö.

Seuraavissa kohdissa on listattu ratkaisuja hälytysmäärien vähentämiseksi:

1. Hälytyksiä tulee voida valita, ryhmitellä ja lajitella tarpeen mukaan:
 - Ryhmittely- ja lajittelukriteereinä voidaan käyttää esim. aikaa, osajärjestelmää, prosessialuetta tai prioriteettia. Tiedot muun muassa käytöstä poistetuista sekä hyllytetyistä hälytyksistä tulee olla helposti operaattorin saatavilla.
2. Turhien hälytysten vähentämisen tulee perustua niiden muodostumisen estämiseen mieluummin kuin turhan informaation näkymisen estämiseen käyttöliittymissä. Sopivia keinoja ovat mm. signaalien suodatus, kuollut alue, viiveet sekä estologiikat. Esimerkkejä mahdollisista periaatteista:
 - Alkutapahtuman tunnetut seuraushälytykset voidaan karsia
 - Rinnakkaiset hälytykset samasta asiasta voidaan karsia
 - Epäkunnossa, huollossa tai testattavana olevista laitteista ja osajärjestelmistä tulevat hälytykset voidaan karsia
 - Prosessin tilan avulla on mahdollista karsia turhia hälytyksiä
3. Varmistetaan, että kriittiset hälytykset erottuvat muista hälytyksistä:
 - Tärkeimmät hälytykset tulee esittää kaikissa näytöissä vakiopaikalla ja niiden tulee erottua muista hälytyksistä. Hälytyksen prioriteetti voidaan ilmaista väreillä ja äänillä.
4. Hälytetään vain primäärisestä syystä, ei seurannaistapahtumista:
 - Usein vika tai häiriö aiheuttaa seurannaistapahtumia, jolloin hälytyksiä tulee operaattorin kannalta hankalina ryöppyinä. Ongelma voidaan poistaa estologiikkaa käyttämällä, jolloin primäärisyy ilmoitetaan hälytyssivulla ja vian paikantaminen helpottuu.
5. Hälytetään vain toimenpiteitä vaativista tapahtumista:
 - Hälytyssivuille tulee ilmoituksia normaaleista käyttötoimenpiteistä, jolloin esimerkiksi pumpun pysäyttämisestä saadaan virtausmittauksen alarajahälytys. Tällaisissa tapauksissa hälytys on turha.



6. Varmistetaan, että operaattori pääsee hälytyksestä suoraan häiriössä olevaan osaprosessinäyttöön:
 - Hälytyslistalta tulee päästä häiriöön liittyvään kaavionäyttöön ja toimintaohjeeseen.
7. Signaalin värähtelystä johtuvat hälytykset:
 - Toisinaan mittauksissa esiintyy signaalin värähtelystä johtuvia useita peräkkäisiä hälytyksiä ja nämä aiheuttavat hälytyssivujen täyttymisen. Mittaussuureiden arvon heilahduksista aiheutuvat ylimääräiset hälytykset estetään signaalin suodatuksen, kuolleen alueen tai sopivan viiveen avulla.
8. Tulosignaali vika
 - Mitta-alueiden rajat tulee tarkastaa, kun mitta-alue mene yli tai alle määritettyjen alueiden. Nämä aiheuttavat mittausvian, joka yleensä tarkoittaa, että mittauspiirissä on joko katkos tai oikosulku. Konfigurointisymbolin parametrien avulla määritetään raja-arvot eli kuinka paljon mittaus saa ylittää tai alittaa normaalit mitta-alueet.
9. Tarjotaan tehokkaat välineet hälytysinformaation käsittelemiseen
 - Käytetään hyödyksi historiatietokantoja käyttämällä näihin tarkoitettuja ohjelmia.
10. Tuetaan hälytyskäsittelyn suorituskyvyn arviointia ja toiminnan jatkuvaa kehittämistä:
 - Raportit voitaisiin tulostaa kunnossapidon viikkopalaveriisiin, jolloin olisi mahdollista arvioida korjaustoimenpiteet viallisille laitteille.
 - Ohjelmien käytönopastuksen ja koulutuksen avulla edistetään hälytyskäsittelyn suorituskyvyn paranemista ja kehitystä.

5

LISÄÄ LUETTAVAA

1. EEMUA. 2013. Alarm systems - A guide to design, management and procurement.
2. Suomen Automaatioseura ry. 2010. Valvomo - suunnittelun periaatteet ja käytännöt.
3. ANSI-ISA-18.2.2009. Management of Alarm Systems for the Process Industries
4. IEC 62241 2004. Nuclear Power Plants – Main control room – Alarm functions and presentation
5. HPR-354 2002. Recommendations to alarms systems and lessons learned on alarm system implication.
6. Hollified B & Habibi E. 2007. Alarm management – Seven effective methods for optimum performance. Instrumentation, Systems, and Automation Society (ISA)
7. BLRBAC: [Safe Firing of Black Liquor in Black Liquor Recovery Boilers](#)

SUOMEN SOODAKATTILAYHDISTYS RY
RAPORTTISARJA

- 1/2015 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Konemestaripäivä 29.1.2015, esitelmät
Hotelli Cumulus, Rauma, Metsä Fibre Oy, Rauman tehdas
(16A0913-E0154) 29.1.2015
- 2/2015 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Aktiivihiihden mitoituksen varmistus ja optimointi sekä TOC-reduktion
varmistaminen
(16A0913-E0155) 29.1.2015
- 3/2015 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattilan käynnistys-, pysäytys- ja häiriöjaksojen määrittely
(16A0913-E0156) 14.4.2015
- 4/2015 Suomen Soodakattilayhdistys ry
CFD Modeling of Reduced Lignin Black Liquor Combustion
Markus Engblom ja Nikolai DeMartini, Åbo Akademi
(16A0913-E0157) 14.4.2015
- 5/2015 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Understanding Low Temperature Corrosion in Black Liquor Combustion
Niklas Vähä-Savo, Emil Vainio, Nikolai DeMartini, Patrik Yrjas & Mikko Hupa
Åbo Akademi
(16A0913-E0158) 14.4.2015
- 6/2015 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattila-alan yhteistoiminta
Vuosikertomus 2014
(16A0913-E0159) 23.4.2015
- 7/2015 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattila-alan yhteistoiminta
Pöytäkirja. Vuosikokous 23.4.2015, Top Lounges, Helsinki
(16A0913-E0160) 23.4.2015
- 8/2015 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Ääninuohouksen mahdollisuudet soodakattiloilla
Santeri Peltola, Tampereen teknillinen yliopisto
(16A0913-E0161) 19.10.2015
- 9/2015 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattilapäivä 29.10.2015
Sokos hotelli Flamingo, Vantaa
(16A0913-E0162) 29.10.2015

SUOMEN SOODAKATTILAYHDISTYS RY
RAPORTTISARJA

- 1/2016 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Syöttövesipumppujen optimaalinen valinta
Optimal design of boiler feed water pumping system
Esa Vakkilainen ja Bahnam Zakri , Lappeenrannan teknillinen yliopisto
(16A0913-E0163) 13.1.2016
- 2/2016 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Understanding Low Temperature Corrosion in Black Liquor Combustion, Phase 2
Nikolai DeMartini, Henri Holmblad, Emil Vainio, Patrik Yrjas ja Leena Hupa, Åbo Akademi
(16A0913-E0164) 13.1.2016
- 3/2016 Suomen Soodakattilayhdistys ry
CFD Modeling of Reduced Lignin Black Liquor Combustion, Phase 2
Markus Engblom ja Nikolai DeMartini, Åbo Akademi
(16A0913-E0165) 13.1.2016
- 4/2016 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Konemestaripäivä 28.1.2016, esitelmät
Sokos hotelli Koli, Lieksa, Stora Enso Oyj, Enocellin tehdas
(16A0913-E0166) 28.1.2016
- 5/2016 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Viherlipeäsakan syrjäytyspesu
Kurt Sirén, Oy Sirra Ab
28.1.2016
(16A0913-E0167)
- 6/2016 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Hyvät hälytyskäytännöt - yhteenveto
Automaatiotyöryhmä
23.3.2016
(16A0913-E0168)

LIITE 4

YTR: Oy Sirra Ab, Viherlipeäsakan syrjäytyspesu – raportti 29.2.2016

Suomen Soodakattilayhdistys ry

**Viherlipeäsakan syrjäytyspesu
Kurt Sirén, Oy Sirra Ab
28.12.2015**

Raportti 5/2016

(16A0913-E0167)

YHTEENVETO TULOKSISTA

Tutkittiin viherlipeäsakan pesumenetelmää, jossa viherlipeän selkeytyksestä / suodatuksesta tuleva käsittelemätön sakkaliete pestään pystysuorissa putkissa vastavirtaperiaatteella (syrjäytyspesu). Syrjäytyspesumenetelmä erottaa lipeän, muiden komponenttien jäädessä pestyyn sakkaan ja tarkoituksena pitkällä tähtäimellä on erottaa myös muut komponentit toisistaan. Työn tässä vaiheessa keskityttiin itse pesumenetelmän kehittämiseen, muiden komponenttien erottamisen toisistaan jäädessä myöhempisiin vaiheisiin.

Projektia varten hankittiin käsittelemätöntä viherlipeäsakkalietettä tehtaalta jossa on käytössä viherlipeänselkeytys. Sakan pesussa/käsittelyssä tehtaalla on perinteinen precoat-rumpusuodin. Tulokset osoittivat että menetelmä on toimiva ja käyttökelpoinen.

Menetelmällä voidaan pestä viherlipeäsakka siten, että natriumsuolat saadaan talteen, ja liukenemattomat aineet saadaan ulos siten, että niiden määrä on merkittävästi pienempi kuin pre-coat-suotimella. Menetelmä luo myös hyvän lähtökohdan mahdolliselle jatkokäsittelylle, kuten happoliuotukselle tai vaahdotukselle.

Merkittävin tekijä selkeytyksessä on sakeus, eikä kuten odotettua, tiheys. Tästä seuraa se, että on edullista käyttää verraten korkeita putkia, ja käyttää selkeytykseen vain ylintä osaa. Silloin sakkakerroksen sakeus ei kasva yhtä nopeasti, ja laskeutumisnopeus pysyy kauemmin suurena.

Tarkkoja laskelmia siitä, miten paljon kaatopaikalle menevän jätteen määrää voitaisiin vähentää, on hyvin vaikeaa tehdä. Laskelmien mukaan projektissa mukana olleessa tehtaassa olisi mahdollista vähentää sakan määrää lähes 60 %. Tehtaalla on sakan pesussa/käsittelyssä perinteinen rumpusuodin, jossa käytetään precoat -meesaa. Jäljellä oleva virta on mahdollista käsitellä edelleen pidemmälle, mutta siihen on kehitettävä uusia prosesseja.

Laitteisto olisi teknisesti yksinkertainen ja siinä olisi hyvän vähän liikkuvia osia, lukuun ottamatta pumppuja ja venttiilejä. Tilankäyttö pysyisi kohtuullisissa rajoissa.

Jatkohankkeessa olisi keskityttävä kemiallisiin kysymyksiin ja analyysihin, ja tutkittava erityisesti raskasmetallien käyttäytymistä.

Sisällysluettelo

YHTEENVETO TULOKSISTA.....	2
1 PROJEKTI JA LAITTEISTO	4
1.1 Tavoite	4
1.2 Tausta	4
1.3 Syrjäytyspesu	4
1.4 Laitteisto	6
2 TEHDYT KOKEET JA TULOKSET.....	8
2.1 Koemateriaali.....	8
2.2 Esikokeita.....	8
2.3 Kokeet putkilaitteessa	10
2.4 Selkeytymisaika ja -nopeus.....	13
2.5 Selkeytyskoe määritellyissä oloissa	15
3 PROSESSIN JA TULOSTEN ARVIOINTI	18
3.1 Happoliuotus	18
3.2 Vaikutus kaatopaikkajätteen määrään.....	19
3.3 Arvioita tehdasmittakaavan laitteistosta	20
4 JOHTOPÄÄTÖKSET.....	20
4.1 Jatkotutkimustarpeita	20
VIITTEET	21

1 PROJEKTI JA LAITTEISTO

1.1 Tavoite

Projektin tavoitteena oli ensimmäiseksi selvittää toimiiko menetelmä ja toiseksi voidaanko syrjäytyspesulla vähentää kaatopaikalle vietävän viherlipeäsakka-jätteen määrää. Syrjäytyspesu olisi vaihtoehto nykyisten viherlipeäsakan pesu/käsittelytekniikoiden (precoat-suodin, linko, painesuodatus yms.) tilalle.

1.2 Tausta

Jätteiden hyödyntämistä ja tuotteistamista säädellään sekä EU-lainsäädännöllä että kansallisesti. Nykyisellä lainsäädännöllä pyritään ensisijaisesti vähentämään jätteen määrää ja lisäämään jätteen kierrätystä sekä edistämään jätteiden hyötykäyttöä. Arvioiden mukaan Suomessa sellutehtailla syntyy noin 80 000 tonnia viherlipeäsakkaa vuodessa, josta noin 85% loppusijoitetaan kaatopaikoille (1). Viherlipeäsakan osuus kaikesta selluteollisuuden kaatopaikalle päätyvästä kiintojätteestä on noin 44 %, vuonna 2012 sakan määrä oli 64 200 tonnia (kuiva).

Jätevero vuoden 2015 alusta on 55 euroa tonnilta jätettä, joka toimitetaan kaatopaikalle (1). Viherlipeäsakka on tällä hetkellä vapautettu jäteverosta, koska hyötykäytölle ei ole löytynyt toimivaa kustannustehokasta ratkaisua. Sakka määritellään Suomessa jätteeksi joka merkitsee että hyötykäyttöä rajoittavat erilaiset lait ja asetukset, mm. pitoisuusrajat. Sakalle on kuitenkin pyritty löytämään hyötykäyttöratkaisuja useissa projekteissa. Hyötykäyttöä hankaloittaa sakan koostumus ja hallittavuus. Lisäksi koostumus vaihtelee tehtaiden välillä johtuen sellun valmistusprosessin eroista. Näin ollen yhdellä tehtaalla toimiva hyödyntämismenetelmä ei välttämättä sovellu toiselle tehtaalle. Sakkaa on lähinnä hyödynnetty jätevesien neutralointiin sekä kaatopaikkojen pintarakenteissa vettä pidättävässä kerroksessa.

Viherlipeäsakka sisältää erilaisia suoloja kuten natriumkarbonaattia ja sulfidia, ja lisäksi nokea ja muita sellun valmistusprosessin kannalta haitallisia aineita kuten alumiinia, magnesiumia, mangaania, piitä, rautaa, kuparia, kadmiumia ja fosforia.

1.3 Syrjäytyspesu

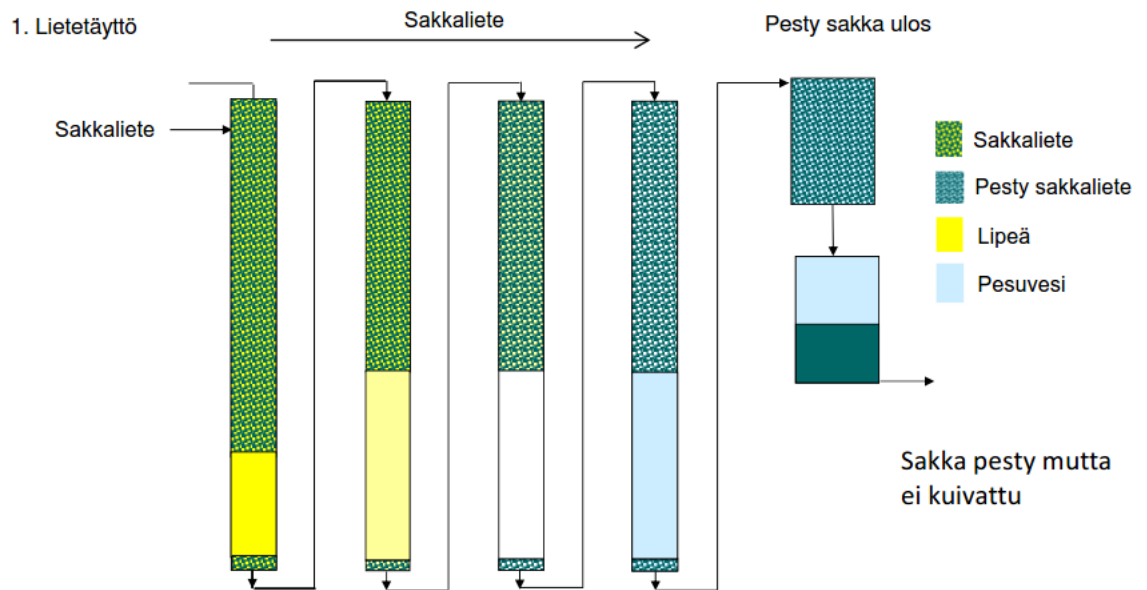
Syrjäytyspesun ajatus on se, että sakka pestään vedellä vastavirtaperiaatteella, ja saadaan natriumsuolat talteen käyttämättä perinteistä suodatusta. Etuna on se, ettei pre-coat –meesaa tarvita, minkä vuoksi jätteen määrä vähenee lähes puoleen verrattuna perinteiseen rumpusuotimeen. Menetelmä perustuu siihen, että sakka vuorotellen sekoitetaan ja laskeutetaan pystysuorissa putkissa, joissa pesu tapahtuu asteittain, ja sopivalla sakan ja veden syötöllä saadaan lipeä ulos putkirivin toisesta päästä ja pesty sakka toisesta päästä. Menetelmä on tarkemmin kuvattu alla.

Pitkällä tähtäimellä pyritään siihen, että sakka voitaisiin käsitellä lähes kokonaan hyötytuotteiksi ja harmittomiksi aineiksi. Esillä olevassa hankkeessa selvitettiin kuitenkin vain menetelmän toimivuutta ja jätemäärän vähentämispotentiaalia. Ainoastaan joitakin perusanalyysyjä voitiin hankkeen puitteissa tehdä.

Syrjäytyspesumenetelmä on havainnollistettu kuvassa 1 a – c.

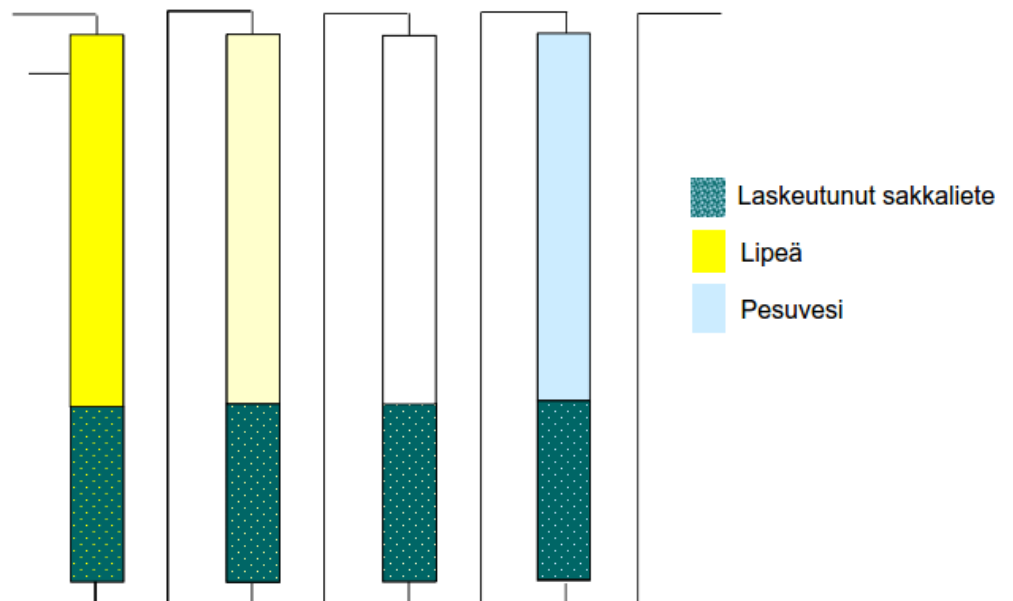
1. Sakkaliete syötetään ensimmäiseen putkeen (kuvassa vasemmalla), ja samalla syrjäytetään edelliset sakkaerät aina seuraavaan putkeen. Viimeisestä putkesta (kuvassa vasemmalla) saadaan ulos valmiiksi pestyä sakkaa. (kuva 1 a)
2. Toisessa vaiheessa annetaan sakan laskeutua, sakeutus (kuva 1 b).
3. Kolmannessa vaiheessa syötetään pesuvettä viimeiseen putkeen (kuvassa oikealla) Samalla syrjäytetään lipeä ulos ensimmäisestä putkesta (kuva 1c).

Käytännössä toinen ja kolmas vaihe on toistettava muutamia kertoja jotta vesitase pysyy kohdallaan, eli veden nettokulku on oikealta vasemmalle. Tämän jälkeen sykli alkaa alusta eli otetaan uutta sakkalietettä ensimmäiseen putkeen.

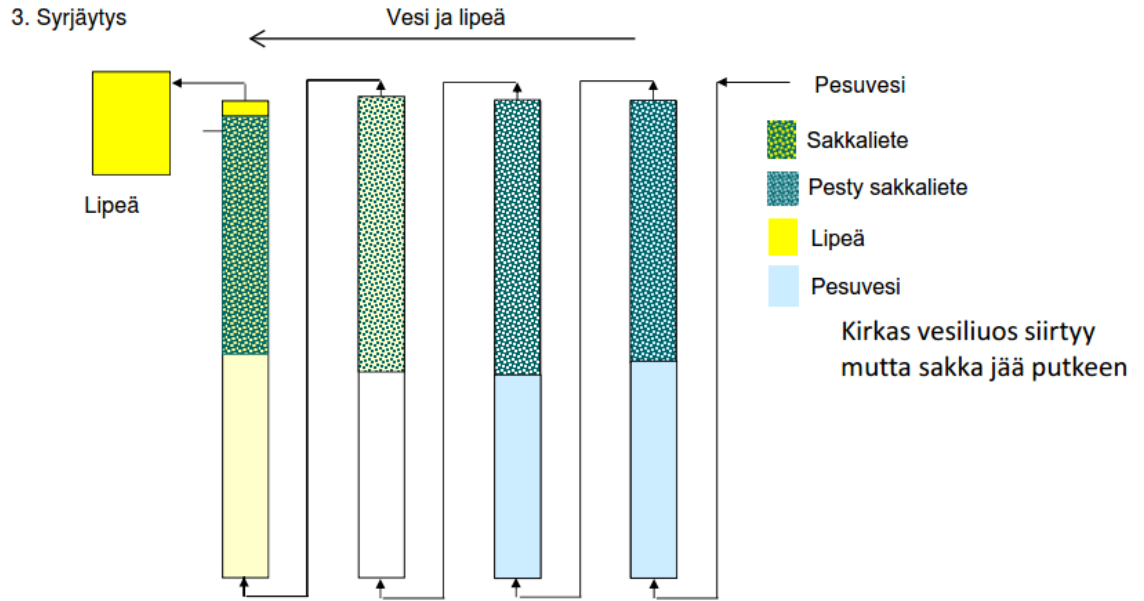


Kuva 1a. Täyttö sakkalietteellä.

2. Sakeutus



Kuva 1b. Sakeutus



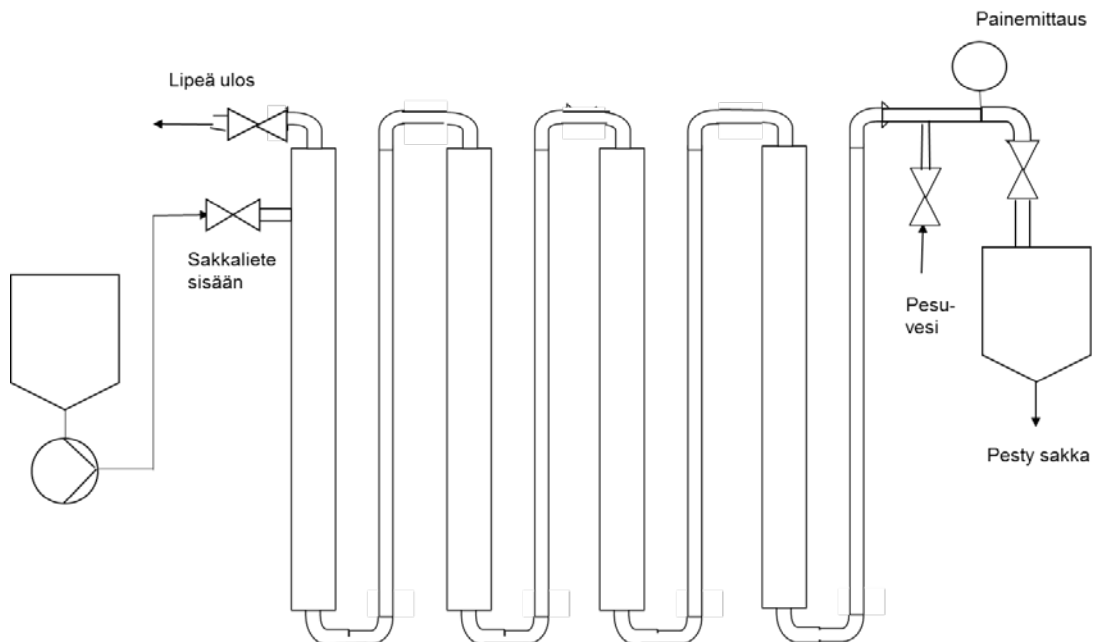
Kuva 1c. Lipeän ulosotto syrjäyttämällä.

Ulos saatava sakka on pesty mutta edelleen melko märkää. Siksi, jos jatkokäsittelyä ei tavoitella vaan tyydytään pelkästään sakan määrän vähentämiseen, jonkinlainen sakeutus ja/tai loppukuivaus lienee tarpeen. Pitkän tähtäimen tavoitteena on kuitenkin jatkokäsittely, jossa pyritään erottamaan haitalliset aineet, kuten kadmium ja lyijy, ja saamaan hyödylliset aineet talteen, kuten muut hivenaineet. Näitä voitaisiin käyttää esim. metsälannoitteena. Hiilen luonnollinen loppusijoitus olisi poltto.

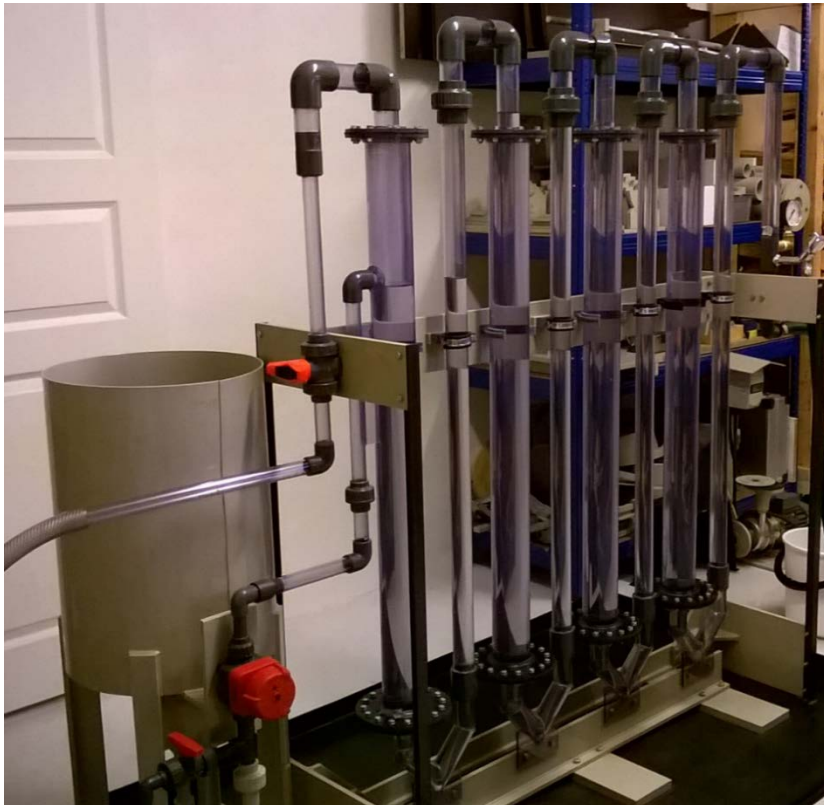
1.4

Laitteisto

Kokeita varten rakennettiin kuvassa 2 oleva laitteisto. Vasemmalla on lietteen syöttösäiliö ja pumppu. Oikealla on pestyn sakan selkeytys- ja sakeutussäiliö. Putkien sisähalkaisija oli 67,2 mm ja korkeus 1,0 m. Pienten siirtoputkien sisähalkaisija oli 36 mm. Kuvissa 3 a ja b on valokuvia laitteistosta.



Kuva 2. Koelaitteisto.



Kuva 3a. Koelaitteistoa (vasemmalla sakkalietteen syöttösäiliö)



Kuva 3b. Koelaitteistoa

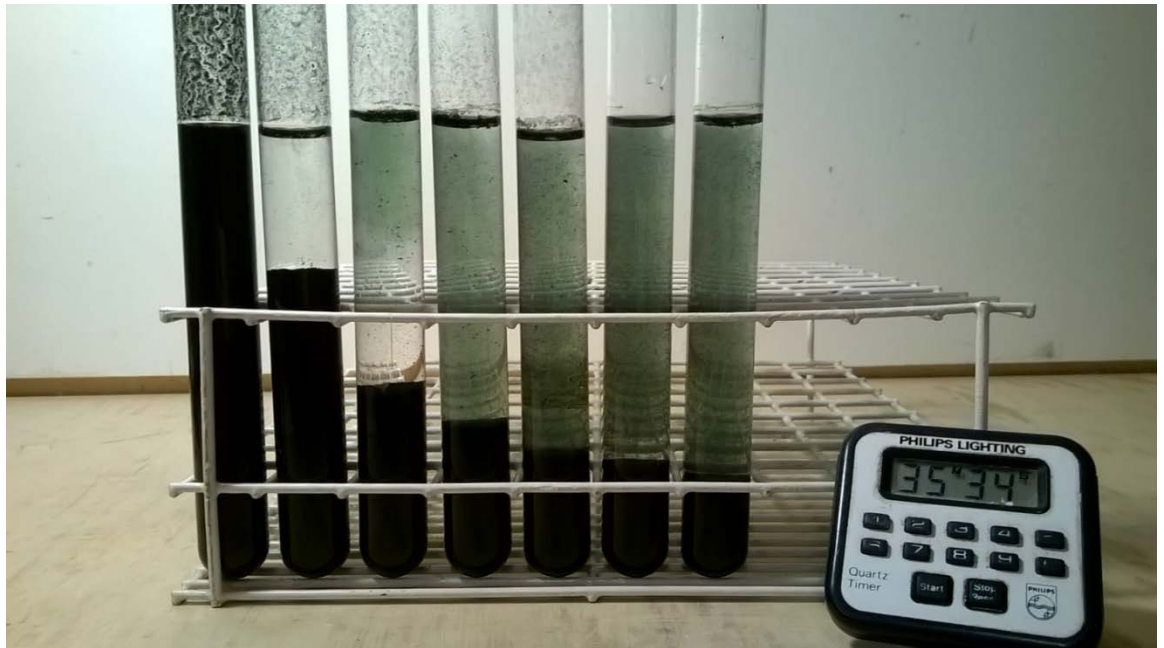
2 TEHDYT KOKEET JA TULOKSET

2.1 Koemateriaali

Hankittiin viherlipeäselkeyttimen alitetta tehtaalta. Tehtaan valinta perustui ensisijaisesti siihen, että juuri siltä tehtaalta oli tehty opinnäytetyö, minkä vuoksi oli olemassa paljon analyysidataa sakasta (2). Lisäksi, kun menetelmänä käytettiin perinteistä viherlipeän selkeytintä, sakka oli verraten konsentroituja, kuiva-ainepitoisuuden ollessa normaalisti noin 25 %.

2.2 Esikokeita

Ennen laitekokeita tehtiin muutamia tunnustelevia kokeita, joissa pyrittiin selvittämään miten viherlipeäsakka käyttäytyy laskeutusta silmälläpitäen. Seitsemään koeputkeen laitettiin sakkalietettä eri laimennoksina, ja seurattiin selkeän kerroksen muodostumista, ks. kuva 4. Ensimmäisessä putkessa oli laimentamaton liete, seuraavissa laimennoksia suhteissa 1:1, 2:1, 3:1, 4:1, 5:1 ja 6:1.



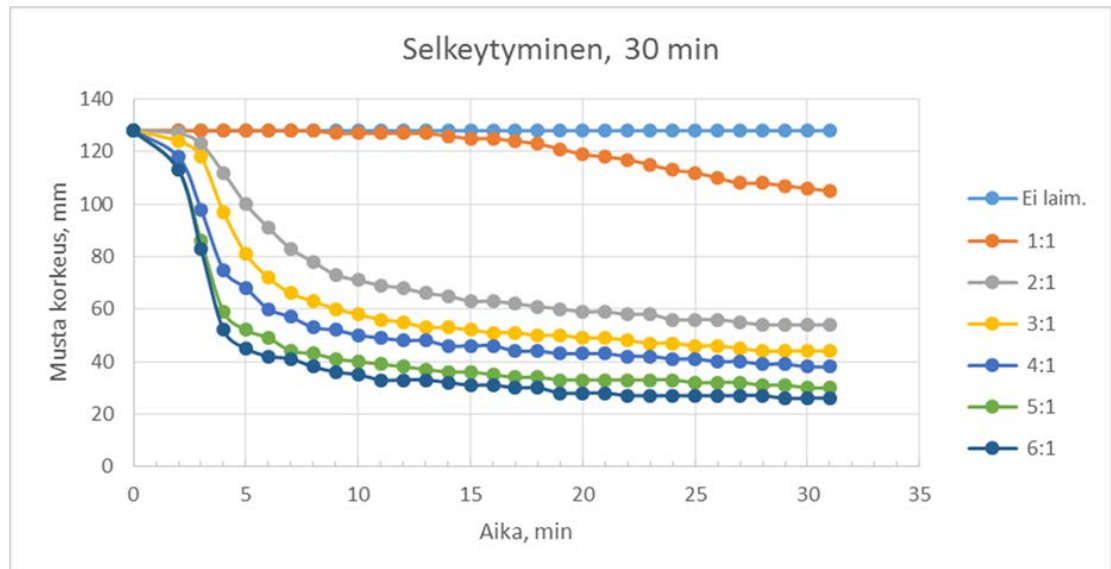
Kuva 4. Laskeutus koeputkissa eri laimennoksina.

Kokeesta kävi varsin selvästi ilmi, että laimentamaton sakka laskeutuu äärimmäisen hitaasti. Kuvassa 5 a - c on esitetty kirkkaan kerroksen korkeus ajan funktiona.

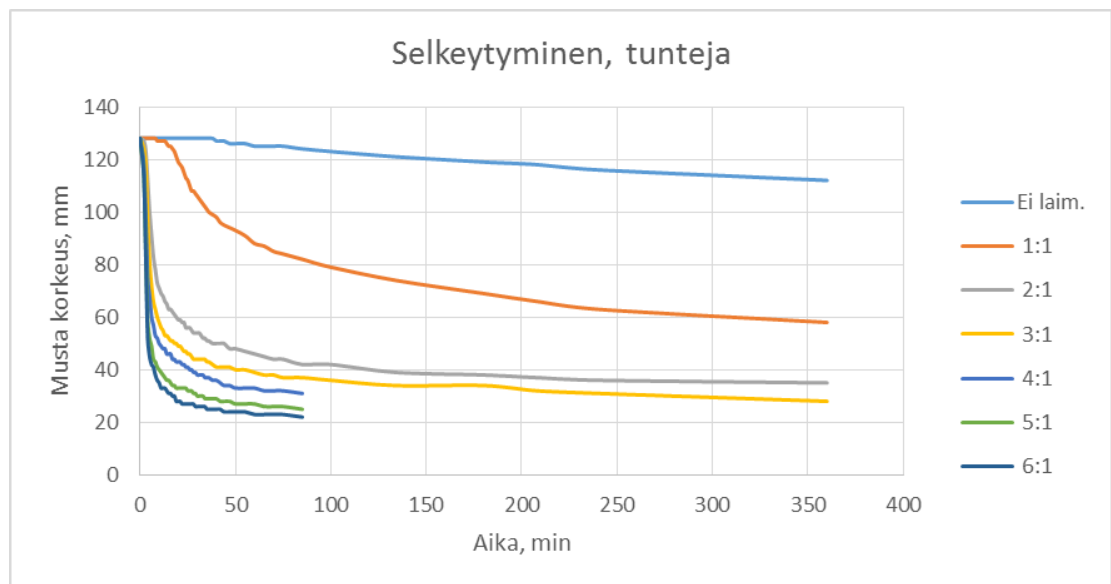
Kuten kuvasta käy ilmi, laimentamaton sakka ei kirkastunut lainkaan puolessa tunnissa. Kaikista käyristä käy alussa ilmi selittämätön viive. Seossuhteessa 1:1 tämä viive oli noin 15 min, minkä jälkeen alkoi näkyä selvä kirkas kerros. Suuremmissa seossuhteissa, eli laimeammissa liuoksissa, viive lyheni ja selkeytyminen nopeutui. Nopean laskuvaiheen jälkeen selkeytymisnopeus tasaantui. Kokeen tuloksena voidaan todeta että sakeus on ratkaiseva tekijä syrjäytyspesun kannalta. Jos käytetään tehtaan alitetta sellaisenaan (25 % ka), se johtaa kestävämpään pitkään käsittelyaikaan. Prosessi on sillä tavalla toteutettuna liian hidas ollakseen käytännössä käyttökelpoinen. Kuvasta 5b käy ilmi, että edes kuuden tunnin jälkeen riittävää kirkastunutta kerrosta ei ole syntynyt. Jotta käyttökelpoinen laskeutusnopeus olisi saavutettavissa, laimennussuhteen on kuvasta päätellen oltava vähintään 3:1, eli kolme osaa vettä ja yksi osa alitetta, tai vielä laimeampi. Vielä suuremmalla

laimennussuhteella saavutetaan hyvin nopea selkeytymisen ensimmäisen viiden minuutin aikana.

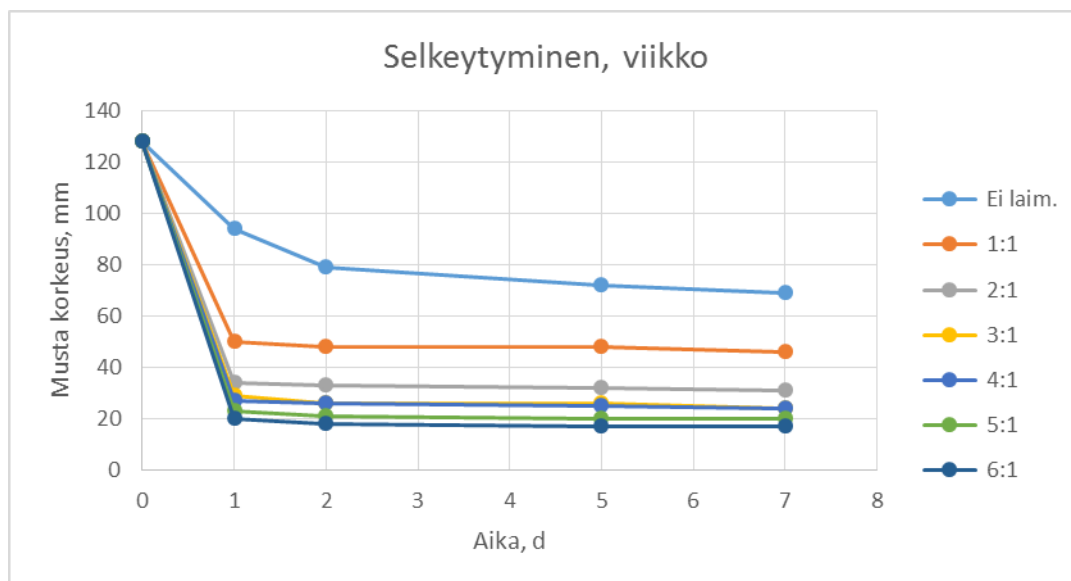
Kuvasta 5c nähdään että laimentamaton alite oli viikon jälkeen vielä muutostilassa, muiden seosten ollessa jo kohtuullisen hyvin stabiloituneet. Koe antoi osviittaa siihen, miten syrjäytyspesuprosessia kannattaa ajaa.



Kuva 5a. Selkeytymisen noin puolessa tunnissa eri laimennussuhteilla.



Kuva 5b. Selkeytymisen pidemmällä aikavälillä, 6 h.



Kuva 5c. Selkeytyminen pitkän ajan kuluessa.

2.3

Kokeet putkilaitteessa

On periaatteessa kaksi eri tapaa toteuttaa syrjäytyspesu. Toisessa tavassa sakka pysyy paikallaan, ja vesifaasi liikkuu sen läpi ylöspäin. Toisessa tavassa koko sakkakerros liikkuu ylöspäin alhaalta syötetyn veden mukana, minkä jälkeen sakka laskeutuu vesifaasin läpi, ja tulee siten pestyksi. Molempia kokeiltiin, mutta todettiin pian että ensimmäinen tapa ei ole toimiva. Vaikka kuinka hitaasti yritettiin syöttää vesi, sakkakerros pöllähti ylös, ja sekoittui veden kanssa. Toinen tapa taas toimi hyvin. Sopivalla vedensyöttönopeudella sakkakerros liikkui tulppana ylös putkessa, ja selvä rajapinta kirkkaan osan ja mustan sakkakerroksen välillä säilyi. Kirkas lipeä saatiin syrjäytettyä ulos putkesta. Jälkimmäinen tapa siten oli käytössä jatkossa.

Periaate, jossa sakka pyritään pitämään paikalla, ja vesi liikkuu sen läpi, on myös sillä tavalla epäedullinen, että vesi pyrkii kanavoitumaan joitakin reittejä pitkin. Silloin kakun muut osat jäävät pesemättä. Käytetyssä tavassa taas sakka hajoa kokonaisuudessaan, ja kun se laskeutuu veden läpi, hiukkaset tulevat yksittäisinä partikkeleina pestyiksi.

Laitteistoa ajettiin siten, että sakkaseosta, ensin seossuhteessa 3:1 ja myöhemmin 4:1, syötettiin syöttösäiliön kautta yhdellä kerralla. Kerta-annos oli 3,6 l, joka oli yhtä kuin yhden putken tilavuus. Joka syötössä yhden putken sisältö siirtyi yhden putken verran eteenpäin (oikealle). Syötön jälkeen sakka-annos sekoittui edellisen putken pesuveden kanssa, ks. kuva 6. Kun liete oli syötetty, annettiin sakan laskeutua putkissa.

Kun sakka oli laskeutunut, syötettiin pesuvettä putkirivin toisesta päästä (kuviissa oikealta). Kuvasarjasta 7a - d käy ilmi lipeän syrjäytyminen. Prosessia ohjattiin ensimmäisen putken mukaan, siten että tämän kirkas kerros nousi ulostuloputkeen saakka, minkä jälkeen veden syöttö katkaistiin. Muiden putkien rajapinnat olivat silloin hieman alempana.

Kuvasarjasta 8a - c käy tarkemmin ilmi miten rajapinta siirtyy ehjänä ylöspäin veden syötön aikana. Veden nousunopeus oli 700 mm/min, mikä vastaa tässä laitteistossa 2,5 l/min.



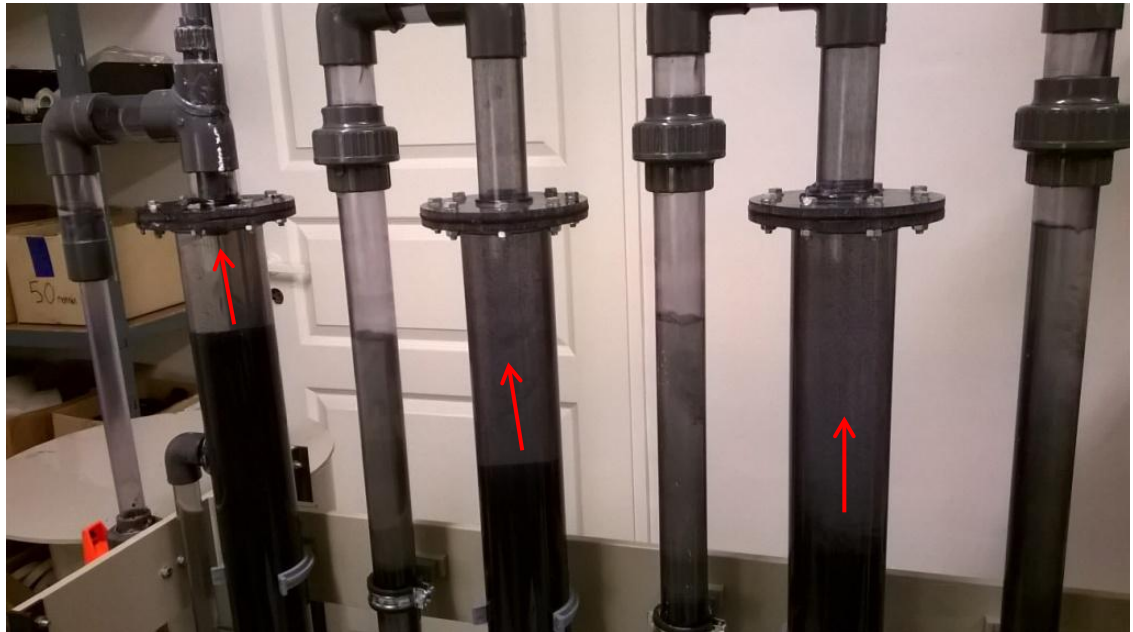
Kuva 6. Tilanne sakkalietteen syötön jälkeen.

Syrjäytys tehtiin aina kun kirkas korkeus oli noin 0,5 m. Jotta veden nettovirtaus kulkisi oikealta vasemmalle, oli tehtävä useampi laskeutus ja syrjäytys joka sakkalietetäyttöä kohti (1 m per täyttö).

Sakkalietteen laimennustarve aiheuttaa sen, että tuotelipeä on laimeampi kuin normaali viherlipeä. Myös edellisistä pesuvaiheista tuleva vesi laimentaa tuotelipeää. Koska jo koeputkikokeessa kävi ilmi, että ratkaisevin tekijä laskeutumisnopeudelle on sakeus, eikä suinkaan kuten odotettua vesifaasin tiheys, olisi mahdollista kierrättää tuotelipeä, ja siten kasvattaa sen konsentraatiota. On kuitenkin kyseenalaista onko siitä hyötyä, sillä lipeä on joka tapauksessa viettäviä sulaliuottajia, ja periaatteessa voidaan yksinkertaisesti ohjata suurempi osa sinne menevistä vesistä syrjäytyspesun kautta.



Kuva 7a. Lipeän syrjäytyminen. Kirkas kerros otetaan ulos putkesta no 1. (nuoli). Kirkastunut pesuvesi putkissa 2 - 4 siirtyy samalla aina seuraavaan putkeen vasemmalle.



Kuva 7b. Lipeän syrjäytyminen. Musta kerros liikkuu ylöspäin kaikissa putkissa.



Kuva 7c. Lipeän syrjäytyminen (nuoli). Rajapinta pysyy selvänä myös muissa putkissa.



Kuva 7d. Syrjäytys pysäytetään kun rajapinta on saavuttanut ulostuloputken suun.

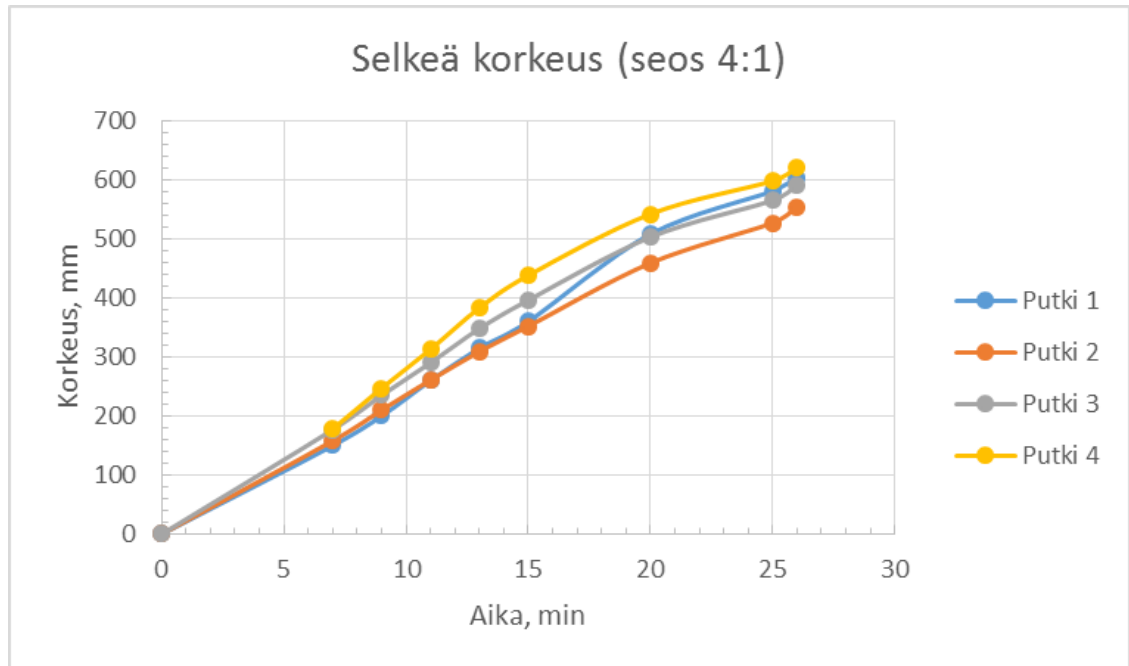


Kuva 8. Lipeän syrjäytys: rajapinta säilyy selvänä ja ehjänä syrjäytyksen edetessä.

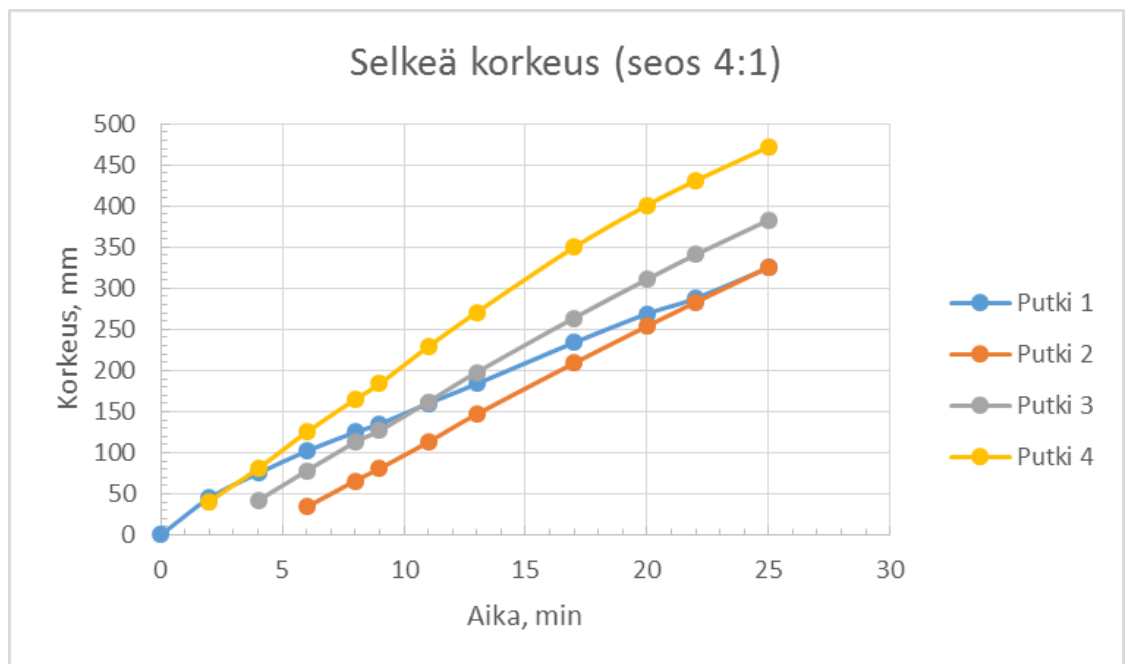
2.4

Selkeytymisaika ja -nopeus

Toimivalle tehdasprosessille on olennaista se, että laskeutussykli pysyy järkevissä aikapuitteissa, eli että prosessin kapasiteetti on riittävä. Siksi haettiin ensin käyttökelpoista seossuhdetta, eli sopivaa laimennosta. Päädyttiin suhteeseen 4:1, eli neljä osaa vettä ja yksi osa sakkalietettä. Mitattiin kirkkaan kerroksen korkeus ajan funktiona. Prosessia ajettiin toistuvasti monta kertaa kunnes se oli saatu stabiiliksi ennen lopullisia mittauksia. Ensimmäisen laskeutuksen aikariippuvuus eri putkissa käy ilmi kuvasta 9. Noin 25 minuutissa saatiin yli 0,5 m kirkas nestekerros.



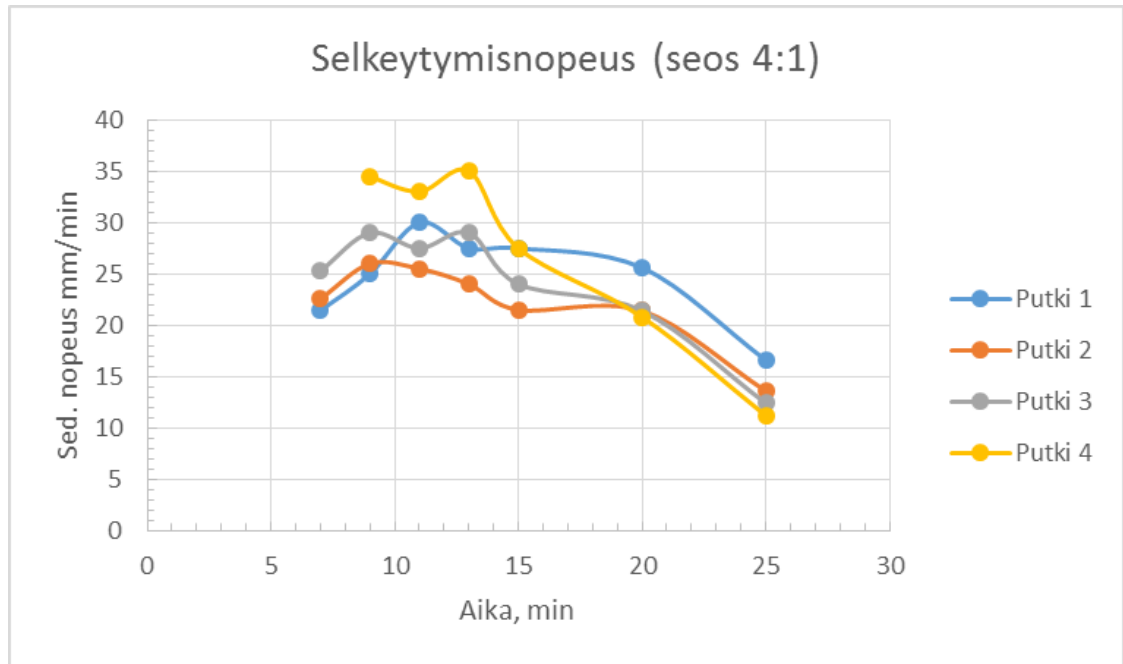
Kuva 9. Ensimmäinen selkeytyminen sakkalietetäytön jälkeen.



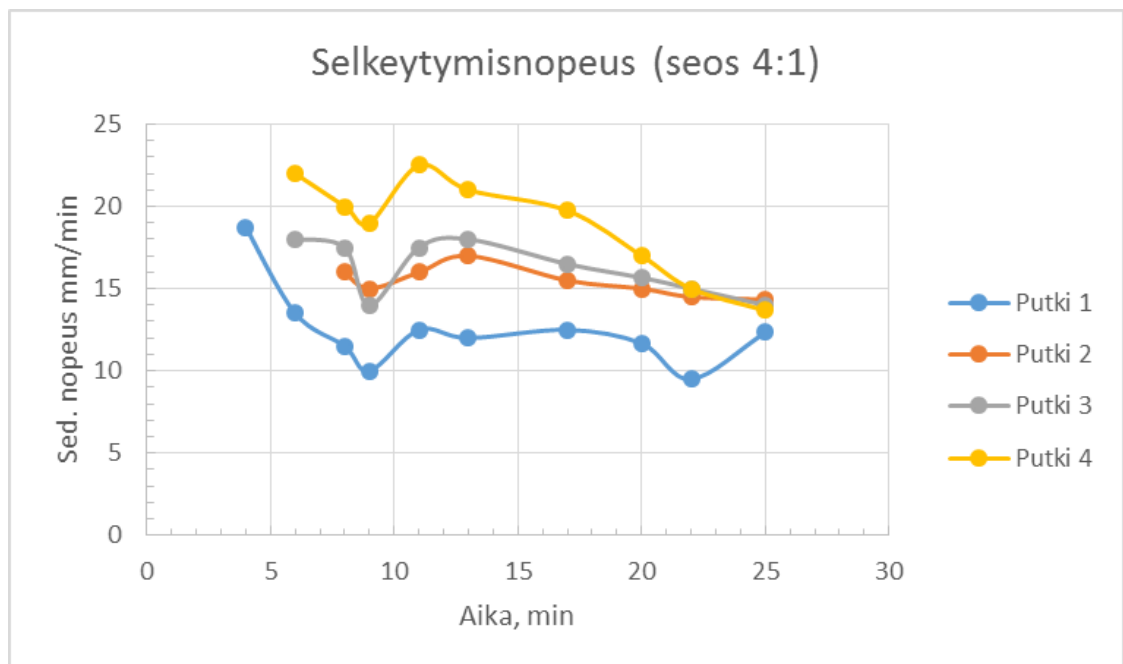
Kuva 10. Toinen selkeytys.

Kuvasta 10 käy ilmi toinen selkeytys. Hieman vaikeaselkoisena ilmiönä todettiin että seuraava laskeutus oli aina hieman hitaampi. Tämä toistui kaikissa putkissa ja kaikissa selkeytyksissä. Ilmiölle ei nähty selitystä, minkä vuoksi tehtiin myöhemmin selkeytyskoe paremmin määritellyissä oloissa, koe on kuvattu tarkemmin myöhempanä.

Selkeytysnopeus on esitetty kuvissa 11 ja 12. Kuten kuvasta käy ilmi, nopeus oli alussa pääasiassa alueella 25 – 30 mm/min, mutta laski loppua kohti. Syynä laskuun on ilmeisesti sakeuden kohoaminen sakkakerroksessa. Mahdollinen tiheyden vaikutus näkyy putkissa 2 – 4, joissa nopeus kohoaa tiheyden järjestyksessä, eli putki 4 on laimein.



Kuva 11. Nopeus ensimmäisessä selkeytyksessä sakkasyötön jälkeen.



Kuva 12. Nopeus toisessa selkeytyksessä syötön jälkeen.

Toisessa laskeutuksessa sakkasyötön jälkeen nopeus jäi alemmalle tasolle. Myös tässä on mahdollisesti tiheyden mukainen järjestys, kuitenkin täytyy ottaa huomioon myös mahdolliset tekniset syyt.

2.5

Selkeytyskoe määritellyissä oloissa

Yllä kuvattu koe putkilaitteistossa suuntautui prosessin toimivuuden selvittämiseen. Ollessaan jatkuvakäyttöinen (lukuun ottamatta syklin eri vaiheet), kuten tehdasprosessi, siihen vaikuttavat tekniset seikat, kuten paikallinen sakeus ja tiheys, syöttökohdan korkeus ym. Todellinen selkeytysnopeus, ns. luonnontieteellisessä mielessä, ei tule yksiselitteisesti esille kyseisessä laitteistossa. Se seikka, että nopeus oli suurempi ensimmäisessä

selkeytyksessä, oli hämmentävä. Avoimeksi kysymykseksi jäi myös selkeytysnopeus kun putken korkeus lähestyy tehdassovellusta, eli useampi metri. Todellisen selkeytymisnopeuden selvittämiseksi tehtiin koe, jossa sakan annettiin laskeutua tarkoin määritellyissä oloissa eri korkeuksissa. Tätä tarkoitusta varten tehtiin 2 m korkea ”mittalasi”, jonka sisähalkaisija oli kuten aikaisemmassa kokeessa 67,2 mm. Kuvassa 13 on valokuva mittalasista.

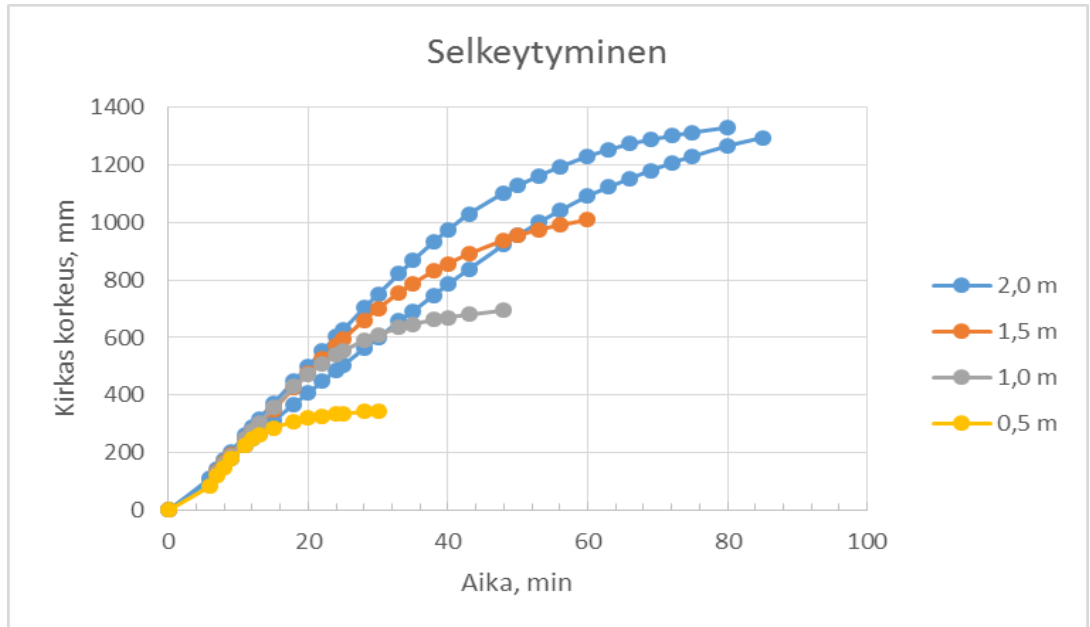
Kokeessa putki täytettiin eri korkeuksiin sakkalietteellä seossuhteessa 4:1. Korkeudet olivat 0,5 m, 1,0 m, 1,5 m ja 2,0 m. Kirkas korkeus mitattiin ajan funktiona. Tulokset on esitetty kuvassa 14 selkeän kerroksen korkeutena ja kuvassa 15 selkeytymisnopeutena.

Korkeus 2 m, mitattiin kaksi kertaa, ensimmäisenä ja viimeisenä. Syynä oli se, että kun mitattiin muut korkeudet, havaittiin että niissä oli suurempi alkuvaiheen nopeus. Uusi mittaus antoi myös 2,0 m korkeudelle nopeampi selkeytyminen. On mahdollista että syynä tähän on se, että jotkin pienet hiukkaset liukenivat.

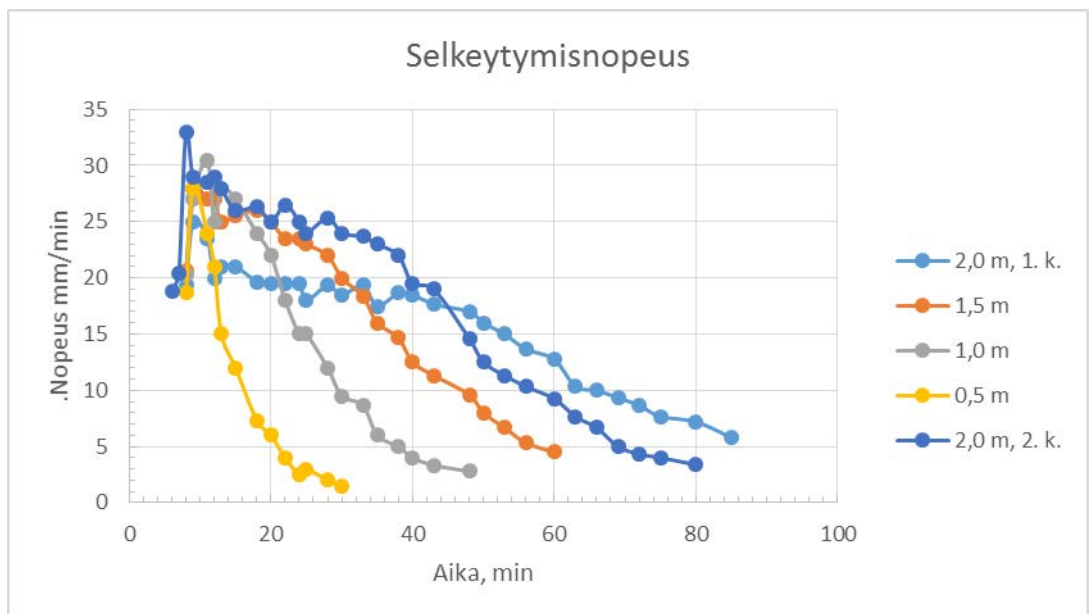
Paremmiin määritellyissä oloissa saatiin erilaisia tuloksia kuin putkirivilaitteistossa, jossa ilmeisesti vaikuttivat myös muut seikat kuin pelkkä laskeutuminen.



Kuva 13. 2 m korkea ”mittalasi”.



Kuva 14. Selkeän kerroksen korkeus.



Kuva 15. Selkeytymisnopeus.

Kuvasta 14 nähdään että selkeytyminen hidastui jonkin ajan kuluttua. Mitä matalampi kokonaiskorkeus, sitä aikaisemmin hidastuminen alkoi. Tämä johtui ilmeisesti siitä, että sakeus sakkakerroksessa, eli ns. mustassa kerroksessa, kohosi nopeammin. Korkeudessa 0,5 m sakeus on kaksinkertaistunut kun on muodostunut 25 cm kirkas kerros. Korkeudessa 2 m sen sijaan sakeus on kohonnut vain 8 % kun sama kirkas korkeus on saavutettu.

Ilmiö näkyy selvästi kuvassa 15. Alkunopeus on sama kaikissa korkeuksissa (ensimmäistä 2 m mittausta lukuun ottamatta), mutta mitä matalampi pylväs, sitä aikaisemmin se laskee. Teollisessa prosessissa olisi ilmeisesti tarkoituksenmukaista käyttää korkeata pylvästä, ja käyttää vain ylintä kerrosta kirkastamiseen. Silloin voidaan ylläpitää hyvä nopeus kauemmin. Jos korkeus on 2 m, käyttökelpoinen aika olisi kuvasta päätellen 30 – 40 min.

Syrjäytyspesun ensisijainen tarkoitus on vähentää kaatopaikalle menevän viherlipeäsakan määrää. Tämän arvioimiseksi tehtiin joitakin keskeisiä määrittäviä lähtöaineista ja lopputuotteista. Tämän hankkeen puitteissa ei ollut mahdollista tehdä kattavia analyysejä. Tulokset on koottu taulukkoon 1.

Taulukko 1. Analyysitulokset

Nro	Näyte	Ca g/kg	Na g/kg	Kuiva-aine %	TTA NaOH g/l	Tiheys g/cm ³
1	Sakka precoat-suotimelta	145	3,80	30,23		
2	Sakkaliete (selkeyttimen alite)	4,0	98,0	23,59	157*	1,1998
3	Lipeätuote syrjäytyspesusta				27,2	1,034
4	Syrjäytyspesty sakka		16,0	6,03		
5	Pestyn sakan vesifaasi		0,3		0,48	0,9996

*) liuosfaasissa (lipeässä)

Analyysituloksien mukaan käsittelemättömän sakkalietteen eli tehtaan selkeyttimen alitteen kalsiumpitoisuus on hyvin paljon pienempi kuin precoat-suotimesta otetussa käsitellyssä viherlipeäsakassa. Natriumsuolojen pitoisuudet ovat luonnollisesti suuret, kun suurin osa aineesta on viherlipeää.

Tuloksissa erityisen merkittävä seikka on se, että natriumsuolojen pitoisuudet syrjäytyspestyn sakan vesifaasissa on niin pieni. Pesu onnistuu siten hyvin putkijärjestelmässä. Koska lipeä liikkuu laitteessa tulppana vastavirtaan, muodostuu pitoisuusgradientti putken pituussuunnassa, ja tällä tavalla saadaan tehokkaampi pesu kuin mixer–settler -periaatteella. Pesusuhde tuotelipeän ja pestyn sakan vesifaasin välillä on TTA-arvojen perusteella 0,48/27,2 eli 1,8 %.

Syrjäytyspestyssä sakassa on edelleen natriumia, huolimatta siitä, että sakkaa ympäröivässä vesifaasissa natriumpitoisuus on hyvin alhainen. Tämä viittaa siihen, että natrium on sidottuna johonkin kiinteään faasiin, kuten pirsoniittiin.

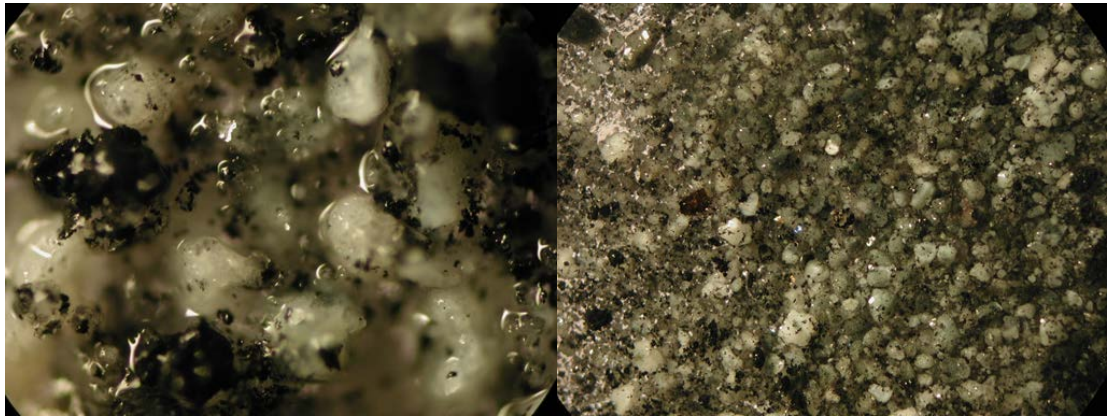
3.1

Happoliuotus

Vaikka syrjäytyspesu sellaisenaan vähentää kaatopaikkajätteen määrää, sen tarkoitus on myös muodostaa hyvä lähtökohta jatkokäsittelylle, millä sakka lopullisesti työstetään hyötyaineiksi ja mahdollisimman pieneen ja harmittomaan virtaan. Mahdollisia käsittelyjä ovat ainakin vaahdotus ja happokäsittely. Vaahdotusta on tutkittu aikaisemmin (2). Tässä työssä tehtiin pienehkö tunnusteleva koe happokäsittelyllä.

Kokeessa käsiteltiin pientä määrää syrjäytyspesulaitteella tuotettua sakkaa noin 5 % rikkihapolla. Hapotuksesta jää karkeata materiaalia, joka voidaan mekaanisesti erottaa muusta sakasta. Kuvissa 16 a ja b on valokuvia erotetusta karkeasta aineksesta. Karkean materiaalin koostumusta ei tutkittu tämän työn puitteissa. Ulkonäöstä on vaikeaa päätellä, ovatko hiukkaset muodostuneet happoliuotuksessa vai jo ennen sitä.

Hapotuksessa kehittyy rikkivetyä, mikä luonnollisesti olisi huomioitava tehdasprosessissa.



Kuva 16a-b. Huuhtomalla erotettu karkea aines. Suurennos a 20 x ja b 100 x.

Vastoin odotuksia happokäsittely ei pienentänyt sakan määrää. Tämä saattoi johtua siitä, että kuiva-aineen määrittämisessä tapahtui hapettumista, mikä lisää aineen painoa, tai siitä, että muodostuneen kalsiumsulfaatin moolipaino on suurempi kuin kalsiumkarbonaatin tai kalsiumhydroksidin. Karkeita hiukkasia oli vain 3–4 % kuiva-aineesta. Kalsiumpitoisuus oli taulukossa 1 esitetyissä analyysituloksissa hyvin pieni, mikä viittaa siihen, että kalsiumkarbonaatin ja kalsiumhydroksidin liuottamiseen ei kulu kovin paljon happoa, eikä synny paljoakaan kalsiumsulfaattia. Haponkulutus liittyy siksi ilmeisesti suurelta osin natriumkarbonaatin hajottamiseen, mikä vuorostaan riippuu pesun tehokkuudesta syrjäytysprosessissa.

3.2 Vaikutus kaatopaikkajätteen määrään

Syrjäytyspesusta hyötyisivät erityisesti ne tehtaat, joilla on nyt sakan pesussa/käsittelyssä perinteinen rumpusuodin, jossa käytetään precoat -meesaa. Syrjäytysprosessin vaikutuksen laskeminen kaatopaikalle menevän viherlipeäsakamäärään on haasteellinen, varsinkin jos se halutaan tehdä tarkasti. Vaikeutena on erityisesti selkeyttimen alitteen ja nykyisen pre-coat-suodatetun sakan suhteuttaminen toisiinsa. Alite koostuu suurelta osin natriumsuoloista, jotka pestään pois pre-coat-suotimessa, mutta taseen laskeminen vaatisi analyyseja ja mittauksia suodoksesta tehtaalla. Kalsiumkarbonaattia tulee sekä soodakattilasta että meesasta, ja lisää vaikeutta syntyy siitä, että kalsium on selkeyttimen alitteessa osittain hydroksidina eikä karbonaattina (2). Yksi keino on laskea suhde hiilen perusteella, eli ei-karbonaattisen hiilen avulla. Palamaton hiili tulee lähes yksinomaan soodakattilasta, eikä käytännössä lainkaan meesauunista. Kun laskelma tehdään hiilivirran perusteella, päädytään aikaisempien analyysituloksien avulla (2) siihen, että pre-coat meesan osuus sakasta oli noin 59 % ja alkuperäisen viherlipeäsakan osuus noin 41 %. Tämä on paras arvio mikä pystyttiin tekemään käytettävissä olevan analyysitiedon perusteella. Laskelma on täysin riippuvainen hiilimäärittelyn tarkkuudesta.

Vaikutus kaatopaikkajätteen määrään on laskelmien perusteella kyseisessä tehtaassa siis noin 59 %. Tämän lisäksi jotkin komponentit voivat liueta syrjäytyspesun aikana, mikä vielä vähentää jätteen määrää. Tätä oli kuitenkin vaikeaa selvittää tarkasti. Tehtaan jätemäärä markäpainona ilmoitettiin olevan 11800 tonnia per vuosi, ja kuiva-aineena 5900 tonnia. Arvion mukaan tämä vähenisi 2400 tonniin. Huomioitavaa on tietenkin, että syrjäytyspesusta ulos tuleva pesty sakka on edelleen hyvin märkää. On arvioitava, voidaanko se läjittää sellaisenaan, vai onko se sakeutettava edelleen, kuivattava tai kuten yllä mainittu vietävä jonkinlaiseen jatkokäsittelyyn.

3.3 Arvioita tehdasmittakaavan laitteistosta

Joitakin arvioita siitä, miltä tehdasmittakaavan laitteisto näyttäisi, on mahdollista tehdä, joskin hyvin karkeasti.

Putkien kokoa lienee mahdollista kasvattaa. Etuna on se, että laitteisto ei vaadi niin monta putkea saavuttaakseen kapasiteetin, joka on tehtaalla riittävä. Jos veden syöttö pohjassa järjestetään siten, että se tapahtuu tasaisesti koko putken poikkipinta-alalla, voi olla että rajapinta saadaan nousemaan ehjänä melko isossakin putkessa, voidaan ajatella esim. 0,5 m tai jopa enemmän. Myös putken korkeuden lisääminen lienee edullista tasaisen ja turbulenssivapaan nousun aikaansaamiseksi.

Täyden mittakaavan laitteiston olisi pystyttävä käsittelemään noin 30 t/d selkeyttimen alitetta kuivaksi laskettuna. Märkäpainona tämä olisi noin 120 t. Nopean selkeyttymisen aikaansaamiseksi alite (25 % k.a.) olisi laimennettava suhteessa 4:1, eli yksi osa alitetta ja neljä osaa vettä tai kierrätettävää lipeää. Vuorokautinen prosessoitava määrä olisi noin 600 tonnia. Yksi selkeytyssykli kestäisi noin 2 h, joten vuorokaudessa olisi tehtävä 12 sykliä. Yhden syklin painomäärä olisi n. 50 tonnia, ja tiheys huomioiden noin 42 m³. Jos putken halkaisija olisi 0,5 m ja korkeus 5 m, ja pesuvaiheita olisi neljä, tarvittaisiin noin 200 putkea. Pinta-alaltaan tämä olisi noin 5 x 10 m. Tämän lisäksi tarvitaan syöttösäiliö ja tuotesäiliö, joiden ei kuitenkaan tarvitsisi olla kovin isoja.

Jos alitteen kuiva-ainepitoisuus on pienempi kuin 25 %, se ei olennaisesti muuta tilannetta, sillä laimennustarve on silloin vastaavasti pienempi.

Yhtenä syrjäytysesun etuna olisi se, että laitteistossa ei ole liikkuvia osia, pumppuja ja venttiilejä lukuun ottamatta. Laitteisto on myös teknisesti äärimmäisen yksinkertainen.

4 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksen tuloksena voidaan todeta, että syrjäytysesu on toimiva menetelmä. Menetelmällä voidaan pestä viherlipeäsakka siten, että natriumsuolat saadaan talteen, ja liukenemattomat aineet saadaan ulos siten, että niiden määrä on merkittävästi pienempi kuin pre-coat-suotimella. Menetelmä luo myös hyvän lähtökohdan mahdolliselle jatkokäsittelylle, kuten happoliuotukselle tai vaahdotukselle.

Merkittävin tekijä selkeytyksessä on sakeus, eitiheys kuten oletettiin ennen kokeita. Tästä seuraa se, että on edullista käyttää verraten korkeita putkia, ja käyttää selkeytykseen vain ylintä osaa. Tällöin sakkakerroksen sakeus ei kasva yhtä nopeasti, ja laskeutumisnopeus pysyy kauemmin suurena.

Tarkkoja laskelmia kaatopaikalle menevän jätteen määrän vähenemisestä on hyvin vaikeaa tehdä. Tämänhetkisten laskelmien mukaan kyseisessä tehtaassa olisi mahdollista vähentää sakan määrää lähes 60 %. Lisäksi jäljellä olevaa virtaa on mahdollista käsitellä edelleen pidemmälle, mutta siihen on kehitettävä uusia prosesseja.

Laitteisto olisi teknisesti yksinkertainen ja siinä olisi hyvän vähän liikkuvia osia. Myös tilankäyttö pysyisi kohtuullisissa rajoissa.

4.1 Jatkotutkimustarpeita

Esillä olevassa hankkeessa keskityttiin prosessin toimivuuden selvittämiseen, eikä kattavia kemiallisia analyyseja ollut mahdollista tehdä. Mahdollisessa jatkohankkeessa olisi keskeyttävä prosessin kemiaan ja tutkittava erityisesti raskasmetallien käyttäytymistä.

Raskasmetallit ym. hivenaineet esiintyvät sulfideina, oksideina, karbonaatteina ja hydroksideina sekä kiinteinä liuoksina muissa mineraaleissa. On todennäköistä että eri yhdistetyypit esiintyvät erikokoisina partikkeleina, ja että eri raskasmetallit siksi liittyvät tiettyihin hiukkaskokoihin. Tämä saattaa tarjota mahdollisuuden erottaa ne toisistaan. Myös happoliuotus antaa mahdollisuuden liuottaa karbonaatteihin sidotut metallit.

Mineraalikoostumusta syrjäytyspesun jälkeen olisi hyvä selvittää. Muun muassa pirssoniitin hajoaminen, jossa muodostuu liuennutta natriumkarbonaattia ja kiinteää kalsiumkarbonaattia, jäi tässä työssä selvittämättä.

VIITTEET

1. Nieminen, M. Suomen Soodakattilayhdistys, henkilökohtainen tiedonanto (2015).
2. Bredenberg, M. Waste to product – improving the utilization potential of green liquor dregs by using froth flotation, Master thesis, Aalto University School of Chemical Technology, 2014.

SUOMEN SOODAKATTILAYHDISTYS RY RAPORTTISARJA

- 1/2015 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Konemestaripäivä 29.1.2015, esitelmät
Hotelli Cumulus, Rauma, Metsä Fibre Oy, Rauman tehdas
(16A0913-E0154) 29.1.2015
- 2/2015 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Aktiivihiihden mitoituksen varmistus ja optimointi sekä TOC-reduktion
varmistaminen
(16A0913-E0155) 29.1.2015
- 3/2015 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattilan käynnistys-, pysäytys- ja häiriöjaksojen määrittely
(16A0913-E0156) 14.4.2015
- 4/2015 Suomen Soodakattilayhdistys ry
CFD Modeling of Reduced Lignin Black Liquor Combustion
Markus Engblom ja Nikolai DeMartini, Åbo Akademi
(16A0913-E0157) 14.4.2015
- 5/2015 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Understanding Low Temperature Corrosion in Black Liquor Combustion
Niklas Vähä-Savo, Emil Vainio, Nikolai DeMartini, Patrik Yrjas & Mikko Hupa
Åbo Akademi
(16A0913-E0158) 14.4.2015
- 6/2015 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattila-alan yhteistoiminta
Vuosikertomus 2014
(16A0913-E0159) 23.4.2015
- 7/2015 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattila-alan yhteistoiminta
Pöytäkirja. Vuosikokous 23.4.2015, Top Lounges, Helsinki
(16A0913-E0160) 23.4.2015
- 8/2015 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Ääninuohouksen mahdollisuudet soodakattiloilla
Santeri Peltola, Tampereen teknillinen yliopisto
(16A0913-E0161) 19.10.2015
- 9/2015 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattilapäivä 29.10.2015
Sokos hotelli Flamingo, Vantaa
(16A0913-E0162) 29.10.2015

SUOMEN SOODAKATTILAYHDISTYS RY
RAPORTTISARJA

- 1/2016 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Syöttövesipumppujen optimaalinen valinta
Optimal design of boiler feed water pumping system
Esa Vakkilainen ja Bahnam Zakri , Lappeenrannan teknillinen yliopisto
(16A0913-E0163) 13.1.2016
- 2/2016 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Understanding Low Temperature Corrosion in Black Liquor Combustion, Phase 2
Nikolai DeMartini, Henri Holmblad, Emil Vainio, Patrik Yrjas ja Leena Hupa, Åbo Akademi
(16A0913-E0164) 13.1.2016
- 3/2016 Suomen Soodakattilayhdistys ry
CFD Modeling of Reduced Lignin Black Liquor Combustion, Phase 2
Markus Engblom ja Nikolai DeMartini, Åbo Akademi
(16A0913-E0165) 13.1.2016
- 4/2016 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Konemestaripäivä 28.1.2016, esitelmät
Sokos hotelli Koli, Lieksa, Stora Enso Oyj, Enocellin tehdas
(16A0913-E0166) 28.1.2016
- 5/2016 Suomen Soodakattilayhdistys ry
Viherlipeäsakan syrjäytyspesu
Kurt Sirén, Oy Sirra Ab
28.1.2016
(16A0913-E0167)

LIITE 5
OTR: Konemestaripäivien 2016-palautekooste



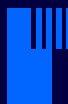
Konemestaripäivät

Palaute 2016



Palaute

- Palautettuja lomakkeita yhteensä
 - Konemestaripäivät 31 kpl
- Ilmoittautuneita
 - Konemestaripäivät 71 kpl



Konemestaripäivä:

Kuinka arvioisit luennoitsijaa ja esityksen sisältöä?

Keskiarvo, asteikko 1-5

Markus Nieminen Suomen soodakattilayhdistyksen vuosi 2015	4,0
Markus Hämäläinen Nuohointen turvallisuuskysymykset	3,9
Mathias Selg Bang & Clean - a method of cleaning the boiler during normal operation	4,0
Kari Paananen Haasteita ja kehitysehdotuksia kattilatarkastustoimintaan	4,2
Ilpo Räty Tehdasesittely: Stora Enso, Enocellin tehdas	4,5

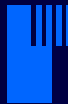


Konemestaripäivä:

Mielipiteesi tilaisuuden muista järjestelyistä

Keskiarvo, asteikko 1-5

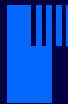
Salijärjestelyt (pöytäjärjestys, kuuluvuus, näkyvyys)	4,5
Ilmoittautumis- ja vastaanottopalvelut	4,6
Tilat	4,7
Tarjoilut	4,6
Yleisvaikutelma tilaisuudesta	4,6



Konemestaripäivä:

Toivottuja luento- ja tutkimusaiheita

- Osastojen välinen yhteistyö
- Uusin tarkastusteknologia
- Soodakattiloiden käyttökokemukset - lisääminen
- Tiivistettyjä esityksiä tehdyistä tutkimuksista
- Käytännönläheisiä käyttökokemuksia (tulee kyllä vaurio-keskusteluissakin osin esille)
- Voimakattilan vauriot / vauriomekanismit
- Laadunvalvonta painelaitteiden valmistuksessa ja kunnossapidossa
- Kattilatoimittajien tietoa ja kokemuksia vaurioista maailmalta ja kotimaasta, heillä on varmasti kerrotavaa alaan liittyen
- Onko operaattoreille suunnattuja ammattitutkintoja järjestetty? Jos on, onko myös etenemisen mahdollisuus sidottu hankittuun koulutukseen?



Konemestaripäivä

Muuta palautetta

- Yritetään jatkossa tiivistää vauriokeskustelun aikataulua, ettei tilaisuus veny puolille öin, porukan kiinnostus herpaantuu
- Hyvä kokonaisuus
- Päivä voisi keskittyä myös voimakattiloihin
- Sopiva aika / esitys
- Oikein hyvin järjestetty tilaisuus, kiitos
- Automaatiopuolelle voisi pitää jotkut vastaavat ammattipäivät

LIITE 6
OTR: Yhteenveto/palaute operaattorien kokemustenvaihtopäiviltä
16-17.3.2016

SOODAKATTILAOPERAATTORIEN KOKEMUSTENVAIHTOPÄIVÄT 16.-17.3.2016
Vantaa

Paikalla: Martin Wikström, LMW Consulting Oy
Kari Haaga, Valmet
Kalle Salmi, K E Salmi Oy
Vesa Timonen, POHTO Oy
38 tehtaiden osallistujaa

PAINELAITELAKI JA VELVOITTEET OPERAATTOREILLE
Martin Wikström

Soodakattilayhdistys

- toiminta 50 vuotta
- Vaurioiden lukumäärä vauriotyypeittäin

Osallistujilla keskimäärin 25 vuotta työkokemusta kattiloista.

USA:ssa mm. koulutus eri muodoissaan vähensi räjähdysten määrää merkittävästi.

Syyt suuriin räjähdysmääriin → Liian vähän työntekijöitä kentätyössä, kenttäkierroksilla. Kenttäkierroksilla huomatuilla asioilla kuitenkin estetään eniten suuria vaurioita.

Valta ja vastuu

Vuoroesiemiesten alueet ovat suuret. Hätätapaus voi sattua milloin tahansa.

Käytönvalvoja vastaa henkilökohtaisesti painelaitteesta TUKESin ohjeiden mukaan.

Valvomon hoitajan on myös tehtävä nopeita ratkaisuja ajotilanteessa kokemuksensa mukaan ja minimoida mahdolliset vauriot kattilaan. Toimitaan jopa 1-2 min harkinnalla.

Pikapysäytyksellä ja sen jälkeisellä pikatyhjennyksellä on tarkoituksena saattaa häiriössä tai vauriossa (oletuskin riittää) oleva kattila turvallisempaan tilaan. Kattilaan jäänyt keko aiheuttaa pitkähkön viiveen esim. pesun aloitukseen. Keon sisäisen lämpötilan mittausta auttaisi turvallisen pesun aloitusajan määrittelyssä. Pikatyhjennysputket tarkistetaan uusissa soodakattiloissa ns. esikokeessa ennen starttia, jolloin kattilassa täysi paine ja pikatyhjennysventtiilit avataan. *Pikatyhjennys venttiilien toiminnan tarkastuksesta pitäisi tehdä säännöllisesti toistuva rutiini.*



Taitotaso ja kenttätietous

Pidettävä yllä myös ykkösmiehillä. Seisakeissa käytävä katsomassa kattilan sisään jne..

Organisaatiot ovat pienentyneet

Onko tuuraajia ?

Ruokailut hoidettava päätteiden edessä ja wc-käynnit tehtävä radiopuhelimen kanssa. Vaihdetaan välillä tehtäviä kenttämies-valvomonhoitaja, jotta saadaan tuurauksen helpommin hoidettua. Samalla ammattitaito paranee koko ajomiehistöllä.

Käyttäjäkunnossapito

Hitsaus luvanvaraista kemikaali- ja painelaitelain mukaan. Tarvitaan hitsarilla luvat ja hitsauksen tarkastajilla luvat.

Työlupien kirjoittaminen

Vastuu on kirjoittajalla. Etumies uusi termi tulevaisuudessa. Voi kirjoittaa luvan, mikäli työnantaja on antanut siihen oikeuden (käyttää työnantajan edustajille annettua mandaattia), vastaa allekirjoituksellaan työolojen turvallisuudesta kirjoittamallaan alueella.

Ilmoitus soodakattilan vaaratilanteesta

Tiedonkulku puutteellinen. Työturvallisuus on parantunut, kun ollaan kiinnitetty enemmän huomiota myös *läheltä piti -tapauksiin* kirjaamalla myös ne opiksi ja ojennukseksi. Vaurio, häiriö tai jokin muu äkillinen vaaraa aiheuttava tapahtuma (automaatio, sähkö, käyttöhäiriö) pitäisi myös kirjata, koska niissä piilee aina myös työturvallisuusriski (ympäristö, taloudellinen). Mikäli teollisuus haaveilee 0 tapaturmista pitäisi näiden tietojen olla julkisia. Nimiä ei tarvita. Koulutuksellisesti on tärkeää tietää miten välttyä näiltä ja oppia muiden kokemuksista.

HAVAINTOJA KATTILASTA

Kalle Salmi

Kattilatarkastukset

Tulipesän pohja. Kuumalla vedellä pesu, pyörivään liikkeeseen. Puhdas pohja pitää suojata, jotta pinnoille ei tule syöpymiä, jos pohjalle pääsee mustalivettä.



Kourut

Alapään muotoilu. Onko pyöreä jättöpää parempi eroosiomieleessä? Toiset kourut kestävät toiset eivät. Kourun alapään eroosio on tällä hetkellä useanpaikan ongelma. Liian suuri alipaine jäähdytyskierrossa, jolloin vesi kiehuu jo alhaisemmassa lämpötilassa, voi kavitoija pahimmassa tapauksessa. Laihassa lipeässä on NaOH:a, joka edesauttaa rännien ja hajotushöyrysuuttimien korroosiota. Kourun jäähdytysveteen on hyvä laittaa hapenpoisto/pH-säätökemikaaleja.

Mikäli on ongelmia keon sulattamisella alasajossa on hyvä pienentää tulipesän vetoa. Palokaasumäärän vähentyessä hormi vaikutus kasvaa ja vetää liekkiä ylös.

Ränniaukkojen tulpamineen betonilla, aiheutti kovaa keskustelua puolesta ja vastaan.

Mustalipeää ei kattilan pohjan suojaksi !

Kulkuaukkoputken korroosio, alaosa suojataan tyypillisesti ”liukkaalla matolla” seisokin ajaksi ja, kun kattilaa ollaan jälleen ottamassa käyttöön, niin huomataan putkivauriota kulkuaukosta.

Ilman kierrätys(pyöritys) kattilassa sopii alhaiseen (60 %) kuiva-aineeseen ja saadaan hyvä reduktio. Ei enää käytetä. Putken sisäkerrostumat kannattaa kuvata/analysoida, jos putki katkaistaan.

Ruiskuauriot

” tölkki”-suutin toimii pienissä kattiloissa (pesä 7*7 tai alle) Lusikan ruiskukulmat 32 astetta. Jossakin 29 astetta, parantaa toimintaa. Jos yksi ruisku pois (paine nousee) k.a 80 , niin pisarakoko suurenee. Jos kuiva-aine 70, niin pisarakoko pienenee (voi myös suurentaa !) kekkoon tulee lisää tavaraa.

Vetyhyökkäys

Tyypillisesti tulipesän alaosassa korkeimman lämpövuon alueilla. On havaittu myös mustalla osuudella tertiäriaukkojen yläpuolella. Vety reagoi raudan hiilen kanssa ja muodostaa metaania (kaasua). Metaani tunkeutuu raudan raerajoja pitkin läpi putken seinämän ja haurastuttaa materiaalia. Vetyhyökkäys lähtee tyypillisesti putken sisäpinnan kerrostumasta.

Nuohoinaukon korroosio ja pinnoitevaurio

Putkistossa erilaisia vikoja.

Eco kakkosen tuhoaja, happamat sulfaatit, Happamat sulfaatit muodostuvat, kun kattilalla on SO₂ päästöjä.

KÄYTÄNNÖN KOKEMUKSET SOODAKATTILASTA

Kari Haaga, Valmet

Sähkösuotimissa työskentelyssä kattilan ollessa käynnissä

Onnistuu. Tulo pelti kiinni (joillakin auki), imu kertoo tilanteen. Puhaltimien pysähtyessä voi tulla paineisku kattilasta, kuumat kaasut.

Kattilan paineen nosto

Aisaputkien lämpötilan mittaus. Lämpötilan nostossa 0.7 - 1 °C/min. Jos putkissa "ongelmia", yleensä kammion alalaidan putkissa, josta esim kondenssi pääsee helpoimmin alimpiin putkiin. Paine-ero kertoo trendinä tilanteesta. Höyryn ja syöttöveden virtausero kg/s. Tulistimen vesilasti. Kuvaajassa hyppy (lämpötila ylöspäin) kertoo vesilasti lähtee pois.

Miten varmistetaan, että lauhde poistuu tulistimesta ?



Liutotsäiliön toiminta

Esim. Sulfiditeetti putosi 38 → 15. Sulan lämpötila olisi pitänyt olla korkeampi 850 °C, jotta oltaisiin sulana. Uimurin pintakytkin rikki (pinta häviää). Sekoitin ja pumppu pysähtyi. Heikkoa lipeää syötettiin lisää. Kaasutila on pieni, normaali 1.5-2 m. Laitteistorikkoja tuli reilusti. Tärkeää olla useampi pinnan mittaus.

Case 1: Liutottajan räjähdys 29.12.2001, Soodakattilayhdistyksen sivulta.



Kattilan pesun aloitus

Primääritasolta luukusta katsominen, märkää oli. Primääriputki oli säröillä. Eväpäitä oli mennyt säröille. 3 metriä korkea keko. Keko oli suuri, piti odottaa 7 päivää jäähtymistä (keon sisälämpötila alussa 800°C). Pieni keko järkevämpi, reduktio säilyy hyvänä silti. 400-500°C keon sisällä, voidaan aloittaa pesu. 100 °C pohjan lämpötila. Voidaan mitata sulan lämpötila ennen tulistinalueen vesipesun aloittamista esim. Oulu tekee näin.

Kekokamerasta tukea soodakattilaprosessin muutoksien havaitsemiseen

Clyde Bergemann, info@fi.cbpg.com

Kekokamerat, tulipesän yläosan valvontaa (kuonaantumiseen)

Kameran ohjelmistot, voidaan mitata tiettyjen pisteiden lämpötilaa tai tietyn muotoisten alueiden mittausta. Keon muoto voidaan nähdä 3D mallina. Voidaanko käyttää tulipesän polton ohjauksiin?

Lipeäruiskujen ohjauksiin?

Tulistin vuoto tulipesäräjähdys

Case 2: Tulipesä räjähdys 26.2.2008, Soodakattilayhdistys.

Tulistimien vesipesu voidaan aloittaa viimeistään n.24h kuluessa, jos kattilan alasajoa on ollut hallittua. Aloitusajankohta pitää määrittää tapauskohtaisesti riippuen keon koosta; kattilan hätäseis tehty, hallittu alasajoa, sulan pumppaus etc.

Ennakkokysymysten läpikäynti

Perusidea monella näytti olevan tapa ajaa ruiskut suoraan "vaihtokuntoon". Lipeäruiskujen huolto/pesu sisäpuolelta ei ollut tyypillistä. Höyryllä tai vedellä pesu tai mekaaninen puhdistus.

Likaantumisen

Nuohoimet pitäisi riittää. Savukaasujen aiheuttama pyörre tekee oman likaantumisilmiön. Nuohointen tehokkuusalue, useampi nuohoinpari olisi parempi. Suomessa toimitaan vähällä nuohouksella. Tehokas puhistusalue n. 1m.

T15 (lämpötila, jossa 15% kerrostumasta sullassa tilassa) ja T70 (70% sulassa) likaantumisen kannalta oleellisia alueita. Lämpötilan ollessa n.600°C alkaa kertyä 3.tulistimien pintoihin esimerkkitapauksessa.

Happamat sulfaatit (laskee tuhkan pH:ta), SO₂-emissiot. Sulfiditeetti (S/Na-suhde) käyrät. Jos suodintuhkan pH on alle 10, niin SO₂-sta esiintyy ja siten tarttuvaa suolaa. Yleisesti 2.econ sisääntulossa näkyy kertyminä ensimmäisenä.

Rännivuoto 2011

Yhdistyksen sivuilta löytyy raportti.

Kaksi reikää rännissä kattilapuolella. Pistesyöpymiä. Kavitaatioilmiö.



TILAISUUDEN ARVIOINTI

Tilaisuuden nimi: Soodakattilaoperaattorien KOKEMUSTENVAIHTOPÄIVÄT
Aika: 16.–17.3.2016
Tilaisuuden johtaja: Kehittämispäällikkö Vesa Timonen, POHTO Oy

Arvioi seuraavia asioita rengastamalla mieleisesi vaihtoehto

1 = huono ☹☹ >>> 5 = erinomainen ☺☺☺

n= 36, ARVIOINTIEN YHTEENVETO	1=☹☹	2=☹	3=☺	4=☺☺	5=☺☺☺	KA
Käsitellyt aiheet	0	0	2	20	14	4,3
Riittäkö aiheelle varattu aika	0	2	6	18	10	4,0
Käytännön järjestelyt	0	0	2	19	15	4,4
Vastasiko tilaisuus odotuksiasi	0	0	1	21	14	4,4
Minkä yleisarvosanan antaisit 1. päivästä?	0	0	2	23	11	4,3
Minkä yleisarvosanan antaisit 2. päivästä?	0	0	1	20	14	4,4
Minkä arvosanan antaisit päivien vetäjille (Wikström/Salmi/Haaga)	0	0	0	16	20	4,6

Arvioi tilaisuutta - mitä asioita pitäisi lisätä tai poistaa, kritiikkiä tai kehuja:

- pitkästä aikaa koulutus, jossa puhuttiin asiaa, jota voi käyttää työelämässä. Nämä ajankohtaiset ongelmat ja niihin kokeiltuja ratkaisuja. Yhteystietoihin voisi lisätä kaikkien e-meiliosoitteet.
- porukkaa pitäisi vaan haastaa aktiivisempaan keskusteluun
- miten kattila- yms. laitteet puhdistetaan seisakkiin. Miten kattila laitetaan turvalliseen tilaan ja em. käytäntöjä
- hyviä havaintoja ja hyvät kouluttajat. Voisi kuunnella pitempäänkin. Aiheet olivat kiinnostavia. On hyvä, että osallistujien ikähaarukka oli suuri. Tuli paljon tietoa nuoremmille.
- koulutustilassa oli huono ilmanvaihto
- ei valittamista. Aiheet olivat hyviä ja kiinnostavia x 2
- miksei näitä ole aikaisemmin ollut. Nämä ovat erittäin hyviä tilaisuuksia, jotka antavat paljon, kun on saanut kuulla muiden kokemuksia
- kaiken kaikkiaan hyödyllinen tilaisuus
- käyttäjien esimerkkejä ongelmista ja niiden ratkaisemista eri tehtailla. Video jostain kattilan ja keon toiminnasta saattaisi olla ehkä hyvä?
- hyvää keskustelua tärkeistä käytännön aiheista
- loistava kurssi x 2
- vetäjien ammattitaito ja kokemus hyvä x 2
- todella hyvä tilaisuus, varsinkin vastuuasiat kiinnosti
- erittäin ammattitaitoiset kouluttajat
- tilaisuus on hyvä, koska käsitellään käytännön asioita. Teorian kuunteleminen on usein aika raskasta. Kari Haagan esitys loistava ja mielenkiintoinen
- kaikki ok
- positiivista oli suuri osanottajien määrä -> tila kävi pieneksi (huono ilmanvaihto). Loistavia käytännön esimerkkejä, hyvä kokonaisuus kaiken kaikkiaan. Hyviä keskusteluja
- tilaisuus 3-päiväiseksi
- tilaisuus oli erittäin hyvä! Vapaamuotoinen keskustelu oikein hyvä. Siten kuulee kokemuksia toisilta tehtailta
- kaikki järjestetty kaikilta osin
- Haagalla oli mielestäni antoisimmat ja käytännön läheisimmät tarinat, konkreettisia esimerkkejä ja niihin ratkaisuja
- vielä enemmän keskusteluja osallistujien kesken
- hyvät ja mielenkiintoiset esitykset, hyviä esimerkkejä muualta
- järjestelyt erinomaiset, aikaa niukalti
- uusia asioita tuli esiin, mitä laajentaa ja tarkentaa seikkoja, joita pitää ottaa huomioon

Mitkä aiheet olisivat kiinnostavia seuraavalla kokemustenvaihtopäivillä 2017?

- erilaisia ilmamallinnuksia / ilma-aukkojen säädöt vaihtelevat paljon = keonvaihtelu
- kaikki käsitellyt aiheet olivat ok
- automaatio /lukitukset yms.
- kunhan luennoimassa on asiantuntevia ihmisiä, ei aiheella ole väliä.
- samat aiheet => kokemustenvaihtoa
- samat aiheet ja miten on mennyt kuluva vuosi. Vauriot, havainnot, kokemukset seisokeista, Kehitys ja laiteratkaisut tulevaisuudessa
- turvallisuutta pitää aina korostaa tekemisessä. Eri kattilamateriaalien kestäminen (lämpötilarajat)
- käytännön kokemuksista ja ongelmista voisi keskustella enemmän
- käytännön ongelmat ja niiden ratkaisut eri tehtailla
- keon hallinta, kemikaalikierto, kaustistamon prosessin vaikutus, soodakattila
- ylös-/alasajo – niiden ongelmatilanteet. Kertausta ei ole koskaan liikaa. Vaurioon johtavat juurisyyt aina hyvä selvittää
- kattilan vesikemia
- ehkä pitäisi jutella myös tulevasta lipeästä
- reduktion saaminen 97:ään

Millä paikkakunnalla kannattaisi seuraava kokemustenvaihtopäivä 2017 järjestää?

Vantaa 13
Tampere 12
Jyväskylä 4
Oulu 6
Muu 1 (Helsingin alue)

Millaista koulutusta haluaisit jatkossa?

- kokemustenvaihtoa
- samanlaista, joitain ryhmitöitä voisi olla enemmän
- vastaava kokemuksien vaihto on hyvä
- neuvoja, ohjeita kattilan ajamiseen
- pesukäytännöt, -turvatoimet. Toimisivatko jonkinlaiset ryhmätyöt? Viimeisimmät suorajärjestelmät, mittaukset jne
- kaikenlainen koulutus liittyen soodakattilaan

Kiitos !! Martin, Kari ja Kalle hyvistä päivistä.

Kiitos myös Soodakattilayhdistykselle hyvästä tuesta päivien onnistumiseksi.

Vesa Timonen POHTO Oy

LIITE 7

KTR: Soodakattiloiden materiaalit ja tarkastukset – raportti 26.3.2016



SUOMEN SOODAKATTILAYHDISTYS
FINNISH RECOVERY BOILER COMMITTEE

Suomen Soodakattilayhdistys ry.

**SOODAKATTILAN
MATERIAALIT JA TARKASTUKSET**

Kestoisuustyöryhmä

26.3.2016

ESIPUHE

SISÄLLYSLUETTELO

1	SOODAKATTILAN MATERIAALIT JA HITSAUKSET.....	6
1.1	Yleistä	6
1.2	Terästen jaottelu	6
1.2.1	Seostamattomat ja niukkaseosteiset teräsputket	7
1.2.2	Runsasseosteiset teräsputket	8
1.2.3	Ruostumattomat teräsputket	8
1.2.4	Kompound-putket	11
1.3	Materiaalit käyttökohteen mukaan	12
1.3.1	Pohja	14
1.3.2	Seinät	15
1.3.3	Kammiot, aukot, läpiviennit, kourut, massaukset	15
1.3.4	Verho	16
1.3.5	Verhoputkia käytetään ensimmäisenä lämpöpintana tulipesän jälkeen suojamaan tulistimia säteilylämmöltä sekä vähentämään carryoverin määrää. Verhoputket valmistetaan yleensä hiiliteräksestä koska lämpötila on lähellä seinäputkien lämpötilaa. Korroosio on vähäistä johtuen materiaalin lämpötilasta. Tulistin	16
1.3.6	Ekonomaiseri	19
1.3.7	Lieriö	20
1.4	Hitsaus	20
1.4.1	Erikoishitsaukset	22
1.4.1.1	Ferriittisten terästen ("Musta/musta") –liitos	22
1.4.1.2	Austeniittisen ja ferriittisen teräksen ("Musta/ruostumaton") liitos	22
1.4.2	Kompoundputkien korjaushitsaus	24
1.4.2.1	Soveltamisala	24
1.4.2.2	Hitsauksen edellytykset	24
1.4.2.3	Toimenpiteitä ennen hitsauksen aloittamista	25
1.4.2.4	Hitsauksen suorittaminen	26
1.4.2.5	Toimenpiteet hitsauksen jälkeen	28
1.4.2.6	Loppusanat	28
1.5	Lähteet:	29
2	SOODAKATTILAPINNOITUKSET	30
2.1	Johdanto	30
2.2	Ruiskutusmenetelmät	31
2.3	Pinnoitemateriaalit	33
2.3.1	Rautavaltaiset pinnoitteet	33
2.3.2	Nikkelivaltaiset pinnoitteet	34
2.3.3	Kaupalliset pinnoitemateriaalit	35
2.3.4	Pinnoitemateriaalien valinta	36
2.4	Pinnoitteen valmistus	39
2.4.1	Termisellä ruiskutuksella pinnoitettavan pinnan esikäsittely	39
2.4.2	Pinnoitemateriaali	40
2.4.3	Terminen ruiskutus	40

2.4.4	Sulautuvien seosten ruiskutus.....	41
2.4.5	Vaaditut ominaisuudet ja pinnoitteen testausmenetelmät	41
2.4.6	Pinnoitteen ulkonäkö	42
2.4.7	Tartunta.....	42
2.4.8	Paksuuden mittaus	42
2.4.9	Vanhojen pinnoitteiden tarkastus ja pintojen korjaus.....	43
2.4.10	Manipulaattorin käyttö pinnoituksessa.....	44
2.5	Yhteenveto.....	44
2.6	Lähdeluettelo	44
3	PAINEASTIAN KORJAUKSET	48
3.1	Yleistä	48
3.2	Oppaat.....	48
3.3	Lait ja asetukset	49
3.4	Hitsauksen laatu.....	49
3.5	Hitsaajan pätevyystodistukset.....	50
3.6	Hitsausohjeet	50
3.7	Asennus-, korjaus- ja muutostyöt	50
3.8	Painekoe.....	51
3.9	Korjauksen luonne	52
3.9.1	Ennakkoon valmisteltu korjaus	52
3.9.2	Ennalta arvaamattoman tapahtuman korjaus	52
3.9.3	Hitsauksen korjaus.....	53
4	SOODAKATTILATARKASTUKSET.....	55
4.1	Yleistä	55
4.2	Tarkastusmenetelmät	57
4.2.1	Silmämääräinen tarkastus/VT (visual testing).....	57
4.2.2	Paksuusmittaus/ TM (thickness measurement)	58
4.2.3	Magneettijauhetarkastus / MT (magnetic particle examination).....	58
4.2.4	Tunkeumanestetarkastus / PT (liquid penetrant examination)	59
4.2.5	Radiografia/RT (radiographic examination)	59
4.2.6	Ultraäänitarkastus / UT (ultrasonic examination)	60
4.2.7	Pyörrevirtatarkastus/ET (eddy current testing).....	61
4.2.8	Jäljennemenetelmä/REP (replica).....	62
4.2.9	Endoskooppitarkastus/END (endoscopy).....	62
4.2.10	Akustinen emissio seuranta / AE (acoustic emission)	63
4.2.11	Lämpökuvaus (thermography)	63
4.2.12	Kovuusmittaus/HT (hardness test)	63
4.2.13	T-Scan paksuusmittaus.....	63
4.2.14	IRIS-tekniikka	64
4.2.15	Sisäpuolisen kerrostuman / magnetiittikalvon paksuusmittaus.....	64
4.2.16	Guided Wave.....	67
4.2.17	RFET (kaukokenttämenetelmä pyörrevirtatekniikalla, Remote Field Electromagnetic Technique).....	67
4.2.18	Magneettinen vuotokenttätarkastus (MFL).....	68
4.2.19	Jäännös jännitystilat	68
4.2.20	Ainetta rikkovat tarkastukset.....	69
4.3	Tarkastettavat kohteet.....	69



4.4	Vesipainekoe korjausten jälkeen	69
4.5	Dokumentointi	70



JOHDANTO

Tämä Soodakattilayhdistyksen raportti on järjestyksessään viides soodakattilan materiaaleja koskeva julkaisu. Raportti pohjautuu vuonna 1997 julkaistuun Soodakattilalaitoksen suojaussuositukseen ([raportti 6/1997](#)). Tätä aiemmat raportit ovat julkaistu vuosina 1968, 1978 ja 1988.

Aiemmasta raportista vuodelta 1997 valittiin päivitettäväksi seuraavat kappaleet: Soodakattilan materiaalit ja hitsaukset, Soodakattilapinnoitukset, Paineastian korjaukset ja Soodakattilatarkastukset. Raportti on koottu laadintahetkellä saatavilla olleiden tietojen ja kokemusten perusteella.

Tarkoituksena on kehittää raporttia edelleen ja tästä syystä mahdolliset huomiot virheistä, parannusehdotuksista ja kokemuksista pyydetään lähettämään Soodakattilayhdistyksen sihteeristölle. Yhteystiedot löytyvät yhdistyksen kotisivuilta. <http://www.soodakattilayhdistys.fi/>

Soodakattilayhdistys ei ota vastuuta raportissa mahdollisesti olevista tai raportin soveltamisesta aiheutuvista virheistä tai niiden kustannuksista.



1 SOODAKATTILAN MATERIAALIT JA HITSAUKSET

Alkuperäinen teksti: Lasse Koivisto, Ahlstrom Machinery Oy

Päivitetty teksti: Kestoisuustyöryhmä

1.1 Yleistä

Valmistajalla tulee olla laatu järjestelmä (esim. ISO 9001 mukainen), jossa kuvataan (soveltuvin osin) materiaalin valinta, tilaus, vastaanotto, aine todistusten käsittely, materiaalin tuotantoonotto ja materiaalin tunnistettavuuden säilyttäminen.

1.2 Terästen jaottelu

Soodakattiloissa yleisimmin käytetyt teräkset voidaan jaotella monella tapaa kuten mikrorakenteen tai kemiallisen koostumuksen perusteella, taulukko 1-1.

Taulukko 1-1. Terästen jaottelu kemiallisen koostumuksen mukaan

Kemiallinen koostumus	Teräsluokka
C, Mn	Seostamattomat teräkset
Cr, Mo, Ni, Cu, V, Nb (Cb) < 5 %	Niukkaseosteiset teräkset
Cr, Mo, Ni, Cu, V, Nb (Cb) > 5 %	Runsasseosteiset teräkset
Min 13% Cr	Ruostumattomat teräkset Ferriittiset & martensiittiset
Min 18% Cr + 4-6% Ni (lean duplex +N)	Ruostumattomat teräkset Austeniittis-ferriittiset (duplex)
Min 18% Cr + min 7% Ni (myös Mn seostus)	Ruostumattomat teräkset Austeniittiset
Enemmän muita metalleja (esim. Ni) kuin Fe	Nikkelivaltaiset tms. seokset

Putket valitaan lujuuslaskujen perusteella paineastiamääräysten ja standardien mukaan. Terästuotteille on olemassa lukuisia standardeita, standardit koskevat mm. teräksen ominaisuuksia, valmistusmenetelmiä, aineen koetusta, koostumusta ja nimikkeitä jne. Lisäksi standardit vaihtelevat alueellisesti: Yhdysvalloissa käytetään ASME (American Society of Mechanical Engineers)-standardeita, Euroopassa EN-standardeita, joihin Suomalaiset SFS-standardit on yhdenmukaistettu.

Vaikka standardit periaatteessa velvoittavat valmistajat käyttämään standardien mukaisia määriteltyjä nimikkeitä, käytetään usein kirjallisuudessaakin vakiintuneita vanhoja nimikkeitä. Esimerkiksi saksalainen DIN-standardi (lähinnä DIN 17175) on jäänyt elämään. Taulukoissa 1-2, 1-3, 1-4 on verrattu nykyisten ja vanhojen standardien mukaisia teräksiä, seostamattomien terästen kohdalla merkinnät ovat

muuttuneet oleellisesti, mutta seostettujen terästen merkinnät ovat hyvin lähellä toisiaan. ASME käyttää hyväksi ASTM:n (The American Society for Testing and Materials) merkintöjä, esimerkiksi ASTM A 213 = ASME SA213

Putkien koestusvaatimukset ja muut vaatimukset on esitetty edellä mainitussa standardissa. Vaadittava todistuslaji on yleensä standardin [EN 10204 Metallituotteiden aineistodistukset](#) mukainen.

1.2.1 Seostamattomat ja niukkaseosteiset teräsputket

Terästä sanotaan seostamattomaksi teräkseksi jos rautaan ei ole seostettu mitään lisäainetta parantamaan sen ominaisuuksia. Kuitenkin kaikki hiiliteräkset sisältävät jonkin verran mangaania, piitä ym. Seostamattomat teräkset ovat erittäin hyvin muokattavia ja niillä on yleensä hyvä sitkeys ja lujuus. Toisaalta niiden virumiskestävyys on heikko ja käyttö rajoittuu alle 450 °C lämpötiloihin.

Kuumalujuutta ja hapettumisenkestävyyttä parannetaan lisäämällä teräkseen erilaisia seosaineita. Tavallisimmat seosaineet ovat molybdeeni (Mo), kromi (Cr), vanadiini (V) ja niobi (Nb), joista tehokkain seosaine kuumalujuuden suhteen on molybdeeni. Standardit määrittelevät seosainepitoisuuksille ylärajat, joiden ylittäminen merkitsee teräksen nimikkeen muuttumista seosteiseksi teräkseksi. Niukkaseosteisiin teräsiin luetaan teräkset joissa seosaineita on yhteensä vähemmän kuin 5 prosenttia, taulukko 1-2.

Taulukko 1-2. Yleisesti käytetyt EN 10216 mukaiset putkiteräkset

EN Nimike	EN	DIN 17175	ASME	Tyyppi	Tyypillinen käyttöalue
P235GH	1.0345	St 35.8	SA-192	Hiiliteräs	< 400 °C
P265GH	1.0425	St 45.8	SA-210-A1	Hiiliteräs	< 400 °C
16 Mo 3	1.5415	15 Mo 3	SA-209 T1	≤ 0.3 % Mo	< 470 °C
13 CrMo 4-5	1.7335	13 CrMo 4 4	SA-213 T12	1% Cr - 0.5% Mo	< 500 °C
10 CrMo 9-10	1.7380	10CrMo 9 10	SA-213 T22	2.25% Cr - 1%Mo	< 540 °C
7 CrWVMoNb 9-6	1.8201		SA-213 T23	2.25% Cr -MoWV	
7 CrMoVTiB 10-10	1.7378		SA-213 T24	2.25% Cr -1%MoVTiB	

Taulukko 1-3. Yleisesti käytetyt EN 10028 mukaiset levyteräkset

EN Nimike	EN	DIN 17175	ASME	Tyyppi	Tyypillinen käyttöalue
P235GH	1.0345	H I	-	Hiiliteräs	< 450 °C
P265GH	1.0425	H II	-	Hiiliteräs	< 450 °C

1.2.2 Runsasseosteiset teräspanket

Runsasseosteisiin teräsiin päästään kun mm. kromin seostusta lisätään, esimerkiksi “X20”-teräs (X20CrMoV111), joka on melko runsashiilinen (0,2 %) ja sisältää kromia 12 %. Yleisesti käytössä olevia runsasseosteisiä putkimateriaaleja on lueteltu taulukossa 1-4.

Taulukko 1-4. Yleisesti käytetyt EN 10216 mukaiset runsasseosteiset putket

EN Nimike	EN	DIN 17175	ASME	Tyyppi	Tyypillinen käyttöalue
X10CrMoVNb9-1	1.4903	X10CrMoVNb91	SA-213 T91	9% Cr - 1%Mo mod.	
X20CrMoV11-1	1.4922	X20CrMoV12 1	-	12% Cr - 1%MoNiV	

1.2.3 Ruostumattomat teräspanket

Kromin ansiosta teräksen pintaan muodostuu ympäristön sisältämän ilman hapen vaikutuksesta erittäin ohut tiivis “oksidikalvo”, joka suojelee terästä korroosiolta. Kalvon muodostumiseen ilmassa tarvitaan teräksessä vähintään noin 11 % kromia, joka on vähiten seostetun ruostumattoman teräksen kromipitoisuus. Kromin lisäksi teräsiin seostetaan yleensä tarpeen mukaan monia muitakin seosaineita, esim. nikkeliä tarvitaan vähintään noin 8 % ja kromia 18 %, kun halutaan saada aikaan yleisin ruostumaton teräs, austeniittinen teräs.

Kemiallisen koostumuksen (lähinnä kromi, nikkeli, molybdeeni, mangaani, pii ja typpi) ja lämpökäsittelytilan mukaan saadaan teräsiin erilaisia mikrorakenteita, joilla on erilaisia ominaisuuksia. Mikrorakenteensa perusteella ruostumattomat teräkset jaetaan: ferriittisiin, austeniittisiin, austeniittis-ferriittisiin (duplex) ja martensiittisiin teräsiin. Seosainepitoisuuksia muuttamalla kyetään vaikuttamaan teräksen korroosionkestävyyteen, hitsattavuuteen ja mekaanisiin ominaisuuksiin, taulukko 1-5.



Taulukko 1-5. Seosaineiden vaikutus teräksen ominaisuuksiin

Seosaine:	Vaikutus:
Kromi (Cr)	+ Parantaa sekä korroosion että jännityskorroosion kestävyyttä + Parantaa sulfidoitumiskestävyyttä estämällä rikin diffuusiota + Korkea Cr-pitoisuus pienentää lämpölaajenemiskerrointa – Korkea Cr-pitoisuus laskee lämmönjohtavuutta – Huonontaa sitkeyttä
Nikkeli (Ni)	+ Parantaa jännityskorroosionkestävyyttä korkeilla pitoisuuksilla (Ni > 30 %) + Korkea Ni-pitoisuus pienentää lämpölaajenemiskerrointa + Parantaa kestävyyttä kloridikorroosiota vastaan + Parantaa sitkeyttä – Puhtaalla nikkelillä on alkalisissa sulfidiympäristöissä huono jännityskorroosionkestävyys – Heikentää sulfidoitumiskestävyyttä – Korkea Ni-pitoisuus laskee lämmönjohtavuutta
Molybdeeni (Mo)	+ Parantaa jännityskorroosionkestävyyttä väkevissä lipeäliuoksissa korkeilla kloridipitoisuuksilla + Parantaa sulfidoitumiskestävyyttä + Nostaa lujuutta korkeissa lämpötiloissa – Heikentää jännityskorroosionkestävyyttä väkevissä lipeäliuoksissa matalilla kloridipitoisuuksilla.
Mangaani (Mn)	+ Parantaa kestävyyttä muodostamalla pysyviä rikkiyhdisteitä ja estää rikin ja nikkelin sekä kromin välisiä reaktioita
Titaani (Ti)	+ Parantaa korroosionkestävyyttä + Vähentää raerajakorroosion (herkistymisen) riskiä hitsauksen jälkeen
Niobi (Nb)	+ Parantaa korroosionkestävyyttä + Parantaa sulfidoitumiskestävyyttä + Vähentää raerajakorroosion (herkistymisen) riskiä hitsauksen jälkeen
Typpi (N)	+ Parantaa pistekorroosionkestävyyttä + Parantaa lujuutta
Rauta (Fe)	+ Korkea Fe-pitoisuus lisää lämmönjohtavuutta – Heikentää korroosionkestävyyttä – Heikentää sulfidoitumiskestävyyttä.

Ruostumattomista teräksistä austeniittiset teräokset ovat ehdottomasti yleisimmin käytettyjä. Austeniittisiä teräksiä käytetään vaikeissa korroosio-olosuhteissa tulistinputkena. Austeniittiset teräokset ovat kromi- nikkeli-teräksiä, joiden kromipitoisuus vaihtelee välillä 17–26 % ja nikkelipitoisuus välillä 7-22 %, pitoisuuksien summan ollessa vähintään 23 %. Hiiltä austeniittisissä teräksissä on hyvin vähän, yleensä alle 0,05 %.

Austeniittisten terästen korroosionkestävyys, sitkeys, kylmämuovattavuus ja hitsattavuus ovat hyviä. Lujuus on melko vaatimaton lukuun ottamatta runsaasti seostettuja erikoisteräksiä. Niillä on kuitenkin erittäin hyvät kuumalujuusominaisuudet, mistä syystä niitä käytetään paljon virumiskestävinä teräksinä korkeissa lämpötiloissa. Austeniittista terästä ei voida karkaista lujuuden



nostamiseksi, mutta sen lujuutta voidaan nostaa mm. tyypiseostuksella. Mikäli käytetään austeniittista materiaalia, on muistettava sen jännityskorroosioalttius.

Ferriittisten terästen pääseosaine on kromi. Toisena seosaineena voidaan käyttää muutamia prosentteja molybdeeniä. Hiilipitoisuus on alle 0,08 %. Lisäksi niissä voi olla hyvin pieniä määriä erilaisia stabilointiaineita, mm. titaania ja alumiinia. Ferriittisten terästen perustyytit ovat 12 % Cr- ja 17 % Cr-teräkset.

Ferriittisten terästen sitkeysominaisuudet eivät ole verrattavissa austeniittisten terästen erinomaiseen sitkeyteen ja ne kärsivät myös monista haurausilmiöistä. Samoin korroosionkestävyys monissa olosuhteissa on huonompi. Ferriittisten terästen hyvä ominaisuus on kuitenkin hyvä jännityskorroosionkestävyys, joka on puolestaan austeniittisten vakioterästen heikko kohta. Lujuudet ovat yleensä jonkin verran suurempia kuin austeniittisilla teräksillä. Niiden etuna on myös edullinen hinta.

Austeniittis-ferriittiset teräkset eli duplex-teräkset ovat CrNi- ja CrNiMo-teräksiä. Näiden pääseosaineiden pitoisuudet on tasapainotettu siten, että teräkseen saadaan kaksifaasinen mikrorakenne, jossa on austeniittia ja ferriittia suurin piirtein suhteessa 50:50.

Duplex-terästen hyvät ominaisuudet ovat suuri lujuus ja hyvä korroosionkestävyys (erityisesti jännityskorroosionkestävyys ja pistekorroosionkestävyys) sekä vielä hyvä hitsattavuus. Terästen sallittu käyttölämpötila-alue on noin -50...+280 °C.

Martensiittiset teräkset ovat pääkoostumukseltaan kromiteräksiä, minkä lisäksi joissakin laaduissa on muutamia prosentteja nikkeliä. Päätyypiltään ne ovat 13% Cr- ja 17% Cr -teräksiä, joiden hiilipitoisuus on välillä 0,10 – 1 %.

Martensiittiset teräkset ovat ainoita karkaistavia ruostumattomia teräksiä, minkä ansiosta niiden lujuutta voidaan nostaa karkaisulla. Terästen lujuus on korkea ja kulumiskestävyys hyvä. Korroosionkestävyys on huonompi kuin muilla ruostumattomilla terästyypeillä. Sitkeysominaisuudet ovat myös melko huonot. Hitsattavuus on yleensä huono (haurastuu hitsattaessa), minkä takia hitsaus vaatii yleensä aina erilaisia erityis- toimenpiteitä onnistuakseen, mm. esikuumennus ja jälkilämpökäsittely.

Yleisesti käytössä olevia ruostumattomia putkimateriaaleja on lueteltu taulukossa 1-6.

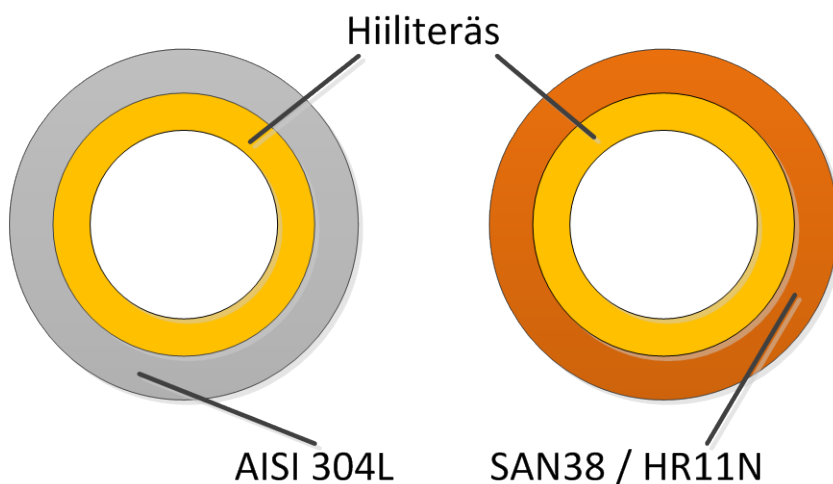
Taulukko 1-6. Yleisesti käytetyt EN 10088 ja EN 10216 mukaiset ruostumattomat putket

EN Nimike	EN	DIN 17175	ASME	Tyyppi	Tyypillinen käyttöalue
X2CrNi19-11	1.4306	X5CrNi189	304L	19%Cr - 11%Ni	
X2CrNiMo18-14-3	1.4435	X2CrNiMo18 14 3	316L	18%Cr - 3%Mo14%Ni	
X6CrNiNb18-10	1.4550	X6CrNiNb 18 10	347	18%Cr- 10%NiNb	
X8CrNi 25-21	1.4845	X12CrNi 25 20	310S	25%Cr- 21%Ni	
X6NiCrNbCe32-27	1.4877	-	A213	31%Ni - 27%Cr (AC-66)	
X6Cr13	1.4000	-	410S	13%Cr - 0.08%C	
X6Cr17	1.4016	-	430	17%Cr – 0.08%C	
X2CrMoTi18-2	1.4521	-	444	18%Cr – 2%MoTi	
X12Cr13	1.4006	-	410	13%Cr - 0.1%C	
X20Cr13	1.4021	-	420	13%Cr - 0.2%C	
X2CrNiN23-4	1.4362	-	S2304	23%Cr - 4%NiN	< 300 °C
X2CrNiN22-2	1.4062	-	S2202	22%Cr - 0.5%Mo2Ni	< 250 °C
X2CrNiMoN22-5-3	1.4462	-	S2205	22%Cr - 3%Mo5%NiN	< 280 °C
X2CrNiMoN25-7-4	1.4410	-	S2750	25%Cr - 4%Mo7%NiN	< 300 °C
X2CrNiN22-2	1.4062	-	S2202	22%Cr - 2%NiN	< 250 °C

Siinä vaiheessa kun muita metalleja, kuten nikkeliä on enemmän kuin rautaa, ei puhutakaan enää teräksistä.

1.2.4 Compound-putket

Kompound-putki on yhdistelmä kahdesta materiaalista, jossa putken painetta kantava sisäkerros on seostamaton tai niukkaseosteinen terästä ja ulommainen korroosiota kestävä kerros ruostumatonta terästä tai nikkelseosta. Soodakattiloissa käytetään AISI 304L tai Sanicro38/Alloy 825/HR11N -tyyppisellä pinnoitteella valmistettua compound-putkea, putken rakenne on esitetty kuvassa 1-1. Compound-rakenne voidaan valmistaa sekä pursottamalla että pinnoitehitsaamalla.



Kuva 1-1. Tyypillinen compound-putken rakenne



Tulistinmateriaalina voidaan käyttää compoundputkea, jolloin pintakerros voi olla esim. AISI 310 -tyyppinen. Tulistinolosuhteissa sisemmän komponentin tulee tietysti olla lujuutensa puolesta ko. lämpötilaan ja paineeseen sopivaa terästä. Eri pintamateriaalien koostumuksia on esitetty taulukossa 1-7.

Taulukko 1-7. Compound-putkien pintamateriaaleja

Materiaali	Cr%	Ni %	Mo %	Fe %	Mn %	Muut %
AISI 304L	17 – 19	9 - 12	-	bal.	1.3	-
AISI 310	24 – 26	19 - 22	-	bal.	1.77	-
Alloy 825 (Sanicro38)	19 - 23.5	38 - 46	2.5 - 3.5	bal.	0.8	Cu: 1.7, Ti: 0.8
HR11N	27 – 31	38 - 46	0.5 – 1.5	bal.	≤ 2.0	N
Sanicro 28	27	31	3.5	bal.	≤ 2.0	1.0 Cu
Sanicro 63	21	bal.	8.5	3.0	0.5	Nb: 3.5
Sanicro 67	30	60	-	bal.	≤ 0.5	Co: <0.05
Super 625	20 – 23	bal.	-	≤ 5.0	≤ 0.5	W: 3.15 – 4.15, Al: 0.4, Co: ≤ 1.0

Kompound-putket valitaan kuhunkin sovellutukseen lujuuslaskujen ja korroosio-näkökohtien perusteella. Lujuuslaskuissa painetta kantavaksi seinämäksi otetaan ainoastaan perusaineen “musta” osuus. Compound-putkien koestus- ja muut vaatimukset on esitetty sisäosan osalta standardissa EN 10216-2, lisäksi on noudatettava kattilastandardia EN 12952-2 Annex C vaatimuksia sekä valmistajan spesifikaatiota. Compound-putkien käsittelyssä tulee huolehtia siitä, että pintakerrosta ei vahingoiteta ja että voimakas kontakti hiiliterästyökaluihin estetään.

1.3 Materiaalit käyttökohteen mukaan

Soodakattilan käyttöolosuhteet ovat rakennemateriaalien kannalta erittäin vaativat. Lämpötilat ovat korkeat, poltettavassa mustalipeässä on sekä klorideja että rikkiyhdisteitä ja tietyt aineet (Cl, K, S) rikastuvat käytön aikana putkien pintaan, vaikuttavia aineita on kattilassa niin kiinteässä, sulassa kuin kaasumaisessakin muodossa ja korkeita paikallisia jännityksiä esiintyy kattilan eri osissa putkirakenteesta ja paikallisista lämpötilan nousuista johtuen.

Soodakattilan lämpöpintojen materiaalivalinta onkin tasapainottelua käyttö-ominaisuuksien ja kustannusten välillä. Korkea tuorehöyryn lämpötila ja paine mahdollistavat rakennusasteen nostamisen, mutta vaativat samalla kestävämpiä materiaaleja. Soodakattilassa vallitsee useita lämpötilatasoja ja lämmönsiirtopinnoilla vauriomekanismit vaihtelevat, joten materiaalivalinnassa kullekin kattilan osalle on huomioitava kohteen olosuhteet ja vauriomekanismien riskit. Muita valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat mm. materiaalin kemiallinen koostumus, materiaalin



lujuusominaisuudet, valmistettavuus, valmistusmenetelmien (kylmämuokkauksen, hitsauksen tai herkistymisen) vaikutukset korroosionkestävyyteen ja hinta. Koska soodakattilassa vallitsevat korrodoivat olosuhteet, valitaan usein suuri seinämänpaksuus niin, että saadaan suuri syöpymisvara.

Kompound-pohjaputkien yleisin vauriomekanismi on säröily. Kompound-putkien säröilyä esiintyy soodakattilan alaosassa tyypillisesti kolmessa eri paikassa: pohjanputkissa sekä ilma- ja sula-aukoissa. Säröilyn syynä on pidetty lähinnä termistä väsymistä (metallin lämpötilan vaihtelu). Tässä avainasemassa on lipeän ruiskutus, seinille ja aukkoputkille ruiskutetun lipeän aiheuttamat lämpötilan vaihtelut saavat aikaan väsyttävää kuormitusta. Myös ilmajaon hallinta on tärkeää. Joskus säröt ovat tyypiltään jännityskorroosion aikaansaamia. Jännityskorroosiolle altis ympäristö voi olla pesunaikainen vesiliuos ja kostean suolan peittämät putket.

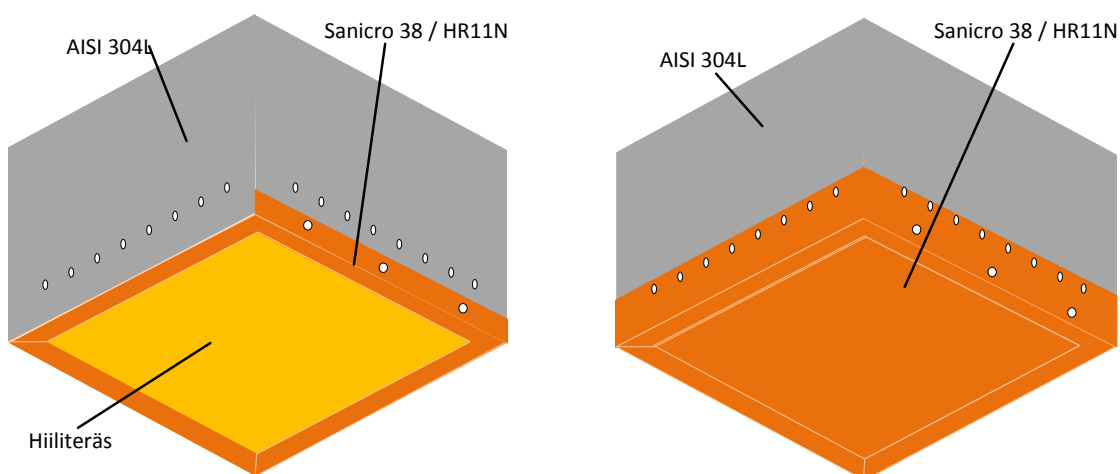
Käytönaikainen sulfidikorroosio on toinen tärkeä soodakattilan tulipesän korroosioimekanismi, sillä pelkistävissä olosuhteissa metallin ja rikkivedyn reagoidessa syntyvä sulfidikerros heikentää metallia suojaavia oksidikerroksia.

Tulistinalueella korroosio-olosuhteet ovat myös haastavat. Syynä tähän on mustalipeän polton seurauksena syntyvät alkalikloridi- ja rikkiyhdisteet, jotka tulistinpinnoille kertyessään aiheuttavat tulistinputkien syöpymistä. Korroosion lisäksi kerrostumat aiheuttavat kattilan tukkeutumista, joka puolestaan johtaa kasvavaan nuohoustarpeeseen. Korroosioon vaikuttavat ennen kaikkea tulistinputkien pintaan syntyvien kerrostumien sulamisalue sekä materiaalin lämpötila. Kloridit ja kalium ovat oleellisia aineita erityisesti kerrostumissa (ja lipeässä), sillä kalium laskee voimakkaasti kerrostuman sulamislämpötilaa ja kloridi aiheuttaa nopean korroosion. Rikkivety (H_2S) ja polysulfidit aiheuttavat sulfidikorroosiota.

Edellä mainituissa olosuhteissa on kiinnitettävä erityistä huomiota materiaalin valintaan ja siihen, että materiaalin lämpötila pidetään mahdollisimman alhaisena. Vesikiertojen sulkeminen aiheuttaa edellä mainittua haitallisten aineiden rikastumista mm. mustalipeään, mikä tulee ottaa huomioon materiaaleja valittaessa. Seostamattomien ja matalaseosteisten terästen korroosiosuojana on myös käytetty erilaisia pinnoitteita.

1.3.1 Pohja

Nykyisin soodakattilan tulipesän pohjan compound materiaalina käytetään tavallista ruostumatonta terästä (AISI 304L) tai paremmin korroosiota kestävästä nikkeliseosta kuten Sanicro38/ HR11N. Compound-putkien sijasta voidaan käyttää myös hiiliterästä pohjan keskiosissa. Esimerkki tulipesän alaosan materiaalivehtoehdoista on esitetty kuvassa 1-2.



Kuva 1-2. Esimerkki tulipesän alaosan putkimateriaaleista

Japanissa soodakattilan tulipesän materiaalina käytetään ferriittistä ruostumatonta hitsauspinnoitetta 18% Cr tai 25% Cr. Ferriittisten ruostumattomien terästen ongelmana pidetään materiaalin taipumusta haurausilmiöihin. Soodakattilan käytön kannalta suurin pelko kohdistuu 475 °C-haurauteen ja sigma-haurauteen. Tällöin teräksen kromi rikastuu paikallisesti sigma-faasiksi, joka kohottaa voimakkaasti materiaalin lujuutta ja alentaa sitkeyttä. Stabiloivien seosaineiden (Nb, Ti, Al) käytön avulla on ollut mahdollista pienentää ferriittisten ruostumattomien terästen raekokoa merkittävästi ja eliminoida haurastumistaipumus.

Termisen väsymisen kannalta paras compound-materiaali on sellainen, jonka lämpölaajenemiskerroin on mahdollisimman lähellä hiiliterästä. Myös jännityskorroosioriski pienenee lämpölaajenemiskertoimien erojen pienentyessä. Lisäksi materiaalin lämmönsiirtokerroin tulee olla suuri, jotta lämpö johtuu pinnasta hiiliteräkseen ja sitä kautta kiertoveteen, eikä materiaaliin synny sisäisiä lämpötilagradientteja.



1.3.2 Seinät

Modernin soodakattilan tulipesän alaosan seinät ylimmän ilmatason tasolle on rakennettu kompond-materiaalista (304L) korroosion minimoimiseksi. Yläosissa käytetään seostamatonta hiiliterästä esim. P235GH, P265GH tai niukkaseosteisia teräksiä esimerkiksi 16Mo3.

Hiiliteräksen ja kompond-putken rajalla pohjalla ja seinällä on galvaanisen korroosion riski. Lisäksi yläosassa olosuhteet vaihtelevat pelkistävän ja hapettavan välillä.

1.3.3 Kammiot, aukot, läpiviennit, kourut, massaukset

Kammiot valitaan kuten putket. Voimakkaalle korroosiolle alttiissa osissa, kuten erilaisissa läpivienneissä tms. heikommin jäähdytetyissä osissa, tulee kiinnittää erityistä huomiota niiden korroosion-kestävyyteen, jäähdytykseen ja suojaukseen. Monesti korroosionopeutta ei voida kovinkaan paljon pienentää millään toimenpiteillä, jolloin osa joudutaan vaihtamaan tai korjaamaan huoltoseisokeissa määrä ajoin.

Primääri-ilma-aukkojen ohitusputkissa käytetään yleensä kompondia (304L, Sanicro 38/HR11N) tai pinnoitehitsattua materiaalia. Joskus kompondista valmistetuissa ohitusputkissa on havaittu säröilyä. Säröily on lähes yksinomaan ollut termistä väsymistä, jotkut säröt ovat olleet tyypiltään jännityskorroosion aikaansaamia. Materiaalivalinnan lisäksi säröilyyn voidaan vaikuttaa lipeän ruiskutuksella sekä ilmasuihkun hallinnalla.

Primääri-ilmasuuttimina käytetään nykyään valusuuttimia, standardimateriaalina on GRP 400 (pallografiittirauta), jolla on hyvä sitkeys verrattuna suomugrafiittiin ja hyvä lämmönjohtavuus verrattuna seostettuihin materiaaleihin. Tarkka sovitusta ja tiivistystä massalla ovat huomioitavia asioita suuttimien asennettaessa. Uusiminen on helppoa, ei tarvita hitsausta eikä hiontaa. Myös korkeaseosteisia materiaaleja voidaan käyttää mutta hinta on moninkertainen.

Hitsattujen levysuuttimien on todettu syöpyvän korkeiden lämpöpiikkien aikana.



1.3.4 Verho

Verhoputkia käytetään ensimmäisenä lämpöpintana tulipesän jälkeen suojamaan tulistimia säteilylämmöltä sekä vähentämään carryoverin määrää. Verhoputket valmistetaan yleensä hiiliteräksestä koska lämpötila on lähellä seinäputkien lämpötilaa. Korroosio on vähäistä johtuen materiaalin lämpötilasta.

1.3.5 Tulistin

Tulistimien materiaalinvalinnassa joudutaan tasapainoilemaan yhtäältä materiaalien korroosionkestävyyden ja toisaalta niiden hinnan välillä. Perinteisesti tulistimien korroosio-ongelmat minimoidaan pitämällä tulistimien materiaalilämpötilat alle lämpötilan T_0 (FMT = first melting point), jossa ensimmäiset sulapisarat syntyvät kerrostumiin. FMT:n ylittyessä kaikkien materiaalien korroosionopeus kasvaa huomattavasti ja on vaikeasti ennustettavissa.

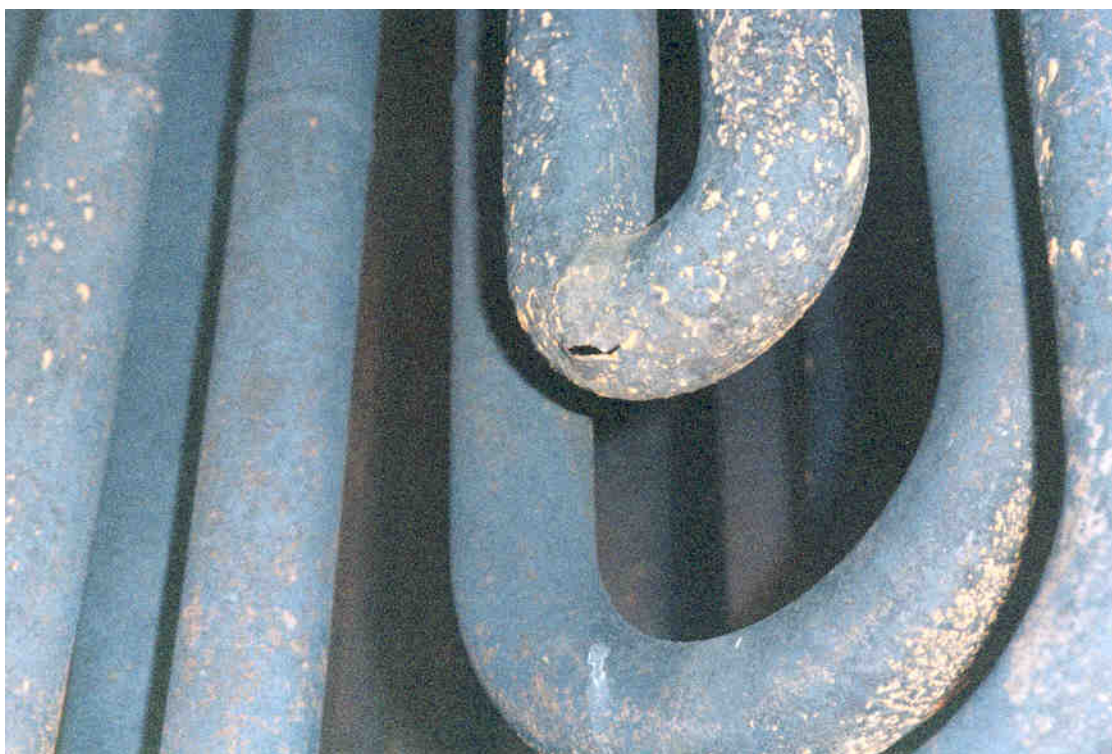
Kerrostumien ominaisuudet ja niiden korroosiovaikutus voidaan ennustaa kun tiedetään lipeäanalyysin lisäksi mitä lipeälle tapahtuu tulipesässä ja millaista lentotuhkaa syntyy. Poistamalla poltettavasta mustalipeästä kaliumia ja kloridia voidaan korroosiota vähentää. Kalium vaikuttaa pääasiassa likaantumiseen ja kloridi korroosioon. Voidaan sanoa että mustalipeän (lentotuhkan) K-pitoisuus määrittelee sekä materiaalin että höyryn maksimi lämpötilan. Mustalipeän (lentotuhkan) Cl-pitoisuus määrittelee käytettävän kirkkaan materiaalin määrän tulistimissa.

Pyrittäessä korkeampiin höyrynlämpötiloihin ja paineisiin täytyy käyttää paremmin korroosiota kestäviä materiaaleja sekä parantaa kloridi- ja kaliumpitoisuuksien hallintaa. Korroosionopeus ei aina ole suoraan verrannollinen käytettyyn rahamäärään. Parhaimmat tulistinmateriaalit voivat olla yli kymmenen kertaa kalliimpia kuin perinteiset materiaalit, mutta korroosionkesto saattaa joissakin tapauksissa olla 2 tai 3-kertainen.

Tulistinkorroosiota voidaan vähentää myös tulistimien sijoituksella. Yleensä säteilyn alla tulistimien korroosio on voimakkaampaa kuin konvektiopuolella. Tämä johtuu käytännössä siitä, että säteilypuolella materiaalilämpötilat ovat noin 15-20 °C korkeampia kuin konvektiopuolella. Sijoittamalla tulistimet joko nokan taakse tai käyttämällä tulistimien edessä verhoputkia, voidaan korroosiota vähentää oleellisesti.

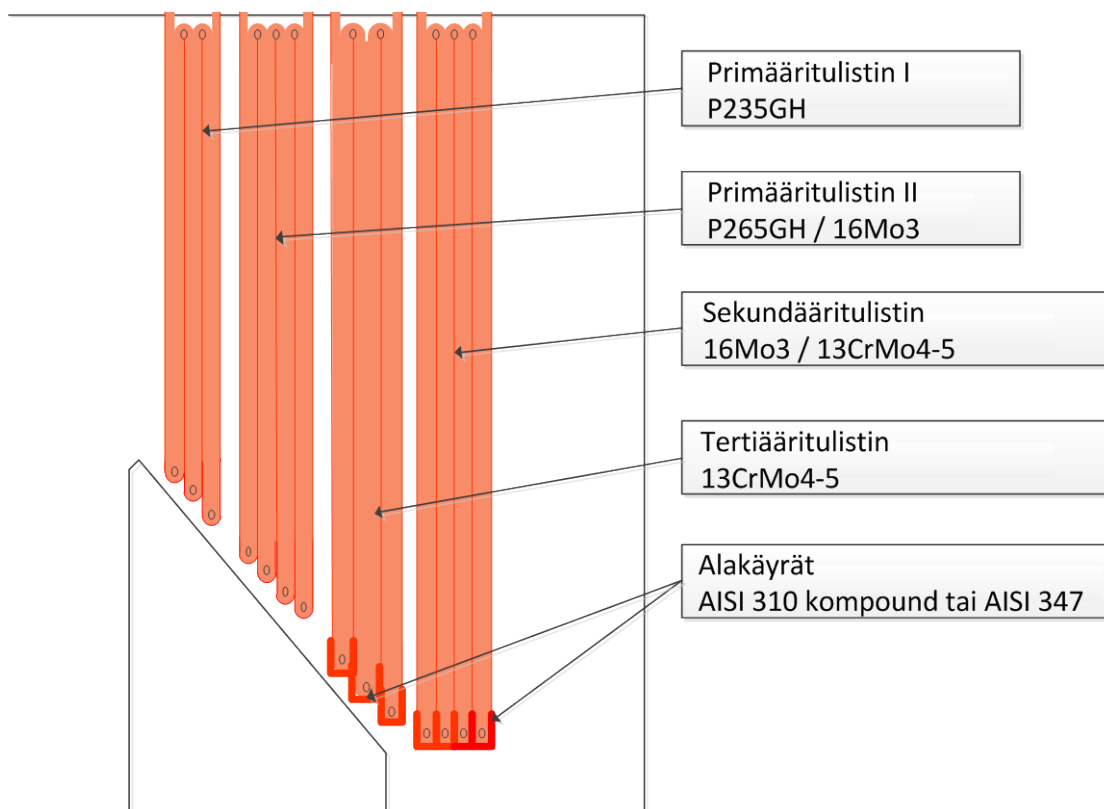
Verhoputket vähentävät myös merkittävästi tulistimille tulevaa carryoverin määrää pienentäen samalla tulistimien korroosioriskiä.

Tulistimissa käytetään yleensä useita eri terässeoksia jolloin tulistimien korroosiokestävyys ja hinta voidaan optimoida. Materiaaleina käytetään kuunaluja seostamattomia/niukkaseosteisia teräksiä tai ruostumattomia teräksiä monoputkena, compoundputkena tai pinnoitehitsattuna. Eniten korroosiolle alttiita alueita ovat tulistimien kuumimmat osat sekä tulistimien putkikäyrien alaosat, jotka ovat tulipesän suoran säteilylämmön kohteena. Kuvassa 1-3 on esimerkki sulakorroosiolle altistuneesta tulistimen alakäyrästä.



Kuva 1-3. Syöpynyt tulistimen alakäyrä

Perinteisesti soodakattiloiden primääritulistimissa on käytetty hiiliterästä (esim. P235GH, P265GH). Sekundääri- ja tertiääritulistimet on valmistettu Cr-Mo teräksistä (esim. 16Mo3, 13CrMo4-5, 10CrMo9-10). Tulistinputkien alakäyrissä on käytetty materiaalina austeniittista ruostumatonta terästä esim. AISI 347 tai compoundia esim. AISI 310. Esimerkki perinteisistä tulistinmateriaaleista on esitetty kuvassa 1-3.



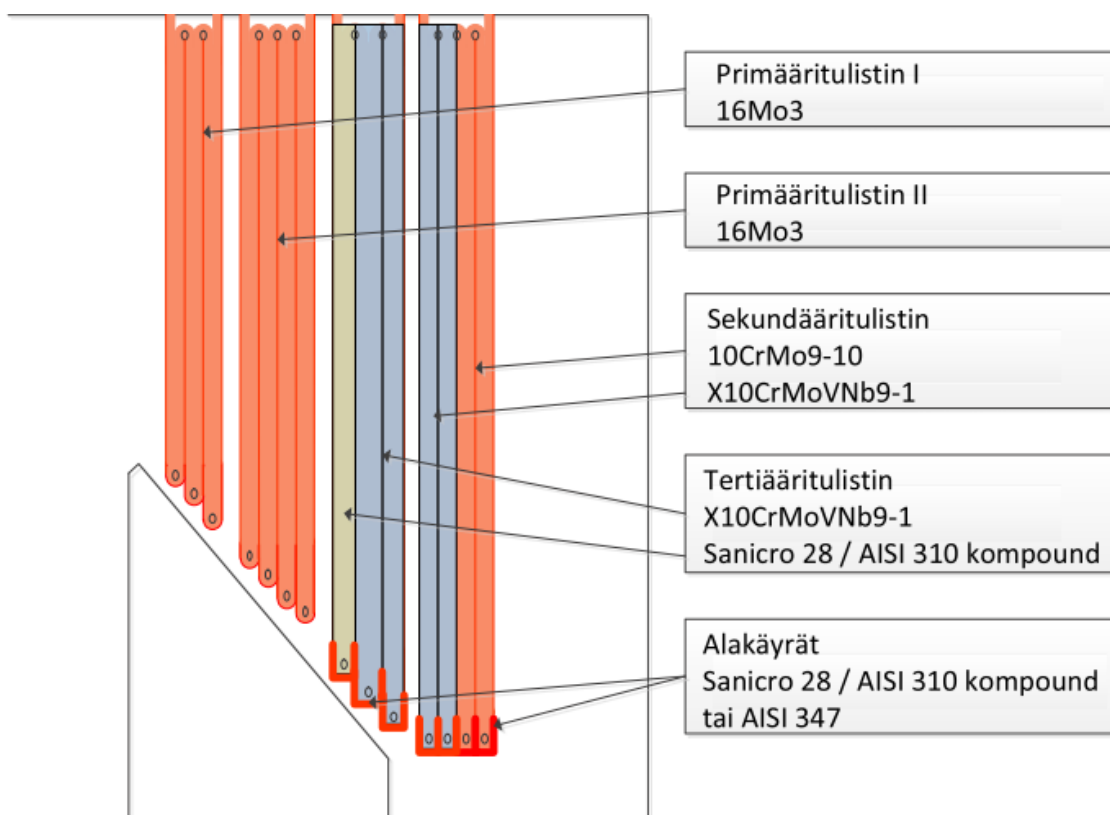
Kuva 1-4. Esimerkki perinteisistä tulistinmateriaaleista

Paremmen lujuuden ja/tai suuremman korroosiovaran vuoksi hiiliteräsputket voidaan korvata primääritulistimissa esim. 16Mo3-materiaalilla. Sekundääritulistimen kuumimmissa osissa niukkaseosteisten teräksien sijaan käytetään runsasseosteisia teräksiä esim. X10CrMoVNb9-1 ja tertiääritulistimissa compound-materiaalia, jossa on pinnoitteena esim. AISI 310 tai Sanicro 28. Alakäyrissä käytetään esimerkiksi austeniittista AISI 347 umpiputkea tai AISI 310 sekä Sanicro 28 compoundia.

Kompound-materiaalien käyttöä puoltaa se, että sisämateriaalina voidaan käyttää kuumalujia teräksiä (esim. 10CrMo910), joiden höyrypuolen käyttäytyminen on tunnettua. Austeniittiset teräkset ovat alttiita jännityskorroosiolle, esimerkiksi pisara carry-ovet lieriöstä tai epäpuhtaudet ponnistusvedessä voivat aiheuttaa ongelmia höyrypuolella. Savukaasupuolella pesun aikana voi muodostua jännityskorroosiota aiheuttava elektrolyytti. Compoundissa ulkopuolinen särö pysähtyy yleensä rajapintaan. Austeniittiste materiaalien korroosiota soodakattilan tulistimissa on kuitenkin havaittu erittäin vähän.

Kompound-materiaalin sisämateriaali valitaan maksimikäyttölämpötilan ja virumiskestävyyden perusteella. Pinnoite valitaan korroosionkeston perusteella. Pinnoitteen valinnassa ei viruminen näyttele merkittävää osaa.

Esimerkki paremman lujuuden ja/tai suuremman korroosiovaran tulistinmateriaaleista on esitetty kuvassa 1-4.



Kuva 1-5. Esimerkki paremman lujuuden / suuremman korroosiovaran tulistinmateriaaleista

Putkien lisäksi tulee kiinnittää huomiota tulistinsiteiden konstruktion ja materiaaliin. Siteiden kesto ja materiaalin valinta riippuu suuresti putkien välisestä etäisyydestä ja sidekonstruktiosta eli putken kyvystä jäähdyttää sidettä sekä kerrostuvan suolan koostumuksesta. Jos eri tulistimissa putkien välinen etäisyys on sama, voidaan käyttää samaa tulistinsidettä. Mitä alhaisemmassa lämpötilassa sulavia kerrostumia syntyy, sitä vaikeammat ovat korroosio-olosuhteet ja sitä paremmin on huolehdittava siteiden jäähdytyksestä ja sitä suurempi huomio on kiinnitettävä materiaalin valintaan.

1.3.6 Ekonomaiseri

Ekonomaiseriissä lämmitetään höyrystimeen menevää vettä alle kylläisen lämpötilan (noin 250–300 °C), jolloin ekonomaiserin putkimateriaalin pintalämpötila pysyy melko alhaisena. Ekonomaiseri sijoitetaan kattilassa tulistimien jälkeen takavetoon, jossa savukaasujen lämpötila on noin 400–450 °C. Verrattain alhaisista lämpötiloista



ja veden hyvästä jäähdytysvaikutuksesta johtuen ekonomaiserin materiaalina käytetään yleensä tavallista hiiliterästä.

1.3.7 Lieriö

Lieriön kohdalla menetellään kuten edellä eli lujuuslaskujen ja paineastiamääräysten perusteella valitaan sopiva materiaali. Lieriömateriaalille vaaditaan standardin vaatimien koestusten lisäksi kerrostumatarkastus. Lieriömateriaalia valittaessa on syytä punnita eri vaihtoehtojen lujuuksia ja säröilyalttiutta (ks. raportti VTT-MET C-206).

1.4 Hitsaus

Valmistajalla tulee olla laatujärjestelmä (esim. ISO 9001:n mukainen), jossa kuvataan menettelyt hitsausmenetelmien ja hitsaajien pätevöimiseksi, hitsauslisäaineiden tilaaminen ja käsittely, lisäaineiden jakelu tuotantoon ja palautus varastoon sekä hitsin tarkastuksesta ja dokumentoinnista. Painetta kantavien ja niihin liitettävien osien hitsaukseen tulee olla käytettävissä pätevoidyt hitsausohjeet ja hitsaajat. Konepajalla sekä paikan päällä tehdyn hitsauksen dokumentointi on tärkeää jäljitettävyyden takia. Lisäaineiden käsittelyn tulee tapahtua em. järjestelmän mukaan. Lisäaineiden tulee olla viranomaisen hyväksymiä.

Lämpökäsittelyuunien tulee olla kalibroituja samoin kuin mahdolliseen esilämmitykseen käytettävien laitteiden. Tämä koskee myös hitsauskoneita.

Itse hitsaustyö tulee suorittaa tarkoin kyseisen hitsausohjeen mukaan. On erittäin tärkeää, että seuraavat asiat tehdään oikein:

- teräslaadun valinta käyttöolosuhteisiin (löytyy hitsauspiirustuksesta)
- lisäaineen valinta perusaineelle ja käyttöolosuhteisiin (löytyy hitsauspiirustuksesta)
- lisäaineiden varastointi ja käsittely
- hitsattavan alueen puhtaus (erityisesti runsaasti seostetuilla)
- railosovitus
- esilämmitys
- hitsaus-parametrit
- hitsausohjearovot
- juurensuojaus
- hitsauksen jälkeiset käsittelyt

Esimerkkinä vaativasta hitsauksesta voidaan käyttää runsasseosteisen "X10"-teräksen (X10CrMoVNb9-1) hitsausta välijäähdetyksineen koska teräs on erittäin karkeneva ja hitsatussa tilassa hauras. Hitsaus edellyttää esikuumennuksen, välipalkolämpötilan eli



palkojen välisen lämpötilan, välijäähtäytysten ja jälkihehkutuksen huolellista kontrollointia. Esikuumennus on yleensä vähintään noin 200 °C ja palkojen välinen enimmäislämpötila noin 300 °C. Hehkutusta ei saa tehdä kuitenkaan heti hitsauksen jälkeen, vaan hitsi on annettava jäähtyä lämpötilaan alle 100-150 °C eli reilusti alle Mf-lämpötilan, jotta metallurgiset mikrorakennemuutokset (jäännösausteniitin muodostuminen martensiitiksi) ehtivät tapahtua loppuun. Jos hehkutus tehdään suoraan hitsauksen jälkeen, muuttuu jäännösausteniitti martensiitiksi eli karkeneminen tapahtuu vasta hehkutuksen jälkeisen jäähtymisen aikana. Tällöin liitokseen jää päästämätöntä martensiittia, joka on melko haurasta ja halkeilualtista. Lisäaineen valinnassa on otettava huomioon rakenteen käyttöolosuhteet (korroosio-olosuhteet ja lämpötila) ja eheys (kuumahalkeiluherkkyys) sekä muut ominaisuudet, joita hitsiltä vaaditaan. Yleisohjeena on, että käytetään perusainetta koostumukseltaan vastaavaa lisäainetta. Käytännössä tällaisen lisäaineen seosainepitoisuudet ovat palohäviöiden ja suotautumisten kompensoimiseksi hiukan korkeampia kuin perusaineessa.

Hitsauksen ongelmakohtia voivat olla muun muassa:

- Materiaalien (esim. maalatut putket, hitsauslisäaineet) sekaantuminen keskenään
- Asennusolosuhteet:
 - lika ja ruoste hitsattavilla pinnoilla
 - kosteus hitsattavilla pinnoilla
 - kosteat hitsauspuikot
- Kokemattomat tekijät:
 - hitsauslisäaineen valinta
 - eripariliitosten hitsaus (erityisesti liitoksen lämpökäsittely ja lämpötilan seuranta)

Mikäli käytetään runsaasti seostettuja ferriittisiä teräksiä, ovat ne hitsauksen jälkeen (ennen lämpökäsittelyä) huoneenlämmössä hyvin hauraita, mikä on otettava huomioon niiden käsittelyssä.

Erityisesti ohutseinämäisten putkien evähitsauksessa on varottava läpipalamista, joka tehokkailla menetelmillä, kuten jauhekaarhitsauksella tapahtuu helposti häiriötilanteessa. Käsien hitsattavilla eväosuuksilla tulee taata riittävä tunkeuma, mikä yleensä edellyttää viistettyä evää.

Hitsausstandardisarja EN 1011 (Hitsaus. Metallisten materiaalien hitsaussuositukset) antaa yleiset ohjeet tuotannolle sekä hitsausten valvonnalle. Se käsittelee eri osissaan myös mahdollisia haitallisia ilmiöitä, joita eri materiaalien hitsauksessa voi esiintyä, ja antaa ohjeita niiden välttämiseksi:



- [SFS-EN 1011-1: Yleisohjeet kaarihitsaukselle](#)
- [SFS-EN 1011-2: Osa 2: Ferriittisten terästen kaarihitsaus](#)
- [SFS-EN 1011-3: Osa 3: Ruostumattomien terästen kaarihitsaus](#)
- [SFS-EN 1011-4: Osa 4: Alumiinin ja alumiiniseosten kaarihitsaus](#)

Kuumalujien terästen hitsausta ja siihen liittyviä asioita käsitellään standardissa: [SFS-EN 12952-5 Vesiputkikattilat ja niihin liittyvät laitteistot Osa 5 Paineellisten osien valmistus](#). Putkistostandardi SFS-EN 13480:

- [SFS-EN 13480-1 Osa 1: General](#)
- [SFS-EN 13480-2 Osa 2: Materiaalit](#)
- [SFS-EN 13480-3 Osa 3: Design ja calculation](#)
- [SFS-EN 13480-4 Osa 4: Valmistus ja asennus](#)
- [SFS-EN 13480-5 Osa 5: Tarkastus ja testaus](#)
- [SFS-EN 13480-6 Osa 6: Additional requirements for buried piping](#)
- [SFS-EN 13480-7 Part 7: Guidance on the use of conformity assessment procedures](#)
- [SFS-EN 13480-8 Osa 8: Additional requirements for aluminium and aluminium alloy piping](#)

1.4.1 Erikoishitsaukset

Eripariliitos, jota kutsutaan joskus myös sekaliitokseksi, on “hitsausliitos, jossa liitettävien perusaineiden mekaanisissa ominaisuuksissa ja/tai kemiallisissa koostumuksissa on merkittäviä eroja”

1.4.1.1 Ferriittisten terästen (“Musta/musta”) –liitos

”Musta/musta” -eripariliitoksen ollessa kyseessä hitsataan erilaisia ferriittisiä (ml. myös martensiittiset) teräksiä toisiinsa. Yleissuositukset ovat seuraavat:

- lisäaine valitaan vähemmän seostetun teräksen mukaan
- esikuumennus ja välipalkolämpötila valitaan seostetumman (so. karkenevamman) teräksen mukaan

1.4.1.2 Austeniittisen ja ferriittisen teräksen (“Musta/ruostumaton”) liitos

Tällaisen ns. eripariliitoksen hitsauksessa on erityisesti huomioitava, että erilaisten terästen sekoittuessa toisiinsa syntyy helposti hauras rakenne. Tästä syystä on oltava erittäin huolellinen oikean lisäaineen ja hitsausmenettelyn valinnassa sekä itse hitsaustyössä. Seuraavia haitallisia ilmiöitä voi syntyä jos työ epäonnistuu:

- vetyhalkeilu
- kuumahalkeilu
- haurastuminen
- hiilen diffuusio
- terminen väsyminen



Koska eripariliitoksissa käytetyt lisäaineet ovat yleensä huonommin hitsattavia, on syytä tehdä tällaisista liitoksista mahdollisimman suuri osa konepajalla.

Kompound-putkien hitsauksessakin joudutaan tavallaan tekemään em. kaltainen eripariliitos, ja on luonnollista, että siihen on oltava omat erityisohjeet ja compound-materiaalilla pätevoitetyt hitsaajat.

Erityisesti on huomioitava, että pinnoitemateriaalia on kuorittava liitoksen läheltä niin, että se ei "mustaa" osuutta hitsattaessa pääse sekoittumaan hitsisulaan. Pintapalot hitsataan ns. yliseostetulla lisäaineella käyttämällä sellaisia hitsausmenetelmiä ja -parametrejä, että "mustan" hitsi- ja perusaineen sulaminen ja sekoittuminen pintakerrokseen on mahdollisimman vähäistä eikä luotettava liittyminen tämän vuoksi vaarannu. Yliseostetussa lisäaineessa on enemmän kromia ja nikkeliä, jotta sillä on varaa "laimentua" sekoittuessaan seostamattomaan teräkseen ja sekoittunut osuus pysyy austeniittisena. Hitsausta on käsitelty mm. Sandvikin raportissa "Welding of Sandvik Composite Tubes".

Evähitsauksessa on compoundia hitsattaessa varottava tunkeumaa putken hiiliteräsosaan, koska hiiliteräksen seostuminen evähitsiin vaikuttaa haitallisesti laatuun ja lujuuslaskut perustuvat ainoastaan hiiliteräsosan paksuuteen.



1.4.2 **Kompoundputkien korjaushitsaus**

Vaikka korjaushitsausta käytetään melko yleisesti soodakattiloissa, toimintatavoissa voi olla suuriakin eroja, riippuen tehtaasta, tarkastajasta tai korjauksen suorittajasta. Yhdistyksen jäsenistö on kaivannut yleistä ohjetta compoundputkien korjaushitsauksesta.

1.4.2.1 **Soveltamisala**

Tämä ohje koskee yleisesti kaikkia compound-putkia, mutta kunkin compoundin kohdalla on huomioitava erilaiset hitsausvaatimukset esimerkiksi runsaasti nikkeliä sisältävillä lisäaineilla on suurempi riski kuumahalkeiluun.

Ohjetta voidaan soveltaa Painelaitedirektiivin (PED) sekä kattilastandardin EN 12952 mukaisessa valmistuksessa/työssä.

Korjaushitsauksesta puhuttaessa tulee erottaa kaksi eri tyyppiä:

1. Pinnoitehitsaus = compound-putken ulomman kerroksen lisäämistä hitsaamalla
2. Päällehitsaus = compound-putken sisemmän osan (perusmateriaali) täytehitsaamista laskennallisen minimin saavuttamiseksi

Kohdan 2 perusaineen päällehitsausta minimin saavuttamiseksi ei suositella.

1.4.2.2 **Hitsauksen edellytykset**

Korjaushitsaus on aina tarkan harkinnan/selvityksen tulos. Tapauskohtaisesti tulee harkita kummalla menetelmällä, korjaushitsaamalla vai putken vaihdolla, saavutetaan paras lopputulos niin turvallisesti, teknisesti kuin taloudellisestikin.

Ennen kuin putken korjauksesta hitsaamalla päätetään, tulee vauriomekanismista olla käsitys, esimerkiksi voivatko hitsauksesta syntyvät lisäjännitykset pahentaa vauriota (esim. säröilyä) korjattavan kohdan lähiympäristössä.

Seuraavia asioita tulisi ainakin huomioida korjaushitsausta harkittaessa:

1. Minkälaisia vaurioita ei saa korjaushitsata
2. Kuinka monta kertaa samaa vauriota voi korjaushitsata
3. Kuinka suuren pinta-alan voi korjaushitsata
4. Etäisyys kahden korjaushitsin välillä

1. Minkälaisia vaurioita ei saa korjaushitsata

Jos tarkastuksessa havaitaan että putkessa on muodonmuutoksia esimerkiksi lommoja, kolhuja tai soikeutta, putki tulee vaihtaa uuteen. Lisäksi jos putkessa on vesipesun



jälkeen ruostumattoman pinnan värimuutoksia (ylikuumentumisesta johtuva tumma pinta), putki tulee vaihtaa uuteen. Ylikuumeneminen voi johtua esimerkiksi vesi/höyrypuolen kerrostumasta tai huonosta vesikierrosta.

Putken pinnoitepaksuus (kuinka paljon kirkasta jäljellä) tulee selvittää.

Jos särö ulottuu perusaineeseen, putken laskennallinen minimi tulee selvittää ja varmistaa että pinnoitehitsauksen tunkeuma ei mene sen alle. Jos perusaineen paksuus on alle minimin, putki on vaihdettava. Perusaineen paksuuden lisäämistä päällehitsaamalla minimin saavuttamiseksi ei suositella.

2. Kuinka monta kertaa samaa vauriota voi korjaushitsata

Samaa vauriota suositellaan korjattavaksi hitsaamalla maksimissaan kolme kertaa. Rajoitus koskee myös korjaushitsauksessa syntyneitä säröjä.

3. Kuinka suuren pinta-alan voi korjaushitsata

Pinta-ala tulee harkita tapauskohtaisesti riippuen mm. korjattavan kohteen sijainnista.

4. Etäisyys kahden korjaushitsin välillä

Etäisyys pituussuunnassa kahden erillisen korjaushitsin välillä tulee ylittää isomman korjaushitsin koko.

1.4.2.3 Toimenpiteitä ennen hitsauksen aloittamista

Hitsaajan pätevyyden varmistaminen

Ennen hitsauksen aloitusta jokainen hitsari tekee hyväksytyn työkokeen. Työkoe tehdään vastaavalla compoundputkella, samanlaisella geometrialla, samassa hitsausasennossa (pysty- tai vaakaputki) ja todellisuutta vastaavissa olosuhteissa (mm. jännitysolosuhteet, lämpövaikutukset, rajattu luoksepäästävyys, reunojen olosuhteet). Koehitsin tulee täyttää sille asetetut laatu-, koko- ja tunkeumavaatimukset.

Ennen koehitsauksen aloittamista tulee perusaineen ja pinnoitteen paksuus (hiottu korjattavan kohdan tasoon) dokumentoida.

Hitsauksen jälkeen hie leikataan poikittain hitsauspalkoihin nähden ja tutkitaan visuaalisesti ja kuparisulfaatilla kiinnittäen huomiota tunkeuman syvyyteen, kerrospaksuuteen, palon muotoon ja geometriaan. Tunkeumasyvyyys tulee olla aina mahdollisimman pieni, tunkeuma ei saa mennä putken laskennallisen minimin alle.

Hyväksytty työnäyte dokumentoidaan ja jos mahdollista säästetään seuraavaan seisakkiin.

Hitsaajat pätevoidetään standardin EN 287-1 / EN ISO 9606-1 (käsinhitsaus) mukaan

Hitsausohjeet (WPS) pätevoidetään standardin EN ISO 15614-7 mukaan.

Pinnan puhdistus

Hitsattavan materiaalin pinnan tulee olla puhdas liasta, rasvasta, ruosteesta, valssihilseestä tai muusta vastaavasta epäpuhtaudesta.

Puhdistus tehdään hiomalla esim. karhunkielellä, teräsharjaamalla tai hiekkapuhalluksella. Liuottimella voi poistaa rasvat, tussit tms. jos tarpeen.

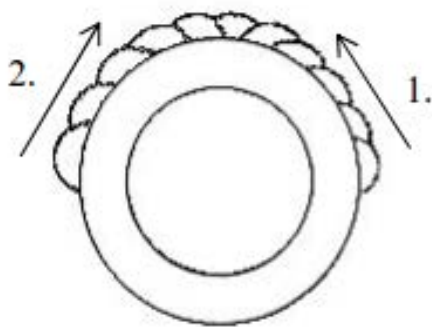
1.4.2.4 Hitsauksen suorittaminen

Hitsaus tulee suorittaa menetelmäkokeella (EN ISO 15614-7) pätevoidetyn hitsausohjeen (WPS) mukaisilla hitsausparametreillä.

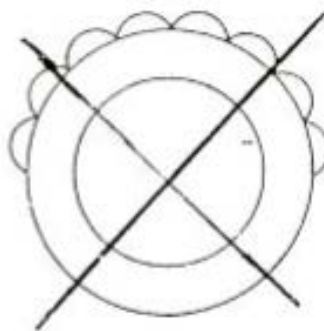
Soveltuvat hitsausmenetelmät ovat puikkohitsaus (111) ja TIG hitsaus (141).

Puikolla hitsattaessa on valokaari pidettävä lyhyenä ilmasta tulevan austeniitin osuutta kasvattavan typen määrän pienentämiseksi.

Hitsaus suoritetaan oheisen kuvan mukaan pituusakselin suuntaisesti alkaen esimerkiksi putken oikealta kyljeltä ja edeten kunnes saavutaan putken laelle (klo 12). Tämän jälkeen aloitetaan uudestaan vasemmalta kyljeltä ja taas edetään putken lakea kohti (klo 12) kunnes viimeinen palko limitetään viimeisen oikealta hitsatun päälle. Viereiset palot sulatetaan osittain limittäin, jolloin hitsin liallinen, perusaineen sekoittumisesta johtuva laimeneminen saumakohdassa voidaan estää. Erityisesti tämä on huomioitava ensimmäisen palon hitsauksessa.



Oikea palkojen sijoittelu



Väärä palkojen sijoittelu



Mikrorakenne

Jos hitsattava putken materiaali on 304L, tulipesän valmiin korjaushitsauskerroksen tulee olla mikrorakenteeltaan austeniittis-ferriittinen, jolloin sopiva ferriitin määrä tulisi olla 5...15%. Tämä saavutetaan hitsauspuikon koostumuksella ja oikeilla hitsausparametreilla. Kyseinen ferriittimäärä on edullinen hitsausteknisistä syistä, koska ferriitti pienentää hitsin kuumahalkeamistaipumusta.

Edellinen ei päde Sanicro 38:lle joka on kokonaan austeniittinen.

Kemiallinen koostumus

Jos hitsattava putken materiaali on 304L, valmiin korjaushitsauskerroksen nimellisanalyysin tulisi olla esimerkiksi:

Cr	16...19 %
Ni	8...11 %

Kromi- ja nikkelpitoisuudet voivat olla korkeammatkin edellyttäen, että mikrorakenteen koostumus säilyy kohdan 1.4.1 mukaisena.

Kerrospaksuus

Hitsauskerroksen paksuuden tulee olla riittävän ohut, jotta lämpösiirtyminen olisi hyvä ja seinämän kokonaisvahvuus ei kasvaisi liian suureksi. Vaadittava kerrospaksuus on yleisesti 2-2.5 mm.

Lisäaineet

Kohdassa 1.4.2 304L materiaalille vaaditun analyysin saavuttaminen korjaushitsauskerrokselle edellyttää yliseostetun lisäaineen käyttöä, jolla kompensoidaan perusaineen sekoittuminen. Lisäainetyyppejä ovat niukkahiiliset E23 12 L R 32 (E309L-17) vastaavat lisäaineet.

Koska kerrospaksuuden tulee olla mahdollisimman ohut, tulee käytännössä kysymykseen vain yksipalkohitsaus. Paksulla kerroksella huonontuneen lämmönsiirtymisen vuoksi voivat lämpötilaerot muodostua liian suuriksi suurten kerrospaksuuden yhteydessä, jolloin terminen väsyminen saattaa aiheuttaa putkivaurioita toistuvien ylös- ja alasajojen seurauksena.

Esikuumennus ja välipalkolämpötila (työlämpötila)



Esikuumennuksen käyttö korjaushitsauksessa ei normaalisti ole tarpeen. Palkojen välistä lämpötilaa (työlämpötilaa) tulee rajoittaa soveltuvien osien, suositeltava enimmäis- välipalkolämpötila on +150 °C.

1.4.2.5 Toimenpiteet hitsauksen jälkeen

Hitsauksen tarkastus

Korjaushitsatun alueen muoto tulisi olla jouheva (ei epäjatkuvuuskohtia).

Tunkeumanestetarkastus (fluoresoivalla menetelmällä) tulee tehdä koko korjaushitsatun ja hiotun alueen lisäksi lähialueelle. (Lähialueen pinta-ala vastaa vähintään korjaushitsattua aluetta). Lisäksi korjaushitsatulle ja hiotulle alueelle tehdään paksuusmittaus ultraäänellä.

Hitsausvirheiden korjaus

Hitsauksessa syntyneet virheet avataan hiomalla riittävän laajalta alueelta ja virheen poistuminen tarkastetaan visuaalisesti ja tarvittaessa tunkeumanestetarkastuksella.

Virheiden korjaushitsaus suoritetaan soveltuvan hitsausohjeen (WPS) mukaisesti ja tarkastetaan silmämääräisesti (tarvittaessa tunkeumanesteellä).

Dokumentointi

Dokumentointi on tärkeä osa korjausprosessia. Koko prosessi tulee dokumentoida yhdeksi dokumentiksi, joka sisältää:

- Korjaus- ja tarkastussuunnitelmat
- Korjaustyön
- Tarkastusraportoinnin

Vaurion paikka tulee dokumentoida jotta se löytyy seuraavissa tarkastuksissa esimerkiksi valokuvalla, skitsillä tai muulla vastaavalla tavalla. Lisäksi paksuusmittauksen tulos ruostumaton vs. perusaine ohuimmasta putken kohdasta otettuna tulee dokumentoida samaan paikkaan.

1.4.2.6 Loppusanat

Eräs kattilakäyttäjä kiteytti onnistuneen korjauksen koostuvan kolmesta kohdasta:

1. Osaaminen = Työn suorittajalla on korjaushitsauskokemusta kattilaolosuhteissa
2. Ohjeistus = Työn suorittajalla on ymmärrys siitä mitä tehdään eli oikeat ja voimassa olevat ohjeet (WPS) kyseiseen korjaukseen
3. Valvonta = Työn valvoja varmistaa että työ suoritetaan oikein. Tilaajaa



edustavan, osaavan ja kannanottokykyisen henkilön läsnäoloa
suositellaan

1.5 Lähteet:

Suomen Soodakattilayhdistys ry
Soodakattilalaitoksen suojaussuositus 1997
60V00326-V070-001

Suomen Soodakattilayhdistys ry
Selvitys: SOTU - materiaalivaihtoehtojen valinta osaprojekti
Pekka Pohjanne, VTT, Hannu Hänninen, TKK, ja Timo Kiesi, TKK.
Raportti 2/2005 (16A0913-E066)

Soodakattilapäivä 2000
Soodakattiloiden tulistinkorroosio
Keijo Salmenoja, Kvaerner Pulping Oy

Soodakattilapäivä 2011
Tämän päivän materiaalivalinnat soodakattiloissa
Johanna Tuiremo, Metso Power Oy

Kunnossapito – lehti 5/99 erikoisliite
Ruostumattomat teräkset ja niiden hitsaus

Kunnossapito – lehti 10/98 erikoisliite
Kuumalujat teräkset ja niiden hitsaus



2 SOODAKATTILAPINNOITUKSET

Alkuperäinen teksti: Kari Korpiola, VTT Valmistustekniikka
Päivitetty teksti: Tommi Varis, VTT

2.1 Johdanto

Soodakattiloiden pinnoitukset keskittyvät useimmiten kohteisiin, joissa esiintyy paikallisesti korroosio-ongelmia. Pinnoitteiden käyttö vaihtelee laitoksittain. Kompound-putken käyttö on saattanut jonkin verran vähentää pinnoitteiden tarvetta ja pinnoitteiden tarve on tyypillisesti painottunut korjauspinnoituksiin. Pinnoitettavia kohteita soodakattiloissa ovat yleensä:

1. ”mustan” ja kompond-putken raja, jossa pinnoitteella estetään galvaanista korroosiota
2. tulistinputkien mutkat, joissa pyritään estämään hapettumisen ja korroosion kautta tapahtuvaa ohenemista ja
3. paikalliset kompond-putkien säröytymien korjaus.

Pinnoitusmenetelmien ja laitteistojen kehittyessä pinnoitteilla olisi nykyisin edellytykset tarjota kompond-putkelle vaihtoehtoinen kustannustehokas ratkaisu, jolla suojata kriittisiä alueita soodakattiloissa. Pinnoitteet ovat parhaimmillaan tiiviitä korroosiolta suojaavia kerroksia. Lisäksi terminen ruiskutus on monipuolinen ja joustava menetelmä valmistuksen ja materiaalikoostumuksen suhteen. Sillä voidaan valmistaa myös gradientti- tai kerrosrakenteita ja suhteellisen kustannustehokkaasti runsasseosteisia pinnoitteita, joita ei kompond-putkiksi ole taloudellisesti tai teknisesti järkevää valmistaa. Pinnoitteet tarjoavat mahdollisuuden käyttää erilaisia strategioita materiaaliongelmiin ratkaisemiseksi. Jalompia ja kalliimpia materiaalivaihtoehtoja voidaan suunnitella vain korroosiosuojausta silmälläpitäen putkimateriaalin pinnalle.

Termiseen ruiskutukseen liittyy monia prosesseja, joilla kaikilla on omat erityispiirteensä ja lisäksi materiaalivalikoima on runsasta ja kokemukset pinnoitteista saattavat olla hyvin vaihtelevia. Termisesti ruiskutetuilla pinnoitteilla on oma erityinen lamellimainen rakenteensa, eikä niiden vaurioituminen tapahdu yleensä samoin kuin putkimateriaalien tuhoutuminen; hapettumalla pinnasta ja oksidikerroksen irtoamisen kautta. Näin ollen pinnoitteiden elinikää saattaa olla hyvin vaikea ennustaa. Tämän johdosta pinnoitusten käyttö, pinnoitusprosessin ja pinnoitemateriaalin valinta ei ole yksiselitteistä ja vaatii runsaasti tietotaitoa ja



vuoropuhelua kattilan käyttäjän, valmistajan ja pinnoitteen toimittajan välillä erityisesti soodakattiloissa.

2.2 Ruiskutusmenetelmät

Termisesti ruiskutetut metalliset pinnoitteet tehdään ruiskuttamalla sulaan tilaan kuumennettu pinnoitemateriaali kaasuvirtauksen avulla pinnoitettavaan pintaan. Sula materiaali jähmettyy pinnoitettavan materiaalin pinnalla ja muodostaa suojaavan kalvon, joka on paksuudeltaan 0,1–1,5 mm. Terminen ruiskutus pitää sisällään monia ruiskutusprosesseja kuten kaariruiskutus, liekki-ruiskutus, plasma ruiskutus, suurnopeusliekkiruiskutus (High Velocity Oxy-Fuel, HVOF ja High Velocity Air-Fuel, HVOF) ja kylmäruiskutus. [1]

Valokaariruiskutuksessa tai lyhyesti *kaariruiskutuksessa* (Wire arc) pinnoittaminen tehdään kuumentamalla lankamainen metalli sähkövalokaaren avulla sulaan tilaan ja puhaltamalla se paineilmalla kohteen päälle.

Suurnopeusliekkiruiskutuksessa jauhemainen lisäaine (metallinen tai keraaminen pinnoitemateriaali) kuumennetaan hapen ja poltтокаaasun avulla sulaan tilaan rakettimoottorin periaatteella toimivassa polttimessa. Menetelmää kutsutaan lyhyesti *HVOF-ruiskutukseksi* (High Velocity Oxy Fuel). Menetelmän etuna on pidetty sillä aikaansaattavia hienorakeisia erityisen tiiviitä pinnoitteita. *HVOF-ruiskutus* (High Velocity Air Fuel) on muunnos HVOF-ruiskutuksesta ja siinä käytetään hapen sijaan ilmaa, jolloin muodostuva liekki on kylmempi.

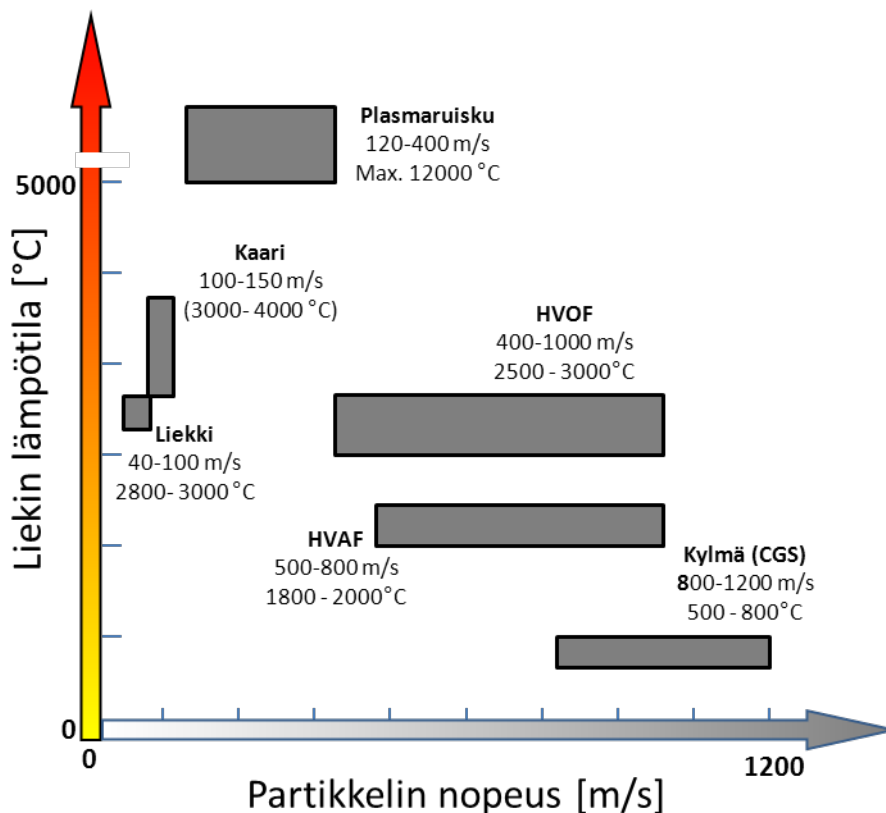
Plasmaruiskutuksessa sähkövalokaari kuumentaa kaasun noin 10 000 °C:ksi. Kuuma polttimesta suihkuava kaasu kuumentaa ja sinkoaa tällöin jauhemaisen pinnoitteen pinnoituskohteeseen, jonka päällä sulapisarat jähmettyvät.

Kylmäruiskutus on menetelmä, jossa jauhepartikkelit lämmitetään ja kiihdytetään suuttimessa. Kylmäruiskutuksessa ei ole liekkiä, vaan kaasu (ilma, typpi tai helium) kuumennetaan esilämmittimessä noin 500–800 °C lämpötilaan.

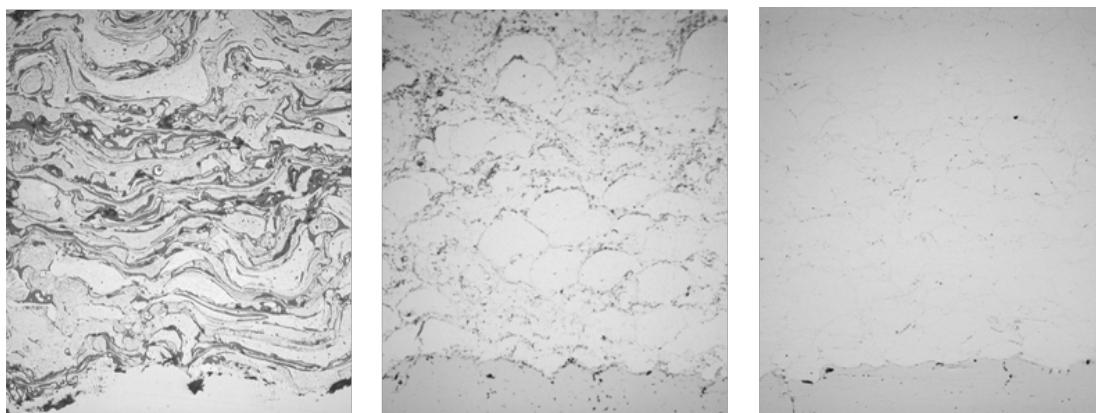
Edellä kuvattuja menetelmiä käytetään kattiloissa niiden ruiskutusnopeuden, laadun ja taloudellisuuden vuoksi. Markkinoilla on myös muita ruiskutusmenetelmiä, jotka eivät sovellu kattilaolosuhteisiin taloudellisista tai teknisistä syistä, kuten liekki-ruiskutus.

Ruiskutuslisäaineiden valikoima on suuri. Pinnoitteiden ominaisuudet ovat aina kombinaatio materiaalista ja valmistusprosessista. Samaa materiaalia voidaan

valmistaa useilla eri menetelmillä, mutta sen ominaisuudet ovat riippuvaisia käytetystä prosessista. Ruiskutuspartikkelien lämpötila ja nopeus määrittävät suurelta osin pinnoitteen ominaisuudet. Kuvassa 3-1 on esitetty eri ruiskutusmenetelmien liekinlämpötila ja partikkelinopeus. Voidaan ajatella, että mitä nopeammaksi pinnoitettavat partikkelit kiihtyvät sitä tiiviimpi pinnoitteesta muodostuu. Ruiskutusprosessissa tulee olla riittävästi lämpöä materiaalin sulattamiseksi, mutta liiallinen lämpö lisää esimerkiksi metallisen materiaalin hapettumista ruiskutuksen aikana. Kuvassa 3-2 on esitetty eri ruiskutusmenetelmillä valmistettu NiCr-pinnoite, ja huomionarvoista on, että eri ruiskutusmenetelmillä saadaan aikaan varsin erilainen pinnoiterakenne. Viimeisimmät HVOF ruiskut kuten CJS (carbide jet spray) samoin kuin HVOF ruiskut tuottavat erittäin tiiviin ja lähes hapettoman pinnoiterakenteen. Hieman tätä vanhemmilla HVOF menetelmillä kuten DJ-Hybridillä saavutetaan myös erinomainen pinnoitelaatu, vaikka happipitoisuus on hieman korkeampi. Myös kaariruiskuttamalla aikaansaadaan suhteellisen korkeasta huokoisuudesta riippumatta melko hyvä suojaavuus, koska ruiskutusmateriaalin sulamisaste on korkea, jolloin muodostuu voimakkaasti lamellimainen rakenne, jossa lamellien välinen kiinnittyminen on hyvä. Yleisesti ottaen HVOF ja HVOF menetelmillä saavutetaan kuitenkin ylivoimainen pinnoitteen tiiveys.



Kuva 2-1. Eri prosessien tuottama ruiskutuspartikkelien nopeus ja liekin lämpötila-alue.



a)

b)

c)

Kuva 2-2. Ni50Cr-pinnoitteen mikrorakenne ruiskutettuna kolmella eri prosessilla a) kaariruiskutus-, b) DJ Hybrid HVOF- ja c) CJS HVOF-prosessilla.

2.3 Pinnoitemateriaalit

2.3.1 Rautavaltaiset pinnoitteet

Rautavaltaisia pinnoitteita pidetään yleensä kustannustehokkaina pinnoitevaihtoehtoina. Polttokattiloissa käytetyt materiaalit voivat olla korkealämpötilateräkset kuten FeCr, FeCrMo, FeCrNi and FeCrAl. Lähtökohtana kattilaolosuhteisiin on, että rautavaltaiset pinnoitteeseen seostetaan joko kromia tai alumiinia tai molempia, jotta saadaan suojaava oksidikerros hapettumista ja korroosiosta vastaan. Fe-Cr -seokset ovat hyvin tunnettuja korroosionsuojausta vaativissa kohteissa korkeissa lämpötiloissa. Rikkikorroosiota vastaan suhteellisen korkeat kromipitoisuudet (yli 26 %:a) on havaittu olevan hyödyllisiä. Huomattavaa on, että yli 13 %:a Cr sisältävät seokset ovat tasapainon mukaisesti austeniittisia, mutta termisesti ruiskutettujen pinnoitteiden kohdalla, jäähtymisnopeuden ollessa suuri, kromipitoisuuden kasvattaminen lisää amorfisuustaipumusta. [2,3,4]

Käytettäessä alumiini-seostusta, riittävän suuri alumiinipitoisuus on tärkeää FeAl-materiaalien korroosionsuojaavuuden kannalta.[5] Jos alumiinioksidikerroksen suojaavuus on puutteellinen, pääsee rikki tunkeutumaan sen läpi ja johtaa erittäin suureen korroosionopeuteen. Jos käytetään alle 5 % alumiinipitoisuutta päädytään helposti yhtenäisen sulfidikerroksen kasvamiseen materiaalin pinnalle. FeAl-seoksien, jotka sisältävät 5–10 paino-% alumiinia, on raportoitu omaavan erittäin hyvän

rikkikorroosion keston rikkipitoisessa ympäristössä ($0.1\%H_2S-3.0\%H_2-Ar$ $600^{\circ}C$, 50 h). Tarvittavan alumiinipitoisuuden, jolla voidaan merkittävästi pienentää FeAl-seoksen korroosiokestävyyttä 100 % H_2S :ssa on havaittu olevan noin 10 % 600 ja $700^{\circ}C$:ssa ja hieman matalampi $400^{\circ}C$:ssa [6]. Kuitenkin on havaittu, että noin 3–5% Al lisäys Fe–17Cr seoksen saa aikaan parantuneen rikkikorroosionkeston. Tästä suurempi alumiinipitoisuuden lisäys, lisää rikkikorroosionkestoja vielä enemmän $800^{\circ}C$:ssa. Suuremmilla alumiinipitoisuuksilla (yli 11 %) alkaa muodostua rauta-alumiini yhdisteitä (Fe_3Al or $FeAl$), jotka menestyvät hyvin rikkipitoisissa ympäristöissä. Niillä on myös hyvä hapettumisen kesto korkeissa lämpötiloissa, hiilettymisen kesto ja suolasulankesto. Fe_3Al - tai $FeAl$ -metallien väliset yhdisteet ovat kuitenkin suhteellisen hauraita, joten niiden soveltamiseen on suhtauduttava pienellä varauksella. [7].

Yleisesti ottaen Fe-Cr-Al – pinnoitteilla on suhteellisen hyvä hapettumiskestävyys, mutta ilman kovia partikkeleja niiden eroosiokestävyys jää huonoksi. Eroosiokestävyyden parantamiseksi voidaan lisätä karbidin tai boridien muodostajia. Suhteellisen pitkään on kattiloissa sovellettu kaairuiskutettuja rautavaltaisia materiaaleja (esim. Armacor), joissa on Fe-15–25 % Cr matriisissa kovia Cr-, W- ja boridi-faaseja. Näiden pinnoitteiden suuri lujuus perustuu nanokokoisiin borideihin tai karbideihin. Pinnoitteet ovat usein myös osittain amorfisia. Nytemmin on kehitetty myös täysin amorfisia rautavaltaisia pinnoitteita, joissa mm. wolframi- ja booripitoisuutta on lisätty, mikä edesauttaa pinnoitteen muodostumista amorfiseksi. Amorfisen rakenteen etuna on, että siinä diffuusion oletetaan olevan nopeampaa kuin kiteisissä materiaaleissa. Lisäksi pinnoitteen kovuus on jo ruiskutettuna erittäin suuri, noin 1100 HV. Pinnoitteen kovuus lisääntyy edelleen karbidien ja boridien erkautuessa (kiteytyessä) $600-650^{\circ}C$:n lämpötilassa, mutta tämä ei välttämättä ole suotuisaa korroosiokestävyyden kannalta ”matriisiin” köyhtyessä kromista. [8,9,10,11]

2.3.2 Nikkelivaltaiset pinnoitteet

Nikkelivaltaisia materiaaleja kuten NiCr, NiAl, NiCrAl ja NiCrSi käytetään yleensä komponenteissa, joissa tarvitaan hyvää kulumiskestävyyttä yhdistettynä hapettumis- ja korroosionkestoon. [2,3,4]. Näidenkin materiaalien suojaavuus perustuu suojaavan oksidikerroksen syntymiseen. Nikkelivaltaiset materiaalit seostettuna noin 20 %:a kromia kestävät hapettumista tyypillisesti $800^{\circ}C$:een saakka. Lisäksi Ni-Cr –seosten lämpölaajenemiskertoimet ovat hyvin lähellä teräksiä. Tunnettuja seoksia ovat esim.

Inconel 625 ja Ni20%Cr. Kirjallisuudesta voidaan löytää muutamia erilaisia lähestymistapoja, joilla parannetaan nikkeli-valtaisten seosten korroosio- ja eroosiokestävyyttä kattilasovelluksiin, joista erityisesti suuren kromipitoisuuden omaavat Ni-seokset ja nikkeli-valtaiset sulautuspinnoitteet ovat potentiaalisimpia. [8,12,13,14]

Korkean kromipitoisuuden materiaalit (aina 50 %:iin saakka) on todettu olevan yksi parhaista materiaaleista kloridi- ja rikkikorroosiota vastaan. Kromioksidikerros on suojaava ja uudistuskykyinen, eikä rikkikorroosio pääse etenemään oksidikerroksen läpi. Matalakromisilla seoksilla, kuten Inconel 625, on kromioksidin suojaavuuden kanssa ongelmia erityisesti lämpötiloissa, joissa suolasulia pääsee muodostumaan [15]. NiCr-pohjaisten materiaalien suolasulan kestävyyttä voidaan parantaa seostamalla niihin oksidia stabiloivaan seosainetta, esim. alumiinia tai piitä (NiCrAl, NiCrBSi, NiCr-MoBSi), jolloin oksidikalvon liukeneminen sulaan vaikeutuu. Korkeampikromisilla nikkeliseoksilla on havaittu, että yli 550 °C:n lämpötiloissa ja suurilla kloridipitoisuuksilla pinnoitteeseen syntyvä kromioksidi ei ole suojaava ja lisäksi kromin on todettu olevan suhteellisen herkkä aktiiviselle korroosiolle esim. rautaan ja nikkeliin verrattuna, jolloin kloridi pääsee hyökkäämään pinnoitteiden lamellirajoja pitkin syvemmälle pinnoitteeseen. Vastaavasti voidaan olettaa olevan rikkin tapauksessa [8,12]

Pinnoitteiden tiiveyttä voidaan parantaa sulautuskäsittelyllä, jossa tyypillisesti NiCrBSi-seos lämpökäsitellään tiiviiksi. Pii- ja booriseostuksen vaikutuksesta pinnoitteen sulamisalue voidaan laskea merkittävästi alle putkiteräksen, jolloin pinnoite voidaan lämpökäsitellä noin 1100 °C puuroalueella täysin tiiviiksi rakenteeksi. Sulautuspinnoitteiden kovuutta voidaan lisätä esimerkiksi W, Cr ja hiili seostuksella, jolloin seokseen erkautuu sulautuskäsittelyn yhteydessä karbideja. [16]

2.3.3 Kaupalliset pinnoitemateriaalit

Ruiskutusmateriaalien valmistajien kattilamateriaaleiksi tarjoamat vaihtoehdot sekä muut mahdollisesti potentiaaliset materiaalit on koottu taulukkoon 2-1, jossa kattilamateriaalit on luokiteltu karkeasti eroosiosuojamateriaaleihin tai korroosiosuojamateriaaleihin. Taulukkoon on haettu jauhevalmistajien esitteistä sellaisia materiaaleja, joiden sovelluskohteiksi on mainittu joko kattilasovellukset tai hapettumisen kesto.

Taulukko 2-1. Joitain esimerkkejä termisen ruiskutuksen materiaalitoimittajien tarjoamista kattilamateriaaleista.

Materiaali-ryhmä	Koostumus	Valmistaja	Nimike	Pinnoitus-prosessi	Olosuhde
Fe-valtaisia					
Fe-Cr-Al	Fe-20-25Cr-4-6Al	Kanthal	SW 010	Kaariruisku	Korroosio
Fe-Cr	Fe 29Cr 3.7B 1.7Mn 1.4Si	Praxair	95 MXC	Kaari	Eroosio-korroosio
Fe-Cr (amorphous)	Fe-25Cr-15Mo-5B-5W-2C-2Si	Nanosteel	SHS 7150	Kaari	Eroosio-korroosio (Biomassa kattila)
Fe-Cr (amorphous)	Fe-30Cr-10Mo-5B-4W-2C-2Mn-2Si	Nanosteel	SHS 7174	Kaari	Eroosio (SFBC kattila)
Fe-Cr (amorphous)	Fe-22Cr-5B-5Mo-5Nb-2C-1Mn-1Si	Nanosteel	SHS8000	Kaari	Eroosio-korroosio
Fe-Cr (amorphous)	Fe-25Cr-20Mo-10W-5B-5Mn-3C-2Si	Nanosteel	SHS7574	HVOF	Korroosio Cl-ympäristö
Ni-valtaisia					
Ni-20Cr	Ni20Cr	Höganäs	1616-02	HVOF	Korroosio
Ni-50Cr	50Ni49Cr1Fe, Ni50%Cr	Praxair Sulzer Metco	1260F, Amdry 350C	HVOF	Korroosio
Ni-Cr (Inconel 625)	Ni 21.5Cr 8.5Mo 3Fe 0.5Co	Sulzer Metco	Diamalloy 1005, Metco 8625	HVOF, Kaari	Korroosio
NiCrBSi	Ni 16Cr 4Fe 4B 4Si 2.4Fe 2.4Mo 2.4W 0.5C	Sulzer Metco	Metco 19E	Spray and fuse	Eroosio korroosio
Cr-Ni	Cr-34Ni-7C	Sulzer Metco	SM5241	HVOF	Eroosio-korroosio

2.3.4 Pinnoitemateriaalien valinta

Termisesti ruiskutettujen pinnoitteiden vaurioituminen soodakattilaolosuhteissa tapahtuu usein eri mekanismeilla kuin vastaavan koostumuksen omaavan putkimateriaalin. Tämä johtuu pinnoitteen erityisestä rakenteesta, joka on tyypillisesti jähmettyneistä sulapisaroista muodostunut lamellimainen rakenne. Lisäksi ruiskutuksen aikana metallinen lähtöaine hapettuu pinnaltaan ja happi jää rakenteeseen sulkeumina. Pinnoitteen lamellit eivät ole täydellisesti kiinnittyneitä toisiinsa. Lamellirajat ovat näin ollen pinnoitteiden heikkoja kohtia, jotka vaikuttavat pinnoitteen korroosioikäkäyttymiseen. Pinnoitemateriaalin ja ruiskutusmenetelmän valinnalla voidaan merkittävästi vaikuttaa pinnoitteen sisäiseen vaurioitumisnopeuteen ja korroosiokestävyyteen. Ruiskutettu pinnoitteen vaurioituminen voi tapahtua seuraavasti [17]:

- Pinnoitteen hapettumisesta, rikkikorroosiosta ym. ympäristöaltistuksesta aiheutuu pinnoitteen sisäinen vaurioituminen. Korroosio keskittyy tyypillisesti lamellirajoille ja voi avata reitin pinnoitteen läpi.
- Korrodoiva ympäristö pääsee ajan kuluessa kulkeutumaan pinnoitteen läpi pinnoitteen ja alustan rajapinnalle, jolloin alustamateriaali alkaa tuhoutua nopeasti. Tämä johtaa pinnoitteen nopeaan irtoamiseen alustalta.

- Pinnoite säröilee lämpötilan muutoksien aiheuttamien jännitystilojen seurauksena.

Edellä mainittujen vaurioiden minimoimiseksi pinnoitemateriaalin valinnan sekä pinnoitusprosessin valinnan merkitys korostuu. Pinnoitemateriaali voidaan esim. helposti valita sellaiseksi, että pinnoite ei vaurioidu pinnastaan hapettumalla ja sisäinen korroosio on pieni. Pinnoitemateriaalin ja alustan välinen lämpölaajenemiskertoimien välinen ero on minimoitava, jotta säröilyltä vältytään. Lisäksi pinnoitusprosesseilla on saavutettava riittävä tiiveys.

On tärkeää huomioda, että pinnoitteen korroosionsuojaavuus on aina kombinaatio valitusta materiaalista ja valmistusprosessista. Tämän vuoksi pinnoitteita ei voida valita pelkästään materiaaliperusteisesti vaan suunnittelussa on huomioitava pinnoiterakenteen erityispiirteiden tuomat muutokset pinnoitemateriaaliin. Pinnoiterakenteiden erityispiirteet, tiiveys ja happipitoisuus, riippuvat suuresti käytetystä pinnoitusprosessista.

Kriittiset tekijät, jotka määrittelevät pinnoitteen korroosionsuojaavuuden ovat:

- Itse pinnoitemateriaalin korroosiokestävyys, johon vaikuttaa valitun pinnoitemateriaalin korroosiokestävyys ko. ympäristössä (koostumus ja oksidikerroksen suojaavuus)
- Pinnoitteen korrodoivien aineiden läpäisevyys, johon voidaan vaikuttaa valitulla prosessilla ja prosessiparametreilla (lamellirajat ja huokoisuus) ja
- Mekaaninen yhteensopivuus (säröily)
- Tärkeimpiä määriteltäviä ominaisuuksia pinnoitteelle ovat adheesio (= tartuntalujuus), huokoisuus, koheesio, lämpölaajenemiskerroin ja paksuus.

Pinnoitusmateriaalien valikoima termisesti ruiskuttamalla on suuri. Korkealämpötilakorroosiota kestävät materiaalit muodostavat suojaavan ja helposti uudistuvan oksidikerroksen materiaalin pinnalle. Oksidikerroksen tulisi olla tiivis ja hyvin kiinnittynyt, jotta se voisi estää korrodoivien elementtien kuten rikin ja kloridin kulkeutumisen läpi vahingoittamaan perusmateriaalia. Tyypillisesti käytetään nikkeli- tai rautavaltaisia seoksia, joissa on korkea kromi- ja/tai alumiinipitoisuus. Termisesti ruiskutettavilla rautavaltaisilla seoksilla kromipitoisuus on tyypillisesti aina 30 %:iin saakka ja nikkeliseoksilla 50 %:iin saakka. Kromi on tärkeä ja kaikkein käytetyin suojaavan oksidin muodostavista alkuainesta. Kromioksidin muodostavia seoksia voidaan käyttää yleisesti ottaen lämpötilavälillä 500–900 °C:ta. Korkeakromisten terästen (yli 25 %) on raportoitu antavan hyvän suojan hapettavissa ympäristöissä ja suojaavan myös sulfaatteja ja sulfideja vastaan. [4, 18].



Pelkistävässä olosuhteissa korkeakromiset materiaalit pystyvät muodostamaan suojaavan kerroksen, joka koostuu kromista, rikistä ja natriumista. Pelkistävässä olosuhteissa tämän kerroksen korroosiokestävyys kasvaa kromipitoisuuden lisääntyessä. [5]

Alumiini on toinen tärkeä oksidin muodostaja. Alumiinioksidia muodostavat FeCrAl-materiaalit ovat myös tyypillisiä hapettumiskestäviä materiaaleja. Niitä käytetään lämpötilavälillä noin 800–1200 °C:ta, jolloin suojaavan oksidikerroksen muodostumiselle on parhaat edellytykset. [19, 20]. Lämpötiloissa alle 600 °C:ta alumiinioksidin muodostajien ongelmana on, että alumiini ei muodosta suojaava corundi-tyyppistä oksidikerrosta [19]. Metastabiileilla alumiinioksideilla on puutteelliset suojausominaisuudet. Matalissa lämpötiloissa alumiinin diffuusio on erittäin hidas eikä suojaava oksidikerrosta pääse muodostumaan. Sen sijaan tyypillistä on tällöin rauta-alumiini-kromi sekaoksidin muodostuminen. [20].

Soodakattiloissa mahdollisia pinnoituskohteita ovat kattilan pohja, seinämäputket ja tulistimet. Kattilan pohjan osalta pinnoitteilla pyritään ehkäisemään säröily- ja pistekorroosio-ongelmia. Pinnoitemateriaaleista on hyviä kokemuksia saavutettu esim. Ni50%Cr seoksella.

Kattilan keski-osan korroosio-olosuhteita ei yleensä pidetä kovin aggressiivisena ja tyypillinen oheneminen on materiaalin hapettumista. Kuitenkin, jos voidaan havaita paikallisia ja pistemäisiä syöpymistä/ohenemista, on esitetty tämän johtuvan tyypillisesti pelkistävien olosuhteiden syntymisestä tai suuren kiintoainepitoisuuden omaavan lipeän poltosta. Pinnoitteita voidaan tällöin soveltaa paikallisesti. Pelkistävät olosuhteet ovat haaste myös korkeakromisille pinnoitteille, joiden suojaavuus perustuu oksidikerroksen muodostumiseen. Pelkistävässä olosuhteissa ei oksidikerroksen muodostumiselle ole luontaisia edellytyksiä, jolloin pinnoitteen tiiveyteen on kiinnitettävä erityisesti huomiota. [5]

Tulistinputkien alueella korroosio-olosuhteet ovat syntyvistä kerrostumista johtuen vaikeita, koska muodostuvat kerrokset saattavat olla sulatilassa. Tulistinalueella erityisesti matalaseosteisia teräksiä voidaan suojata pinnoitteilla. Pinnoitteiden suojaavuus alkalisulfidisulia vastaan on voimakkaasti riippuvainen pinnan lämpötiloista. Vielä alle 500 °C:n alapuolella saavutetaan useillakin pinnoitemateriaaleilla hyvä suojaavuus. Vaihtoehtoisia materiaaleja voivat olla esim. rautavaltaiset runsaskromiset teräkset tai NiCr-seokset.



2.4 Pinnoitteen valmistus

Tämä osio käsittelee ruiskuttamalla tehtyjen soodakattilapinnoitteiden valmistusta paikan päällä (on site) ja verstaalla. Lisäksi se antaa soveltuvia testaustapoja, joiden avulla suoritettu pinnoitustyö voidaan hyväksyä.

Se käsittelee pinnan esikäsittelyä, pinnoituksen suoritusta ja pinnoitteiden luonteenomaisia ominaisuuksia: paksuutta, ulkonäköä ja tarttuvuutta. Lopuksi ohje antaa testausmenetelmiä näiden ominaisuuksien toteamiseksi ja käsittelee vanhan pinnan tarkastusta ja korjausta.

Hankintasopimuksessa tulee määritellä pinnoitettava alue, pinnan paksuus, pinnoitettava materiaali, pinnoitusmenetelmä, pinnoitteen tartuntalujuus alustamateriaaliin ja pinnoitemateriaali. Lisäksi on määriteltävä mahdolliset pinnoitettavan kohteen esikäsittelyprosessit sekä ennen pinnoitusta että sen jälkeen (pesut) ja mahdollinen ulkopuolinen työn valvoja, jolla on tarpeellinen asiantuntemus termisen ruiskutuksen pinnoitteiden ja työn suorituksesta.

2.4.1 Termisellä ruiskutuksella pinnoitettavan pinnan esikäsittely

Termisesti ruiskutettavalla pinnoitteella ei ole perusainetta vastaavaa mekaanista lujuutta, joten putken seinämänpaksuudelle asetetut vaatimukset on varmistettava ennen pinnoituksen suorittamista. Pinnan esikäsittelystä on määritelty standardissa SFS-EN 13507, "Terminen ruiskutus. Metalliosien ja -komponenttien pintojen esikäsittely ennen termistä ruiskutusta" [21]. Pinta tulee puhdistaa kauttaaltaan ja karhentaa sopivalla kuluttavalla rakeella puhaltaen. Puhallusta jatketaan, kunnes pinta on metallinpuhdas ja rakenteeltaan yhtenäinen. Juuri ennen ruiskutusta on pinnan oltava kuiva, eikä siinä saa olla pölyä, rasvaa, NDT-nesteitä ja geelejä, hilsettä, ruostetta tai muita epäpuhtauksia, joihin kuuluvat myös liukoiset suolat. Liukoiset suolat voivat erityisesti vaikeuttaa pinnoitteen tarttuvuutta kattilan pintaan. Vanhoissa kattiloissa on syytä selvittää tarvittava pesuprosessi ennen pinnoitusta, jolla poistetaan aiemmat putkistojen pinnoille kertyneet suolat. Ennen työhön ryhtymistä on myös selvitettävä poistetaanko vanhan pinnoite kokonaan vai vain osittain. Kullakin pinnoittajalla on omat menetelmänsä suolojen ja kemikaalien poistoon, ja ne on syytä yksilöidä ennen työhön ryhtymistä. Kaikissa tapauksissa on puhdistetun pinnan karheus yksilöitävä vertailukappaleilla, joilla on samanlaiset ominaisuudet kuin

työkappaleilla ja jotka on valmistettu osapuolten määrittelemällä tavalla. Ellei muuta ole sovittu, voidaan pinnan puhdistukseen käyttää seuraavia raemateriaaleja:

- Valurautarae, josta hematiitti on erotettu
- Alumiinioksidirae
- Piikarbidirae

Raemateriaalin raekoko on yleensä 0,5–1,5 mm. Olipa puhdistusmateriaali minkä tyyppistä tahansa, sen tulee olla puhdasta ja kuivaa. Varsinkaan se ei saa sisältää liukenevia suoloja. Kun suihkupuhdistuksessa käytetään paineilmaa, on ilman oltava riittävän puhdasta ja kuivaa, jotta raemateriaali tai metallilla ruiskutettava pinta ei likaantuisi. Ilmamäärän tulee olla riittävä siten, että suihkupuhalluksessa suositeltu minimipaine on 6,5 bar käyttöletkun päässä. Edelleen on tarkistettava suihkupuhdistetun pinnan puhdistusaste, niin että se vastaa astetta Sa 3 standardin SFS-EN ISO 8501-1 mukaisesti [22]. Pinnoitettavasta kohteesta on ennen pinnoitusta tarkistettava mahdolliset viat, säröt, kulumat ja perusaineen vahvuus ym., ja ne on ilmoitettava kirjallisesti pinnoituksen tilaajalle. Jos pinnoitettavalla alueella esiintyy säröilyä, on perusohjeena, että kaikki havaittavat on säröt poistettava, ennen kuin pinnoitus voidaan suorittaa. Pinnoituskohteeseen on varattava riittävä määrä valoa, jotta pinnoitettavan kohteen pinnoitus ja silmämääräinen tarkistus voidaan suorittaa vaivatta. Pinnoitettavan kohteen tarkistus tulee suorittaa myös 15° viistolla valolla, jolloin havaitaan mahdolliset poikkeamat pinnan puhdistuksessa. Lisäpuhallusta vaativat kohdat merkitään liidulla. Pinnoitettavan kohteen ilmanvaihto pitää olla riittävä, jotta pinnan puhdistuksessa ja pinnoituksessa syntyneet pölyt voidaan imeä pois.

2.4.2 Pinnoitemateriaali

Pinnoitemetallin tulee täyttää seuraavat vaatimukset: 1) pinnoitemateriaalin koostumuksen pitää olla selvillä kaupanimen lisäksi, 2) samoin tulee olla selvillä pinnoitteen keskeisimmät alkuaineet ja muoto (lanka tai jauhe), 3) kuten myös pinnoitustapa, valokaari- tai HVOF-menetelmä yms. Pinnoitemateriaalien määrittelyssä voidaan käyttää apuna myös standardia SFS-EN 1274, ”Terminen ruiskutus. Ruiskutusjauheiden kemiallinen koostumus ja tekniset toimitusehdot” [23] sekä standardia SFS-EN ISO 14919, ”Terminen ruiskutus. Langat, puikot, ja täytelangat liekki ja kaariruiskutukseen. Tekniset toimitusehdot.” [24].

2.4.3 Terminen ruiskutus

Terminen ruiskutus voidaan aloittaa puhdistetussa osassa, kun tilaaja on hyväksynyt edellä mainitun pinnan esikäsitteilyn. Termiäinen ruiskutus tulee tehdä pian sen jälkeen, kun pinta on esikäsitelty suihkupuhdistamalla niin, että metalli ruiskutetaan valmisteltuun pintaan, joka on vielä puhdas ja kuiva eikä näkyvästi hapettunut. Käytettävissä oleva aika tulee pitää mahdollisimman lyhyenä, kuitenkin enintään 4 tuntia paikallisten olosuhteiden mukaan. Ruiskutusta ei saa tehdä olosuhteissa, joissa tapahtuisi kondensoitumista ruiskutettavalle pinnalle, ja pinta tulee pitää kastepistettä korkeammassa lämpötilassa. Termistä ruiskutusta suoritettaessa tulee teräksen lämpötilan olla ainakin 3 °C kastepisteen yläpuolella, jotta välttyttäisiin tartunnan heikkenemiseltä perusmateriaaliin. Pinnoitettavan alueen esilämmitys ennen pinnoitusta on suositeltavaa tehdä 70–80 °C lämpötilaan. Tällä estetään ruiskun palotuotteiden kondensoituminen pinnalle sekä pienennetään pinnoitteeseen syntyvää vetojännitystilaa. Mikäli pinnoitettava pinta on hapettunut tai likaantunut, tulee sen esikäsitteily uusia. Ruiskutuksen pyyhkäisyjen tulee tapahtua pääsääntöisesti kohtisuorassa putkistojen pintaan nähden. Lisäksi ruiskutuspyyhkäisyjen tulee olla putkistojen pituusakselin suuntaisia. Tällöin vältetään mahdollisimman paljon viiston ruiskutuksen aiheuttamaa varjostusvaikutusta.

2.4.4 Sulautuvien seosten ruiskutus

Niin kutsutut sulautuspinnoitteet ovat yksi termisesti ruiskutettujen pinnoitteiden erikoismenetelmä. Siinä ruiskutus tehdään liekkiruiskulla ja jälkikäsitellään kuumentamalla materiaali noin 1100 °C:een joko liekillä tai uunissa. Sulautusmateriaalien seosaineina on käytetty piitä ja booria, joka laskee materiaalin sulamislämpötilaa alle perusmateriaalin sulamispisteen. Muodostuva pinnoite tiivistyy lämpökäsittelyn seurauksena täysin tiiviiksi ja poistaa termisesti ruiskutetulle pinnoitteelle tyypillisen lamellirakenteen. Tästä on usein etua korroosiota vastaan. Menetelmä soveltuu parhaiten suoritettavaksi ruiskutusajalla. Pinnoitusohjeena voidaan käyttää Standardia SFS-EN ISO 14920, ”Terminen ruiskutus. Sulautuvien seosten ruiskutus ja sulautus” [25].

2.4.5 Vaaditut ominaisuudet ja pinnoitteen testausmenetelmät

Termisesti ruiskutetuille pinnoitteille voidaan tehdä hyvin vähän yksikäsitteisiä laadun mittauksia. Tällaisia ovat pinnoitteen tartunta alustaan, vetotestit, kemiallinen analyysi sekä abraasio- ja eroosiokulumistestit sekä pinnoitteen paksuus ja pinnoitettu pinta-

ala. Mikrorakenteeseen liittyvät seikat, kuten oksidit, huokoiset sulamattomat partikkelit ja karbidien määrä, ovat laboratoriotutkimuksissa vielä kiistanalaisia asioita. Samoin pinnoitteiden kemiallinen kestävyys soodakattilaolosuhteissa voi olla vaikeasti selvitettävissä. Käytännössä pinnoitteiden ominaisuuksia voidaan testata soodakattilassa.

2.4.6 Pinnoitteen ulkonäkö

Pinnoitteen tulee olla tasalaatuinen ilman kuplia tai paljaita alueita, eikä siinä saa olla tarttumaton metallia tai vikoja, jotka voivat olla haitallisia pinnoitteen kestävyydelle tai suojapinnoitteen tarkoituksenmukaiselle käytölle. Epäonnistuneessa kaariruiskutuksessa vikoina voidaan pitää pinnoitelangan pätkiä, pinnan epätasaisuutta ja ylipaksuuteen pinnoitettuja kattilan osia. Ulkonäköä voidaan verrata pinnoittajan toimittamaan vertailupalaan, joka on riittävän suuri, (300*300*10 mm).

2.4.7 Tartunta

Pinnoitteen ja perusaineen tartunta voidaan mitata ennen tilaamista koekappaleella standardin SFS-EN 582: ”Terminen ruiskutus. Vetotartuntalujuuden määrittäminen” [26] mukaisesti. Standardin mukainen testi tehdään erillisille Ø 25 tai 40 mm oleville kiekkoille. Kiekko liimataan tartuntasauvojen väliin ja vedetään vetokoneesta irti. Tällöin voidaan määritellä pinnoitteen tartunta alustamateriaaliin. Pinnoittaja saa tehdä koekappaleen vapaasti kattilassa käytettävillä aineilla ja pinnoitusmenetelmillä. Levyyn tehdyt vetonäytteet antavat yleensä paremmat tartuntalujuudet kuin putkistoon tehdyt pinnoitteet. Suositeltavan pinnoitteen tartuntalujuuden tulisi olla vähintään $> 25 \text{ N/mm}^2$. Hyvä tartunta-alusta materiaaliin kertoo usein onnistuneesta pinnoituksesta. Parhaiden liimojen vetolujuus on tyypillisesti 80–100 MPa, jonka parhaimpien pinnoitteiden tartuntalujuudet saattavat ylittää. Mikäli vetokokeen lopussa ei ilmene pinnoitteen irtoamista perusmateriaalista ennen sovittua murtolujuutta, katsotaan pinnoitteen läpäisseen tyydyttävästi tarttuvuuskokeen. Pinnoitteen tartunnalle voidaan tehdä myös tarkistusmittauksia pinnoituksen aikana, mistä on syytä sopia testaajan kanssa erikseen.

2.4.8 Paksuuden mittaus

Pinnoitteen paksuuden mittaukseen voidaan käyttää kaarimikrometriä tai sähköisiä mittamenetelmiä. Putkimaisia kappaleita mitattaessa on edellä mainitulla haastavaa



saavuttaa luotettavaa tulosta. Paksuuden mittaukset onkin suositeltavaa tehdä magneettisella tai pyörrevirtamenetelmällä. Magneettisten mittausten etuna on, että ne ovat ainetta rikkomattomia, nopeita ja ne voidaan tehdä suoraan mistä tahansa tarkastettavan pinnan kohdasta. Paksuuden mittauksia voidaan tehdä useita satoja kertoja pinnoituskohteesta ja jopa pinnoituksen aikana. Pinnoitteen paksuutta mitattaessa tulee sopia ennen pinnoitusta, millä asteikolla pinnoitteen paksuudet tarkistetaan, koska paksuus voidaan mitata mikrometreinä tai tuhannesosatuuminä. Tuumamittaus voi aiheuttaa metriseen järjestelmään tottuneella sekaannusta. Mittalaite kalibroidaan koepalaan, joka on pinnoitettu samalla materiaalilla, jota kattilan pinnoituksessa käytetään. Paksuuden tarkistuksesta on laadittava pinnoitteen paksuuskartta, jonka pinnoitteen ostaja saa.

Mikroskooppinen tarkastus poikkileikkauksesta tehdään kontrollipinnoitteille. Tällöin pinnoitteista katsotaan yleinen rakenne, pisarakoko, sulamattomat partikkelit, huokoset, oksidit sekä pinnoitteen ja perusmateriaalin rajapinta. Menetelmä on tuloksiltaan subjektiivinen, ja ne ovat riippuvaisia käytetystä materiaalista, ruiskutusparametreista ja -menetelmästä. Mikroskooppitarkastelun ei voi katsoa soveltuvan ensisijaisesti määrittämään pinnoitteen laatua. Mikroskooppisia näytteitä otetaan ensisijaisesti koekappaleista. Mikroskooppinen tarkastusmenetelmä on ainetta rikkova testi, jolloin se soveltuu hankalasti jo pinnoitetun kappaleen ominaisuuksien tutkimiseen. Mahdollisissa vauriotapauksissa voidaan kuitenkin ottaa ruiskutetun kattilan pohjasta 10 -senttisen kokoisia näytteitä ja tehdä niistä rakennetutkimus.

2.4.9 Vanhojen pinnoitteiden tarkastus ja pintojen korjaus

Kattilan seisokkien aikana on syytä tarkastaa pinnoitteiden kunto, jolloin tarkastetaan ensisijaisesti mahdolliset pinnoitteiden vauriot. Silmämääräisesti havaittavia vauriota ovat pinnoitteen irtoaminen sekä mahdolliset korroosio- ja painepesuvauriot. Mikäli havaitaan pinnoitteen irtoamista, voidaan alustavasti tutkia pinnoitteen kiinnipysyvyyttä piikkaamalla pinnoitetta pois vauriokohdan ympäristöstä. Piikkaus tehdään pienellä taltalla ja vasaralla vaurioittamatta putkistoa. Jos pinnoite lähtee helposti putkiston päältä ja sen alla on korroosiotuotetta, on syytä ryhtyä laajempiin jatkotarkastuksiin. Samoin jos pinnoite irtoaa painepesussa, on syytä olettaa, ettei se ole hyvin kiinni alustassaan. Jos vanha pinnoite irtoaa helposti alustasta, on siinä usein jokin piilevä vika, josta on syytä raportoida pinnoittajalle. Mahdollisten vikojen korjausprosessi on selvitettävä ennen työn aloitusta pinnoittajan kanssa. Käytännössä



pinnoitteen korjaaminen on hyvin hankalaa koska korjaus pidentää seisokkiaikaa (korjauksen aiheutuu melua/pölyä/myrkyllisiä kaasuja jolloin muiden töiden tekeminen kattilassa on vaikeaa).

2.4.10 Manipulaattorin käyttö pinnoituksessa

Tilaajien kireät pinnoiteruiskutuksen aikatauluvaatimukset aiheuttavat usein kiirettä itse työssä. Tämän vuoksi vaikeissa työskentely olosuhteissa pinnoituksen tasalaatuisuus voi olla vaikea aikaansaada. Pinnoitteen tasaisen laadun kannalta on tärkeää, että laajoilla pinnoilla käytetään manipulaattorilevitystä (kauko-ohjauksella tai yksinkertaisella ohjauksella varustettu automaattinen käsittelylaite), joka takaa tasaisemman pinnoitteen laadun.

Käsiruiskutuksen voi jättää tällöin vaikeammin suoritettaviin kohteisiin, kuten nurkkiin, seinämille tai yksittäisiin putkiin.

2.5 Yhteenveto

Termisesti ruiskutettavilla pinnoitteilla voidaan suojata soodakattilaputkimateriaaleja korroosiolta. Pinnoitettavia kohteita soodakattiloissa ovat yleensä a) ”mustan” ja compound-putken raja, jossa pinnoitteella estetään galvaanista korroosiota b) tulistinputkien mutkat, joissa pyritään estämään hapettumisen ja korroosion kautta tapahtuvaa ohenemista ja c) paikalliset compound-putkien säröytymien korjaus. Tyypillisesti käytettyjä materiaalivevaihtoehtoja ovat erilaiset NiCr-seokset tai rautavaltaiset runsaskromiset seokset. Tilattaessa kattilan pinnoitusta on hyödyllistä ensin määritellä seuraavat asiat: pinnoitettava alue, pinnan esikäsittelyt, pinnoitteen paksuus, pinnoitemateriaali, pinnoitusmenetelmä, ja pinnoitteen tartunta. Lisäksi on määriteltävä ja dokumentoitava, kuka suorittaa pinnoituksen aikana työn valvonnan ja hyväksymisen.

2.6 Lähdeluettelo

Kirjalliset lähteet:

1. Davis, J.R. (Ed.). Handbook of Thermal Spray Technology. Thermal Spray Society, ASM International, Materials Park, OH, USA (2004). 338 p.
2. Mohanty, P.S., Roche, A.D., Guduru, R.K. and Varadaraajan, V. Ultrafine Particulate Dispersed High-Temperature Coatings by Hybrid Spray Process. Journal of Thermal Spray Technology, 19(2010)1–2, pp. 484–494



3. Sidhu, T., S. Prakash, S. and Agrawal, R.D. Hot corrosion and performance of nickel-based coatings. *Current science*, 90(2006)1, pp.41–47
4. Crimmann, P., Bendix, D. and Faulstich, M. Investigations on corrosion protective layers in waste incineration plants. Sulzbach-Rosenberg \ D. (2005).
http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/sofos/investigations_incineration_plants_Basel_2005.pdf.
5. Banovic, S.W., DuPont, J.N. and Marder, A.R. High temperature sulfidation behavior of low Al iron-aluminum compositions. *Scripta Materialia* 38(1998)12, pp. 1763–1767.
6. Uusitalo, M.A., Vuoristo, P.M.J. and Mäntylä, T.A. High temperature corrosion of coatings and boiler steels below chlorine-containing salt deposits. *Corrosion Science* 46 (2004), pp. 1311–1331
7. Tortorelli, P.F., DeVan, J.H., Pint, B.A., Wright, I.G. and Saunders, S.R.J. High-temperature corrosion behaviour of iron-aluminide alloys and coatings. *Proc. Fossil Energy Materials Conf.*, May 1995.
8. Uusitalo, M.A., Vuoristo, P.M.J. and Mäntylä, T.A. Elevated temperature erosioncorrosion of thermal sprayed coatings in chlorine containing environments. *Wear* 9069(2002), pp. 19.
9. Totemeier, T.C., Wright, R.N. and Swank, W.D. Microstructure and Stresses in HVOF Sprayed Iron Aluminide Coatings. *Journal of Thermal Spray Technology* 11(3), September 2002, pp. 400–408.
10. Wang, B.Q. and Seitz, M.W. Comparison in erosion behavior of ironbase coatings sprayed by three different arcspray process. *Wear* 250 (2001), pp. 755–761.
11. Branagan, D.J., Breitsameter, M., Meacham, B.E. and Belashchenko, V. High-performance nanoscale composite coatings for boiler applications. *Journal of Thermal Spray Technology* 06/2005, Vol. 14, No. 2, pp. 196–204.
12. Hidalgo, V. Higuera, Varela, J. Belzunce, Menéndez, A. Carriles, Martinez, S. Poveda, High temperature erosion wear of flame and plasmasprayed nickelchromium coatings under simulated coalfired boiler atmospheres. *Wear* 247 (2001), pp. 214–222.
13. Uusitalo, M.A., Vuoristo, P.M.J. and Mäntylä, T.A. High temperature corrosion of coatings and boiler steels in oxidizing chlorinecontaining atmosphere. *Materials Science and Engineering A346*(2003), pp. 168–177.
14. Zanchuk, W. The use of tafaloy 45CT, an Ni-Cr-Ti alloy, as an arc sprayed corrosion barrier in high temperature sulfurous environments. *Surface and Coatings Technology*, Vol. 39–40, Part 1, 1 December 1989, pp. 65–69, 16th International Conference on Metallurgical Coatings.
15. Zahrani, E.M. and Alfantazi, A.M. Molten Salt Induced Corrosion of Inconel625 Superalloy in PbSO₄-Pb₃O₄-PbCl₂-Fe₂O₃-ZnO Environment. To be published in *Corrosion Science* (2012).



16. Heath, G.R., Polak, R., Tsujita, T. and Gustafsson, S. Roel of Thermal Spray Coatings in Boilers; development of Reliable Spray and Fuse Coatings for Boiler Protection. NTSC, 7-11 October, 1996, Cincinnati, Ohio.
17. Heath, G.R., Heimgartner, P., Irons, G, Miller, R. and Gustafsson, S. An Assessment of Thermal Spray Coating Technology for High Temperature Corrosion Protection.
http://web.castolin.com/wCastolin_com/pdf/publications/essai7.pdf
18. Mayoral, M.C., Andres, J.M., Belzunce, J. and Higuera, V. Study of sulphidation and chlorination on oxidized SS310 and plasma-sprayed Ni-Cr coatings as simulation of hot corrosion in fouling and slagging in combustion. Corrosion Science 48(2006)6, pp. 1319–1336
19. Lai, G. High Temperature Corrosion and Materials Applications. ASM International, Ohio, USA 2007. P. 461.
20. Grabke, H.J. Surface and interface segregation in the oxidation of metals. Surface and Interface Analysis 30(2000)1, pp. 112–119
21. SFS-EN 13507. Terminen ruiskutus. Metalliosien ja – komponenttien pintojen esikäsittely ennen termistä ruiskutusta. Suomen standardisoimisliitto (2001).
22. SFS-EN ISO 8501-1. Teräspintojen esikäsittely ennen pinnoitusta maalilla tai vastaavilla tuotteilla. Pinnan puhtauden arviointi silmämääräisesti. Osa 1: Teräspintojen ruostumisasteet ja esikäsittelyvasteet. Maalaamattomat teräspinnat ja aiemmista maaleista kauttaaltaanpuhdistetut teräspinnat (2007).
23. SFS-EN 1274, Terminen ruiskutus. Ruiskutusjauheiden kemiallinen koostumus ja tekniset toimitusehdot. Suomen standardisoimisliitto (2005)
24. SFS-EN ISO 14919. Terminen ruiskutus. Langat, puikot, ja täytelangat liekki ja kaariruiskutukseen. Tekniset toimitusehdot. Suomen standardisoimisliitto (2002).
25. SFS-EN ISO 14920. Terminen ruiskutus. Sulautuvien seosten ruiskutus ja sulautus. Suomen standardisoimisliitto (1999).
26. SFS-EN 582. Terminen ruiskutus. Vetotartuntalujuuden määrittäminen. Suomen standardisoimisliitto (1994).

Suulliset lähteet:

Henkilökohtainen tiedonanto, Tapio Huuska, Metsä Fibre Oy, Kemin tehdas, 2012.

Henkilökohtainen tiedonanto, Martti Hirttiö, Metsä Fibre Oy Äänekosken tehdas, 2012.

Henkilökohtainen tiedonanto, Lauri Mattila, UPM-Kymmene, Oyj, Pietarsaaren tehtaas, 2012.

Henkilökohtainen tiedonanto, Juha Rintala, Telatek Oy, 2012.



Henkilökohtainen tiedonanto, Rauno Karvinen, UPM Kymmene Oy, 1997.

Henkilökohtainen tiedonanto, J. Tenkula, Telatek Oy, 1997.



3 PAINEASTIAN KORJAUKSET

Alkuperäinen teksti: Kalle Salmi, Kvaerner-Pulping Oy

Päivitetty teksti: Kestoisuustyöryhmä

3.1 Yleistä

Soodakattilan käyttövarmuuden ja käyttöturvallisuuden ylläpitämiseksi on tehtävä korjauksia, joiden sisältö ja laajuus ovat etukäteen tiedossa. Tämän lisäksi tulee sellaisia yllättäviä tilanteita, joissa paineastia joudutaan korjaamaan ilman ennakoivaa tarkempaa suunnittelua. Esimerkiksi paineastian vuotovauriotapaukset ovat tällaisia. Tähän kappaleeseen on kerätty laeista, asetuksista ja muista määräyksistä paineastian korjausta käsitteleviä ohjeita sekä käytännössä esiin tulleita asioita.

Asiakirjat, joihin tässä kappaleessa viitataan, ja muut paineastioita käsittelevät ohjeet ja standardit, muuttuvat edelleen kehityksen seurauksena kohtuullisen nopealla aikataululla. Tekstiin on pyritty lisäämään linkkejä internetsivuille joilta voi ladata viimeisimmät versiot ohjeista/standardeista.

3.2 Oppaat

TUKES on julkaissut seuraavia oppaita liittyen painelaitteisiin:

Painelaiteopas:

http://www.tukes.fi/Tiedostot/painelaitteet/esitteet_ja_oppaat/painelaiteopas.pdf

Painelaitteiden kunnossapito:

http://www.tukes.fi/Tiedostot/painelaitteet/esitteet_ja_oppaat/painelaite-kunnossapito-opas.pdf

Painelaitteiden määräaikaistestaukset:

http://www.tukes.fi/Tiedostot/painelaitteet/esitteet_ja_oppaat/Painelait.mraikaist.pdf

Painelaiterekisteri P1-2002

<http://www.tukes.fi/Tiedostot/painelaitteet/direktiivit/P1-2002.doc>

Painelaitteiden seuranta P1-2000

<http://tukes.fi/fi/Palvelut/Tukes-ohjeet/3Painelaitteet/P2-00-Painelaitteiden-kunnonvalvonta/>

Painelaitteiden kunnonvalvonta P2-2000

Painelaitedirektiivin soveltamisohjeita:

http://www.tukes.fi/Tiedostot/julkaisut/3_2009.pdf

3.3 Lait ja asetukset

[Painelaitedirektiivin \(97/23/EY\)](#) velvoitteet on julkaistu Suomessa [painelaitelaissa \(869/1999\)](#) ja [kauppa- ja teollisuusministeriön päätöksessä painelaitteista \(KTMp 938/1999\)](#). Päätös (938/1999) sisältää painelaitedirektiivin menettelyt painelaitteiden ja laitekokonaisuuksien suunnittelulle, valmistukselle ja vaatimustenmukaisuuden arvioinnille. Painelaitedirektiivin soveltamisalueen ulkopuolelle jäävät painelaitteita koskevat määräykset, kuten painelaitteen käyttö, korjaukset, muutostyöt ja asennus, on julkaistu [kauppa- ja teollisuusministeriön päätöksessä painelaiteturvallisuudesta \(KTMp 953/ 1999\)](#).

Painelaite tarkoittaa säiliöitä, putkistoja, varolaitteita ja paineenalaisia lisälaitteita. Painelaitteiden osiksi luetaan tarvittaessa myös paineenalaisiin osiin kiinnitetyt osat kuten laipat, yhteet, liittimet, nostokorvakkeet jne. Laitekokonaisuus tarkoittaa valmistajan yhtenäiseksi ja toiminnalliseksi kokonaisuudeksi kokoamia useita painelaitteita. Säädöksiä sovelletaan painelaitteisiin ja laitekokonaisuuksiin, joiden suurin sallittu käyttöpaine (PS) on yli 0,5 bar.

Painelaitelain mukaan painelaite on rakennettava ja sijoitettava ja sitä on hoidettava, käytettävä ja tarkastettava niin, ettei se vaaranna kenenkään terveyttä, turvallisuutta tai omaisuutta. Painelaitteen markkinoille saattajan, esimerkiksi valmistajan tai maahantuojan, on voitava osoittaa, että painelaite sekä sen suunnittelu ja valmistus täyttävät säädetyt vaatimukset. Vaatimustenmukaisuuden arviointimenettelyt perustuvat moduuleihin (A, ...H1, G), jotka on esitetty [KTM:n painelaitepäätöksen \(938/1999\) liitteessä III](#).

Useimmissa painelaitedirektiivin mukaisissa painelaitteissa vaaditaan CE-merkintä osoituksena vaatimusten täyttymisestä. Vaarattomimpiin painelaitteisiin ei tule CE-merkintää.

Painelaitesäädösten vaatimuksia on tarkemmin kuvattu TUKESin julkaisemassa [painelaitteoppaassa](#).

3.4 Hitsauksen laatu

Standardit [SFS-EN ISO 3834-2](#), ["Hitsauksen laatuvaatimukset. Metallisten materiaalien sulahitsaus. Osa 2: Kattavat laatuvaatimukset"](#) ja [SFS-EN ISO 17663](#), ["Hitsaus. Hitsauksen ja sen lähiprosessien yhteydessä suoritettavan lämpökäsittelyn laatuvaatimukset"](#) ovat hyviä apuvälineitä sekä valmistavassa että korjaavassa



hitsauksessa laatutoimintojen hallintaan. Standardi täydentää hitsaavan yrityksen mahdollisesti olemassa olevaa laatujärjestelmää.

3.5 Hitsaajan pätevyystodistukset

Korjaustyötä tekevällä hitsaajalla on oltava voimassa oleva pätevyyskoe, joka on teräksille standardin [SFS-EN ISO 9606-1](#) mukainen.

3.6 Hitsausohjeet

"Hitsausohjeita tarvitaan hitsauksen aikana hitsaustöiden suunnittelun perustaksi sekä laadun valvontaan. Hitsaus katsotaan erikoisprosessiksi laatujärjestelmästandardien terminologiassa. Laatujärjestelmästandardit edellyttävät yleensä, että erikoisprosessien suorituksessa noudatetaan kirjallisia menettelyohjeita. Hitsausohje (WPS) on asiakirja, joka on hyväksytty jollain seuraavista hyväksymistavoista:

- aikaisempi hitsauskokemus
- hyväksytty/testattu hitsausaine
- menetelmäkoe
- standardihitsausohje
- esituotannollinen koe

ja jossa esitetään vaadittavat hitsausmenetelmän muuttajat toistettavuuden varmistamiseksi tuotantohitsauksessa (otteet standardista [SFS-EN ISO 15607](#)).

Hitsausohjeen käyttäminen luo perustan sille, että hitsi on vaatimusten mukainen, mutta ei sinänsä vielä takaa sitä. Sen käyttö vähentää oleellisesti kuitenkin hitsausvirheitä. Myös lämpökäsittelyä voidaan pitää tällaisena erikoisprosessina, josta pitää olla kirjalliset ohjeet.

Muutamia hitsausstandardeja:

- [SFS-EN 1011](#) osat 1-8 Hitsaus. Metallisten materiaalien hitsaussuosituks
- [SFS-EN 12952-5 Vesiputkikattilat ja niihin liittyvät laitteistot. Osa 5: Paineellisten osien valmistus](#)

3.7 Asennus-, korjaus- ja muutostyöt

Käytössä olevien painelaitteiden asennus-, korjaus- ja muutostöissä sovelletaan [kauppa- ja teollisuusministeriön päätöstä painelaiteturvallisuudesta \(953/1999\)](#).

Asennus-, korjaus- ja muutostyön tekevä toiminnanharjoittaja voi käyttää:

- painelaitteen valmistuksessa aikoinaan hyväksyttyä suunnitelmaa ja hitsausohjetta, jos tarkastuslaitos pitää niitä turvallisina ja ne kattavat työn
- tarkastuslaitoksen riittäväksi katsomallaan menettelyllä hyväksymää hitsausohjetta, jos kyse on yksittäistapauksesta



- uusien painelaitteiden valmistuksessa soveltamaansa vaatimustenmukaisuuden arviointimenettelyä
- päätöksessä (953/1999) annettua vaatimustenmukaisuuden arviointimenettelyä.

Hyväksytty laitos ja omatarkastuslaitos tekevät asennus-, korjaus- ja muutostöihin liittyvät tarkastustehtävät. Pysyvien liitosten menetelmien, niitä tekevien henkilöiden ja rikkomatonta aineenkoetusta tekevien henkilöiden vaatimukset ovat samat kuin uusien painelaitteiden valmistuksessa. Toiminnanharjoittaja antaa tilaajalle asennus-, korjaus- ja muutostyön vaatimustenmukaisuusvakuutuksen. CE-merkinnän vaatimusta ei sovelleta.

Painelaitteen vaihtamiseen kokonaisuudessaan, sen erityisen merkittävään muutostyöhön ja kokonaan uuden putkiston asennukseen sovelletaan yleensä kauppa- ja teollisuusministeriön päätöstä painelaitteista (938/1999). Tällöin painelaitteeseen tulee yleensä myös CE-merkintä.

Korjaustyöhön ja asennukseen liittyy seuraavanlaisia asiapapereita:

- korjaussuunnitelma mahdollisine piirustuksineen, hitsaussuunnitelmineen ja lujuuslaskuineen
- tarkastuslaitoksen päätös korjaussuunnitelman tarkastuksesta ja hyväksynnästä
- materiaaliluettelo käytetyistä aineista
- rakenneainetodistukset
- lämpökäsittelytodistukset
- korjausselostus
- valmistuksen valvojan vakuutus
- hitsaajaluettelo ja heidän pätevyytensä
- NDT-tarkastuspöytäkirjat ja röntgenfilmit
- tarkastuslaitoksen hyväksyntä korjaukselle
- vaatimustenmukaisuusvakuutus

Edellä mainituista asiapapereista jää yleensä yksi kappale paineastian omistajalle ja yksi valmistajalle.

Luontevin toimintatapa on se, että korjauksen toimittaja hoitaa hyväksynnit ja kyseiseen tapaukseen liittyvän dokumentoinnin.

3.8 Painekeo

[Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös \(953/1999\)](#) toteaa paineastian painekokeen suorittamisesta:

”Painelaitteen painekokeessa on todettava, ovatko painelaitteen paineenalaiset seinämät koepaineessa tiiviit ja esiintyykö rakenteessa turvallisuutta vaarantavia



muodonmuutoksia. Kokeen tekemisessä on otettava huomioon painelaitteen valmistajan mahdollinen ohje.

Painekoe on tehtävä nesteellä. Koe voidaan kuitenkin tehdä kaasulla, jos nesteellä tehty painekoe ei rakenteellisista syistä ole kohtuudella mahdollinen tai painelaitteessa ei voida sallia pieniäkään nestemääriä. Koe on tehtävä noudattaen tarpeellista varovaisuutta.

Nestepainekoe on tehtävä vähintään paineella, joka on 1,3 kertaa suurin sallittu käyttöpaine ja kaasupainekoe paineella, joka on 1,1 kertaa suurin sallittu käyttöpaine. Jos erityiset syyt vaativat, tarkastuslaitos voi hyväksyä käytettäväksi muun koepaineen.

Painekoe on tehtävä joka toisen sisäpuolisen tarkastuksen yhteydessä. Koetta ei tarvitse kuitenkaan tehdä painesäiliölle ja putkistolle, joiden sisäpuolisessa tarkastuksessa on voitu riittävästi varmistua rakenteen eheydestä ja lujuudesta. Kokeen poisjättämisen perustelut on esitettävä tarkastuspöytäkirjassa ja kokeen poisjättäminen on arvioitava uudestaan jokaisessa seuraavassa sisäpuolisessa tarkastuksessa.”

3.9 Korjauksen luonne

3.9.1 Ennakkoon valmisteltu korjaus

Normaaleihin huoltoseisokkeihin ajoittuviin paineastian korjauksiin valmistaudutaan yleensä riittävän ajoissa ja riittävän suunnitelmallisesti. Hyvällä etukäteisvalmistelulla ja asiantuntemuksella (toimittajavalinta) saadaan aikaan hyvä lopputulos.

Jos korjauskohde tai -tapa on erityisen vaativa tai poikkeuksellinen (esimerkiksi huono luoksepäästävyys tai harvinainen työtapa), voidaan toimittaja velvoittaa tekemään sellainen työkoe, joka vastaa mahdollisimman hyvin korjausolosuhteita joko konepajaolosuhteissa tai tulevalla työmaalla.

3.9.2 Ennalta arvaamattoman tapahtuman korjaus

Tilanne muuttuu oleellisesti, kun joudutaan korjaustilanteeseen yllättäen joko vaurion tai huoltoseisokkitarkastuksen seurauksena. Tällöin lähes kaikki ennakkovalmistelut ovat tekemättä. Tällöinkin pitää muistaa lait ja asetukset sekä työturvallisuus. Laitoksilla tulisi olla kattilan jokaiseen eri lämpöpintaan kohtuullinen määrä sellaista



varaosaputkea, jolla voidaan korvata vanhaa ja mahdollisesti vaurioitunutta putkea. Yleensä lämpöpintaputki voidaan vaihtaa parempaan (lujempaan) samoilla ulkohalkaisijadimensiolla ja/tai paksummalla seinämällä olevaan putkeen. Yleisesti ottaen voidaan todeta, että hitsaustyö vaikeutuu ja lämpökäsittely on mahdollisesti tarpeellinen, kun mennään lujempiin ja/tai runsaasti seostettuihin teräksiin. Kattilan käyttäjillä tulisi olla yhteystiedot kattilan toimittajaan, jolloin on mahdollista saada asiantuntevaa teknistä apua ja mahdollisesti materiaaleja kussakin tapauksessa.

Vauriotapauksissa, korjausseisokin aikana, tulisi kiinnittää huomiota niihin tekijöihin, jotka ovat mahdollisesti vaikuttaneet vaurioon. Dokumentointi, esimerkiksi valokuvat, tarkastusraportit ja silmämääräiset havainnot tapahtumapaikalta antavat usein selvyyttä vaurion syistä. Syiden selvitys on tärkeää siksi, että voidaan mahdollisesti poistaa vaurion aiheuttaja tai oleellisin syy, joka on johtanut vaurioon.

3.9.3 Hitsauksen korjaus

Yleisperiaatteena voidaan pitää sitä, että hitsiä voidaan korjata hitsaamalla kaksi kertaa, jos kyseessä on pienehkö hiomalla avattavissa oleva hitsausvirhe. Poikkeuksena valmiiksi hitsatun compound-putken päittäisliitoshitsi, jota ei voi korjata luotettavasti materiaalien sekoittumisen takia.

Korjaushitsauksessa pitää käyttää samaa alkuperäisen hitsin aikaansaamiseksi käytettyä hitsausohjetta. Mikäli ajaudutaan sellaiseen tilanteeseen, jossa lämpöpintaputken hitsi ei täytä laatukriteereitä kahdella korjauskerralla, on perusteltua katkaista alue pois ja asentaa tilalle uusi putki. Tällainen tilanne saattaa helposti syntyä esimerkiksi silloin, kun hitsisulaan tipahtaa kattilassa olevia suoloja. Myös silloin, kun särö on edennyt hitsialueella lämpöpintaputken seinämän läpi, on hyvän lopputuloksen kannalta varmempaa katkaista kyseinen putki vaurion kohdalta, jotta tarkastuksessa on helpompi löytää kaikki mahdolliset särön haarat.

Pintatarkastuksissa esiin tulleet näyttämät hitsin ja perusaineen liittymässä voidaan useasti poistaa pyöreällä viilalla, kunhan varmistetaan, että kyseessä on pienehkö reunahaava tai jyrkkä palon liittymä. Hiontaa/viilausta pitää jatkaa niin pitkälle, että näyttämät poistuvat. Pyöristämisellä saadaan aikaan myös jouhea jännitysjakautuma, jolloin väsymissärön liikkeelle lähtö ei tapahdu niin helposti kuin terävpohjaisesta urasta.



Jos hionta- tai viilaussyvyys hitsin liittymässä perusaineeseen on niin suuri, että sen perusteella voidaan päätellä näyttämän olevan muuta kuin pelkkä hitsausvirhe, on se merkki jostakin merkittävämmästä ilmiöstä. Kyseessä saattaa tällöin olla materiaalin väsyminen ja väsymissärö. Jotta syy väsymiseen pystytään selvittämään, tulisi tehdä vähintään silmämääräisiä tarkistuksia ympäristöstä, jotta nähdään esimerkiksi sidontojen kunto ja niiden osuus vauriossa.



4 SOODAKATTILATARKASTUKSET

Alkuperäinen teksti: Esa Ilves, Keskeytysvakuutusosakeyhtiö Otso

Päivitetty teksti: Inspecta Oy

4.1 Yleistä

Tämä suositus on tarkoitettu käynnissä oleville laitoksille. Valmistuksessa ja korjauksissa toimitaan tuotestandardien mukaisesti ([Vesiputkikattila SFS-EN 12952, jne.](#)).

Määräaikaista vaatimukset tulevat kauppa- ja teollisuusministeriön [päätöksestä painelaiteturvallisuudesta 953/1999](#). Päätöksen mukaan vähimmäisvaatimus on joka toinen vuosi käyttötarkastus, neljän vuoden välein sisäpuolinen tarkastus ja kahdeksan vuoden välein painekoe. Osa määräaikaistarkastuksista voidaan korvata hyväksytyn laitoksen tarkastuskohdetta varten vahvistamalla kunnonvalvontajärjestelmällä, jos se vaikutukseltaan vastaa määräaikaistarkastusta. Kunnonvalvontajärjestelmästä on TUKES julkaissut ohjeen P2-2000.

Tämä suosituksen lähtökohtana on, että soodakattilalle tehdään tarkastuksia jokaisessa huoltoseisokissa. Soodakattilatarkastuksien onnistumisen perusedellytykset ovat:

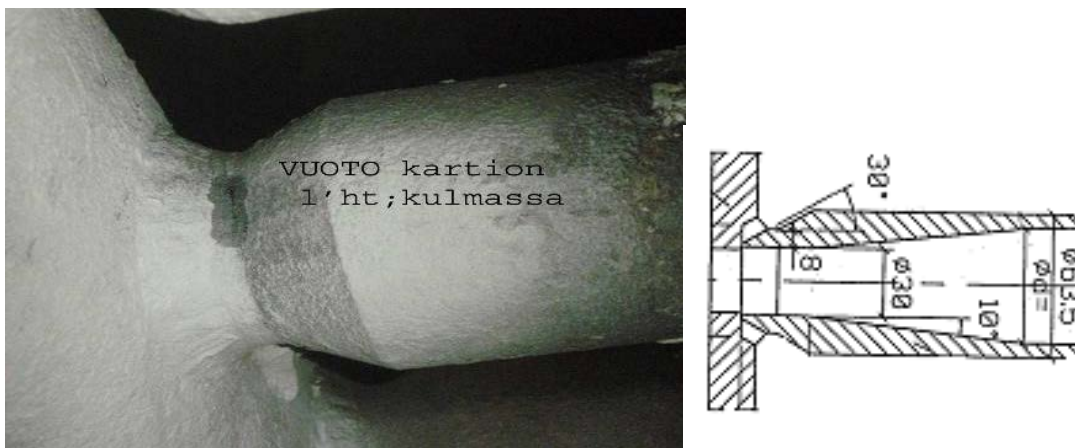
- Pitkántähtäimen tarkastussuunnitelmat ja tarkastusohjeet
- Pätevöitetty tarkastajat: EN-pätevyys
- Kunnolliset tarkastusolosuhteet: työturvallisuus, telineet, valaistus ja puhdistus
- Realistinen aikataulu

Edes 100 %:lla tarkastuslaajuudellakin kohde tulee vain harvoin täysin luotettavasti tarkastettua. NDT-menetelmät ovatkin toisiaan täydentäviä ja vain harvoin toisiaan täysin korvaavia. Esimerkiksi ultraäänitarkastus paljastaa huonosti kolmiulotteiset viat, kuten esim. huokokset. Röntgen on herkkä säteilykeilan suuntaisille tasomaisille vioille, mutta epäherkkä säteilysuunnasta poikkeaville vioille.

NDT-menetelmien avulla voidaan ohjata hitsauksen laatua. On myös järkevää panostaa hitsausvalvontaan, johon tärkeänä osana kuuluvat menetelmä- ja hitsaajakohtaiset työkokeet. Kun tarkastuslaajuus on vähemmän kuin 100 % tulee, vaaditun tarkastuslaajuuden täyttyä hitsaajakohtaisesti.

Valmistuksen aikana tarkastusmenetelmiä ja -laajuutta arvioitaessa on huomioitava viranomaismääräykset sekä kohteen sijainti sulavesiräjähdystä, korjattavuutta ja käytönaikaisia tarkastuksia ajatellen. Suunnitteluvaiheessa tulee jo arvioida

mahdolliset vikaantumismekanismit ja käyttää NDT-asiantuntijoita arvioimaan rakenteiden tarkastettavuus.



Kuva 4-1. Ekonomaiserin jakotukin yhde.

Kuvassa 5-1 on hitsiliitos, jonka luotettava volymetrinen tarkastus NDT-menetelmillä on käytännössä mahdotonta. Valokuvan perusteella vuoto on yhteen perusaineen epäjatkuvuuskohdassa, joka paikantuu hyvin lähellä muutosvyöhykettä (HAZ-alue Heat Affected Zone). Tämän alueen lujuus on muuta rakennetta heikompi ja liikkeestä aiheutuva väsyttävä kuormitus kohdistuu ko. kohtaan. Putken ulkopinnalta alkava putken väsymissärö voidaan todeta magneettijauhetarkastuksella. Jos rakennetta ei muuteta, niin ko. kohteelle on suoritettava pintatarkastus lähes vuosittain.

Laajoissa revisioissa NDT-tarkastuksille pitää olla selkeästi nimetty vetäjä, joka tuntee kattilarakenteet, niiden tarkastettavuuden ja niihin liittyvät vikaantumismekanismit.

Sen lisäksi että tarkastuksista tehdään asianmukaiset tarkastuspöytäkirjat, tarkastuksessa havaitut merkittävät viat/poikkeamat tulee merkitä rasvaliidulla tai vastaavalla kohteeseen, jotta korjaavat toimenpiteet tehdään oikeaan kohtaan ja ajallaan.

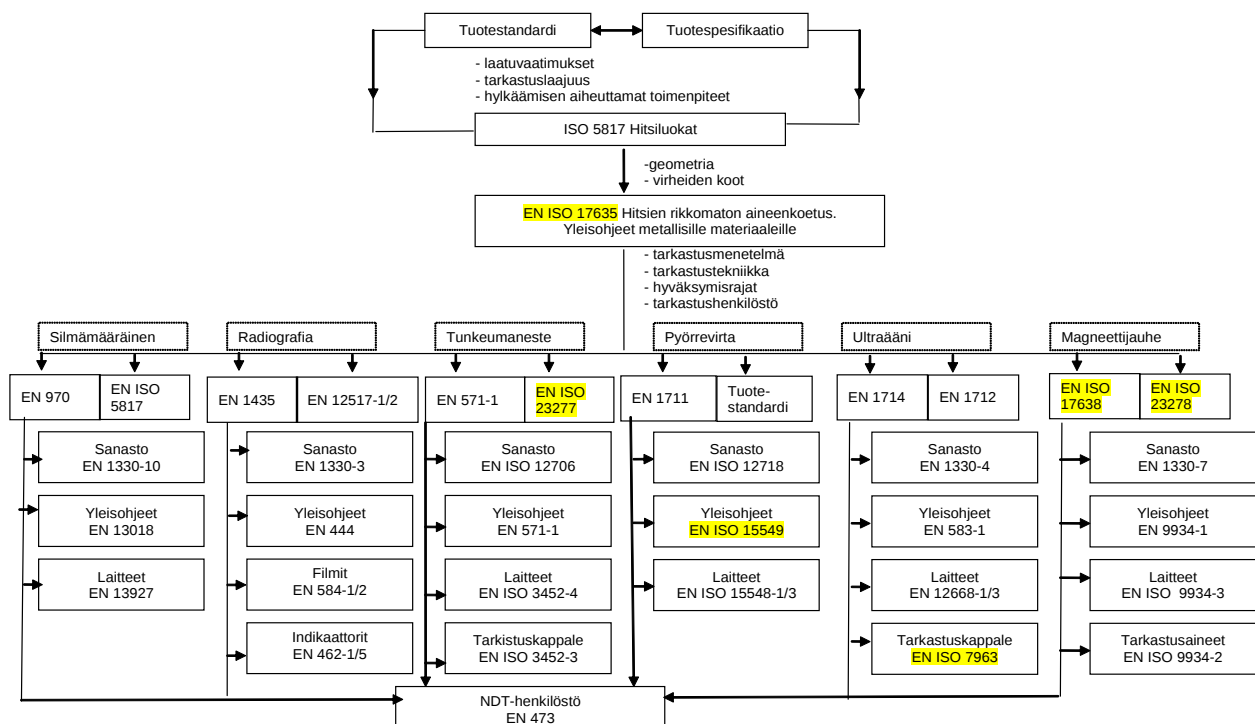
Huoltoseisokin aikaisissa tarkastuksissa menetelmä valitaan sen mukaan, mitä vauriomekanismia ollaan etsimässä. Tarkastuksissa haetaan seuraavia ilmiöitä tai vauriomekanismeja: eroosio, korroosio, väsyminen, viruminen, ylikuumentuminen, jännityskorroosio, korroosioväsyminen, terminen väsyminen, puutteellisen tuennan aiheuttamat rasitukset, väärä vesikemia jne.

NDT-tarkastusmenetelmät ovat vertaavia, eli tarvitaan kalibrointikappale tai vastaava. Tästä syystä vauriotapauksessa on aina syytä ottaa näytekappale ja säilyttää se tulevia NDT-tarkastuksia ja opetusta silmällä pitäen.

4.2 Tarkastusmenetelmät

Yleisesti NDT-menetelmät voidaan jakaa pintatarkastuksiin ja volymetrisiin tarkastuksiin. Tärkeimmät ja yleisimmin käytettävät tarkastusmenetelmät ovat visuaalinen tarkastus, röntgenkuvaus, ultraääni-, magneettijauhe- ja tunkeumaneste- ja pyörrevirtatarkastus.

Yleisellä tasolla NDT-menetelmien käytöstä saa hyvän kuvan standardista [SFS-EN-ISO 17635](#), jossa on annettu suositukset hitsien tarkastamiselle eri materiaaleille ja menetelmille.



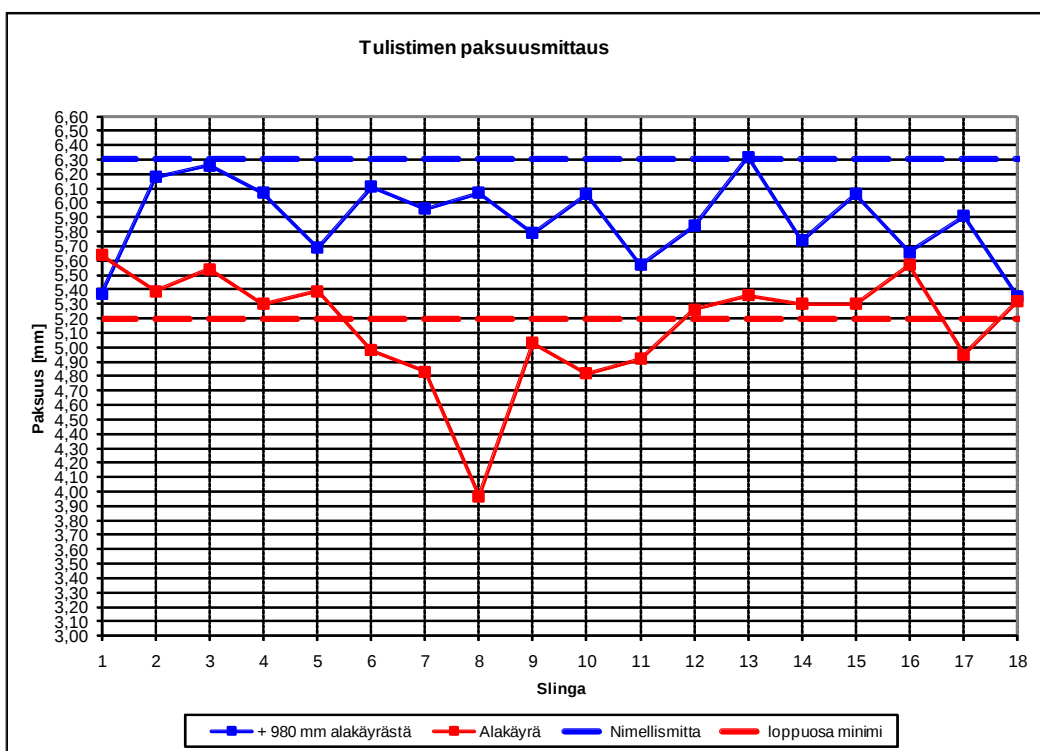
Kuva 4-2. Kaaviossa on esitetty vuoden 2010 lopussa voimassa ja työn alla olevat hitsien tarkastukseen liittyvät standardit. Tarkemmin standardit löytyvät linkin (http://www.metsta.fi/standardisointialueet/Kansalliset_komiteat/K89.php) kohdasta NDT standardisoinnin tilannekatsaus. Standardien päivityksestä löytyy myös tietoa MetSta:n nettisivuilta kohdasta standardisointialueet

4.2.1 Silmämääräinen tarkastus/VT (visual testing)

- Menetelmistä kaikkein tärkein, jolla havaitaan parhaiten kattilassa tapahtuneet muutokset.
- Hitsien silmämääräinen tarkastus [SFS-EN 17637](#)
- Nykyisin testaajilta vaaditaan EN-pätevyys
- Tekijän on tunnettava kattilan rakenne ja mahdolliset vauriomekanismit
- Vaatii hyvän valaistuksen
- Suurennuslasi ja peili ovat usein välttämättömiä apuvälineitä
- Käytä valokuvausta ja videointia!
- Endoskooppi hyvä apuväline

4.2.2 Paksuusmittaus/ TM (thickness measurement)

- Paksuusmittauksesta on oma standardi [SFS-EN 14127-2 ”Paksuusmittaus ultraäänellä”](#)
- Mittauksissa suositellaan käytettäväksi a-kuvallista mittalaitetta. A-kuvassa x-akseli kertoo näyttämän paikan (aika / mm) ja y-akseli näyttämän amplitudin.
- A-kuva mahdollistaa taustakaiun ja kerrannaiskaikujen vaimenemisen seuraamisen, mikä antaa viitteitä sisäpuolisesta likaantumisesta tai korroosiosta.
- Vaativissa mittauskohteissa suositellaan tarkastajalle UT:n EN-pätevyyttä.
- Ohentuminen voi olla epäsymmetristä: esim. seinäputken mittauksessa mittausikkuna on evästä evään.
- Kohdassa erikoismenetelmät käsitellään muita paksuusmääritys menetelmiä mm. EMAT ja RFET.



Kuva 4-3. Tulistimen paksuusmittaukset kaaviona.

Kuvassa 5-3 punainen suoraviiva kuvaa kohteen laskennallista minimiä. Ennen paksuusmittauksien suorittamista on kyseisen kohteen kriittiset rajat selvitettävä tarkastuksien vetäjille ja ennen kaikkea mittauksia suorittaville henkilöille, jotta alimittaisuudesta saadaan välittömästi tieto kattilanomistajalle.

4.2.3 Magneettijauh tarkastus / MT (magnetic particle examination)

- Hitsausliitosten magneettijauh tarkastuksen standardit ([SFS-EN ISO 17638 ”Hitsien rikkomaton aineenkoetus, Magneettijauh tarkastus”](#), vahvistettu 23.8.2010, vanha SFS-EN 1290).
- Testaajalta vaaditaan EN-pätevyys.
- Pintamenetelmä, jossa kohteen on oltava magnetoituva ferriittinen teräs (hiiliteräs), jolloin lähes aina on suositeltavaa käyttää magneettijauh tarkastusta haettaessa särötyyppejä vikoja.

- Fluoresoiva menetelmä parantaa tarkastuksen herkkyyttä, mutta vaatii hämärän ympäristön ja ultraviolettilampun.
- Magneettijauhetarkastuksessa on myös sovellettu vieruskaapelimenetelmää, joka mahdollistaa ahtaiden kohteiden tarkastamisen ("putkirykelmät").
- Päähöyryputkiston MT tarkastukset on suositeltavaa tehdä fluoresoivalla menetelmällä hiotulle (n 120 Grit) pinnalle, kun etsitään virumisen aiheuttamia säröjä.

4.2.4 Tunkeumanestetarkastus / PT (liquid penetrant examination)

- Hitsausliitosten tunkeumanestetarkastuksen standardit: [SFS-EN ISO 23277](#) "Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Hitsien tunkeumanestetarkastus. Hyväksymisrajat". vahvistettu 27.4.2015. Vanha SFS-EN 1289, SFS-EN571-1 "Rikkomaton aineenkoetus. Tukeumanestetarkastus. Osa 1. Yleisperiaatteet"
- Testaajalta vaaditaan EN-pätevyys.
- Pintamenetelmä, joka soveltuu kaikille paitsi huokoisille materiaaleille.
- Paljastaa pintaan asti ulottuvat viat (myös pintahuokokset ja kuonan, jotka eivät näy luotettavasti magneettijauhetarkastuksessa)
- Vaatii pinnan puhdistamisen metallipinnalle.

Kattilaolosuhteissa on suositeltavaa käyttää fluoresoivaa menetelmää, joka helpottaa tunkeumanesteen poistoa/puhdistusta erityisesti silloin, kun käytetään vedellä poistettavaa tunkeumanestettä. Riittävä puhtausaste nähdään heti uv-valossa eikä kohdetta tarvitse puhdistaa varmuuden vuoksi, kuten värillisellä menetelmällä joudutaan tekemään. Jos puhtausaste ei ole riittävä, lian aiheuttamat indikaatiot peittävät todelliset viat. Mikäli epäillään esim. kattilapesun aiheuttamaa kosteutta säröissä, niin rakenne on kuivattava. Apuna voidaan käyttää lämmittämistä (vältettävä suoraa liekkiä) tai kehitettä, jolla imetään kosteus ennen tunkeumanesteen levitystä.

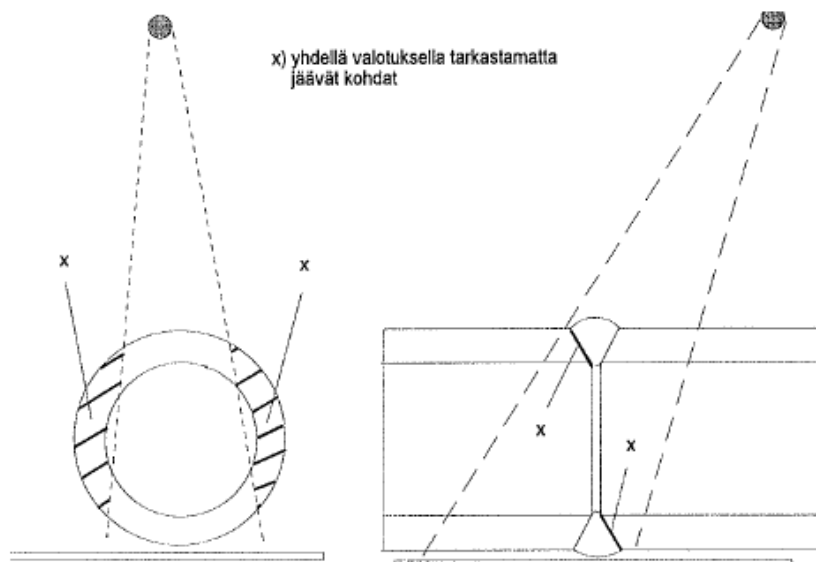


Kuva 4-4. Fluoresoivalla tunkeumanesteellä tarkastetun pohjan särönäyttämiä

4.2.5 Radiografia/RT (radiographic examination)

- Standardit:
 - [SFS EN ISO 17636 -1 "Non-destructive testing of welds. Radiographic testing. Part 1: X- and gamma-ray techniques with film"](#) vahvistettu 4.3.2013
 - [SFS EN ISO 17636 -2 "Non-destructive testing of welds. Radiographic testing. Part 2: X- and gamma-ray techniques with digital detectors"](#) vahvistettu 4.3.2013

- [SFS-EN 10675-1 ”Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Osa 1: Teräksestä, nikkelistä, titaanista ja niiden seoksista hitsattujen hitsausliitosten arviointi radiografisella kuvauksella. Hyväksymisrajat”](#). Vahvistettu 7.10.2013
- Tarkastajalta vaaditaan EN-pätevyys
- Volymetrinen tarkastus, joka soveltuu erityisesti kolmiulotteisten vikojen, kuten huokosten ja kuonan toteamiseen.
- Lineaaristen vikojen, kuten liitosvikojen ja halkeamien suhteen valotus on tehtävä vian suuntaisesti. Kuvassa 5-5 on esitetty ellipsikuvauksessa yhdellä valotuksella tarkastamatta jäävät alueet. Hitsin täysin kattava röntgenkuvaus vaatii 4 valotusta, mikä jo kustannussyistä jää toteutumatta.
- Säteilylähteinä voidaan käyttää isotooppeja, puoli- ja tasavirta röntgen koneita sekä pulssikoneita (digitaalinen)
- Röntgen kuvauksen kohteet kunnonseurannassa ovat mm. korroosiokuvaus myös eristeiden läpi, ruiskujen kunto rakennetta purkamatta, jne.
- Digitaalinen radiografia tulee yleistymään kunnonseurannassa, koska se on reaaliaikaista, nopeampaa verrattuna filmitekniikkaan, rajalliset säteilymäärät ja säteilykeilan suuntaaminen mahdollista.



Kuva 4-5. Ellipsikuvauksessa yhdellä valotuksella tarkastamatta jäävät alueet.

Soodakattilaympäristöön soveltuvana sovelluksena on isotoopilla suoritettu korroosiokuvaus.

4.2.6 Ultraäänitarkastus / UT (ultrasonic examination)

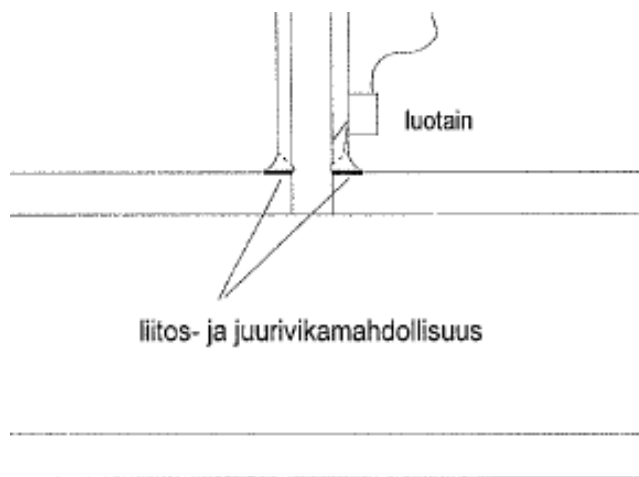
Standardit:

- [SFS-EN 11666 ”Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Hitsausliitosten ultraäänitarkastus Hyväksymisrajat”](#) (vanha SFS-EN-1712 sekä 1714)
- ”
- [SFS-EN ISO 23279 ” Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Hitsien ultraäänitarkastus. Hitsausvirheiden tyypin määrittäminen”](#) (vahvistettu 19.11.2010, vanha SFS-EN 1713)

Ultraäänitarkastus on volymetrinen menetelmä, joka paljastaa kaksidimensionaaliset viat, kuten liitosvian ja halkeaman. Lineaarisen vian on kuitenkin oltava lähes

kohtisuoraan äänikeilaan nähden, mikä paksummassa aineessa edellyttää useamman luotauskulman käyttämistä. Nykyaikaisella vaiheistetulla UT-tarkastuslaitteistolla mahdollistaa useamman luotauskulman samanaikaisen käytön yhdellä scannauksella. Hitsiin nähden poikittaiset viat vaativat hitsin suuntaisen luotauksen. Hitsien tarkastuksessa UT-menetelmää on syytä täydentää pintamenetelmillä, jotta kaiken suuntaiset pintaviat todetaan.

Ultraäänitarkastusta käytetään nykyisin menestyksekkäästi standardin vastaisesti ohuiden materiaalien (seinämä < 8 mm) tarkastuksessa. Esim. jakotukin ja putken välistä pienaliitosta (kuva 5-6), jossa liitosvian mahdollisuus on suurempi kuin päittäisliitoksessa, ei voida tarkastaa röntgenkuvauksella. Ultraäänitestauksen herkkyys vikojen suhteen (ei herkkä kolmeulotteisille vioille) ei ole sama kuin optimikulmassa tehdyllä röntgenkuvauksella, mutta se on nopeampi suorittaa eikä vaadi kattilan tyhjentämistä muista työntekijöistä. Tarkastuksen luotettavuutta voidaan parantaa magneettijauhe- tai tunkeumanestetarkastuksella ja/tai pistokoeluontoisella röntgenkuvauksella (kuona ja huokoset).



Kuva 4-6. Jakotukin ja putken välinen pienaliitos.

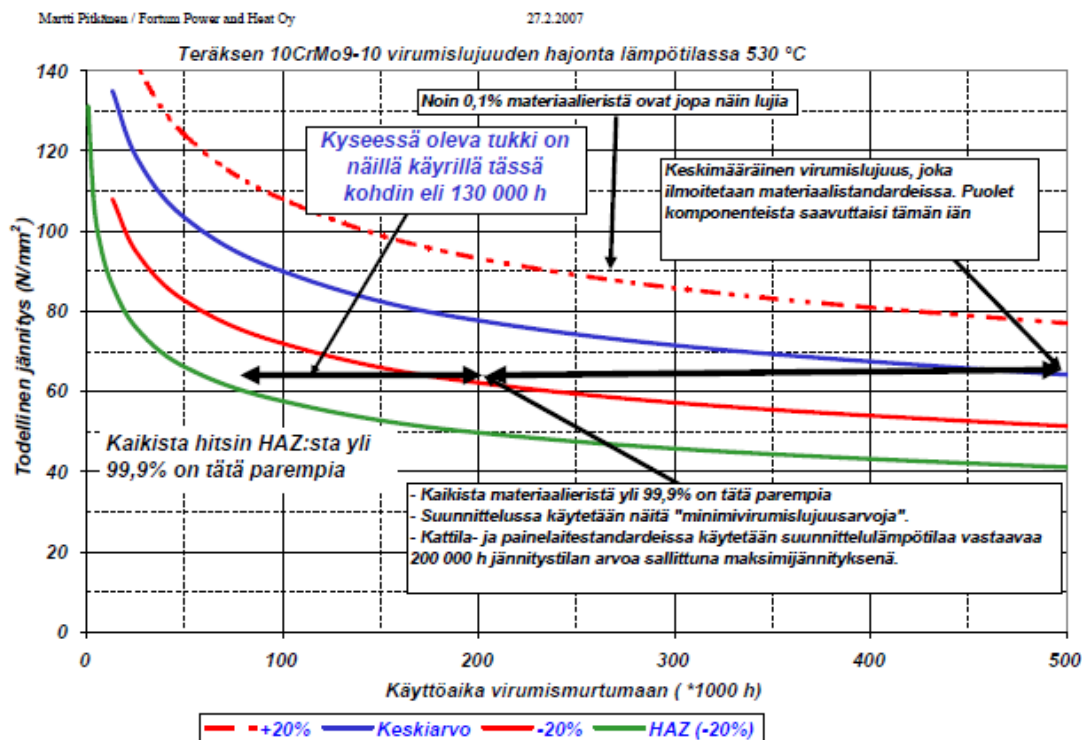
4.2.7 Pyörrevirtatarkastus/ET (eddy current testing)

- SFS-EN 1711 “Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Hitsien pyörrevirtatarkastus kompleksitasoanalyysillä”
- Ei reagoi veteen
- Maalikalvo mahdollinen
- Soodakattilan pohjan pyörrevirtatarkastus
- Pohjan compound-tarkastus
- Särön syvyyden määrittäminen, kalvonpaksuuden määrittäminen
- Suurin käyttö on lämmönvaihtimien putkien sisäpuolisessa tarkastuksessa, kun kyseessä on sähköä johtava metalli
- Käytetään myös pintatarkastusmenetelmänä (myös ferriittinen teräs)

- Erikoissovellutuksina ferriittisen materiaalin tarkastukset kaukokenttä- (RFET) ja magneettinen vuotokenttä (MFL) menetelmillä.

4.2.8 Jäljennemenetelmä/REP (replica)

- Paineastiat ja putkistot
- Virumisasteen arviointi SFS 3280 / [ISO 3057](#) / Nordtest ohjeen mukaisesti.
- Menetelmällä määritetään metallin virumis- ja hajaantumisasie mikrorakenteesta jäljenteen avulla. Viruminen alkaa tyypillisesti yli 450 °C lämpötiloista ja on materiaalista riippuvainen.
- Ennen hitsien jäljennetarkastusta suoritetaan aina magneettijauhetarkastus fluoresoivalla menetelmällä, jolla saadaan lisäarvoa tarkastukseen.
- Jäljennemenetelmällä voidaan paljastaa virumisasteen lisäksi ylikuumeneminen ja selvittää säröilyn syytä ainetta rikkomatta.



© Fortum Power and Heat 2007

Kuva 4-7. 10CrMo9-10 KP-tukin perusaineen ja hitsin virumislujuuden hajonta ja käyttäytyminen käyttötuntien mukaan. Perusmateriaalille suunniteltu käyttöikä 200 000 h (-20%) saattaa HAZ-alueella pudota jopa alle 100 000 käyttötuntin n 60 N/mm² jännitystasolla. Syynä tähän HAZ:n heikompi virumislujuus /Fortum Service, Martti Pitkänen/.

Virumisen mukaan mitoitettujen komponenttien hitsien kuntoon pitää kiinnittää erityistä huomiota ja aloittaa tarkastukset kriittisten komponenttien osalta selvästi ennen suunnittelussa käytettyä elinikää. Kriittiset komponentit päähöyryputkistossa ovat mm. T-haarat ja jakotukit, joissa yhdeputken halkaisija on hyvin lähellä itse pääputkea.

4.2.9 Endoskooppitarkastus/END (endoscopy)



- Endoskoopilla tai putkistokameralla päästää tarkastamaan rakenteita ahtaissa kohteissa, kuten putkissa, onkaloissa ja raoissa.
- Menetelmällä täydennetään sisäpuolista tarkastusta
- Nykyisillä endoskoopeilla on mahdollista mitoittaa vikoja ja näyttämiä käyttämällä varjostavia tai stereolinssejä. Samalla ne mahdollistavat videoinnin ja valokuvauksen.

4.2.10 Akustinen emissioseuranta / AE (acoustic emission)

- Painekekkeiden ja rakenteiden käytönaikainen valvonta
- Voidaan käyttää rakenteen kuunteluun säröilyn ja rasituksien toteamiseksi sekä atmosfäärin kuunteluun vuotojen ilmaisemiseksi. Putkirikko kasvaa vuodon seurauksena ja pienikin vuoto voi aiheuttaa viereisen putken vaurioitumisen, mikä lisää esim. sulavesiräjähdyriskiä.
- Rakenteen kuuntelu tehdään aaltotankojen (hitsattu putkeen) välityksellä. Ne mahdollistavat antureiden asennuksen eristeen ulkopuolelle ja samalla pudottavat antureiden lämpötilaa.
- AE-seuranta auttaa ohjaamaan muiden tarkastusmenetelmien käyttöä.
- Antaa tietoa ajokäyttäytymisen vaikutuksista ja siitä, missä vaiheessa käyttöä vioittuminen mahdollisesti tapahtuu.

4.2.11 Lämpökuvaus (thermography)

- Lämpökamera mittaa kohteiden lähettämää lämpösäteilyä (infrapuna-aallonpituus), joka voidaan muuttaa lämpötiloiksi kalibroinnin avulla.
- Voidaan käyttää laajasti kunnonseurannassa laitoksen käynninaikana.
- Lämpökuvaus on nopea menetelmä tarkastella laajoja alueita ja useita kohteita samanaikaisesti.
- Lämpökameran käyttö edellyttää menetelmän syvällistä osaamisesta (emissiivisyys, lämmönsiirtyminen...)
- On käytetty mm. kattilan täytön seurannassa.

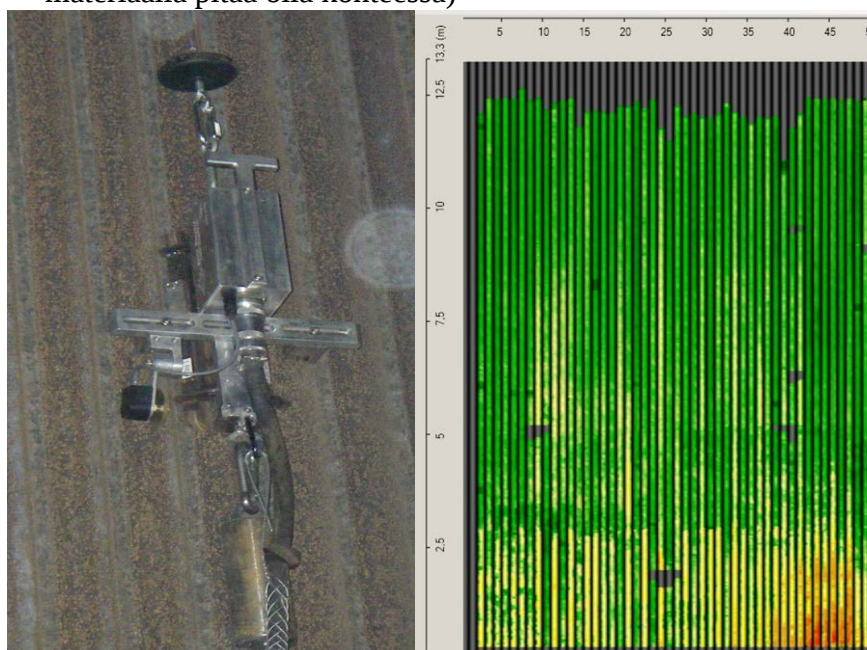
4.2.12 Kovuusmittaus/HT (hardness test)

- Kovuusmittaus korreloi hyvin mittauskohteen lujuusominaisuuksien kanssa.
- Kovuusmittaustulokset kertovat materiaaliteknisistä muutoksista esim. vauriotilanteissa.
- Hitsauksen laadunhallinta (HAZ kovuus piikit) päähöyryputkistossa.
- Kovuusmittausmenetelmä pitää valita kohteen mukaan (materiaali, ainevahvuudet jne..)
- Pinnanlaatu vaikuttaa oleellisesti mittaustulosten hajontaa, minkä tähden pitää pyrkiä vähintään 220 karheuteen.
- Tarkempia tietoja ja sovellusohjeita eri menetelmistä löytyy laitevalmistajan sivuilta.

4.2.13 T-Scan paksuusmittaus

Kattilan seinämät ja tulistimet ovat mahdollista paksuus mitata suurella laajuudella (lähes 100 %:sti) käyttämällä T-Scan tekniikkaa.

- Tekniikka perustuu EMAT-antureihin (Electro Magnetic Acoustic Transducer), joissa ei tarvita erillistä kytkentäainetta.
- Tarkkuus sama kun perinteisellä UT:llä
- Kattilan seinämäputkien paksuudet voidaan mitata kolmella mittalinjalla, joista jokainen mittaa 15 mm leveää kaistaa
- Mittaustiheys jopa 1 mm välein.
- Menetelmä on erittäin herkkä asteittaiselle kulumiselle.
- Voidaan tarkastaa putkia jotka ovat pinnanlaadultaan huonoja – ilman hiontaa.
- Menetelmällä on mahdollista tarkastaa pinnoitettuja ja compound putkia (ferriittistä materiaalia pitää olla kohteessa)



Kuva 4-8. T-scan laitteisto kattilan seinällä ja Client ohjelmiston tuottamaa visuaalista paksuusmittaustulosta tarkastuksista.

4.2.14 IRIS-tekniikka

- Ultraäänitekniikkaan perustuva menetelmä, joka soveltuu ferriittisten tuubien sisäpuoliseen tarkastukseen
- Putken suunnassa lähetetty ääni käännetään peilin avulla putken seinämän suuntaan putken ollessa vesitäytössä ja peiliä pyöritetään vesiturpiinilla tai sähköisesti.
- Menetelmä on tarkempi kuin pyörrevirtamenetelmällä tehty tarkastus, mutta huomattavasti hitaampi ja työläämpi.
- Iris-anturi tulee olla kohtuullisesti, mitattavan putken kokoinen

4.2.15 Sisäpuolisen kerrostuman / magnetiittikalvon paksuusmittaus

Kattilaputken sisäpintaa suojaa normaalisti magnetiittikerros, jonka paksuus vaihtelee 10 µm:stä 200 µm:iin. Vedenkäsittelyongelmat voivat kasvattaa magnetiittikalvon paksuutta tai aiheuttaa erilaisista epäpuhtauksista koostuvan kerrostuman, jonka alle saattaa syntyä korroosioaurio, mikä pahimmillaan on aiheuttanut ns. vetyhyökkäyksen.

Vetyhyökkäysriski on pahin siellä, missä lämpökuorma on suurin. Kuvassa 5-9 on lämpövuon jakautuminen etuseinän keskellä primääritason alapuolelta nokan tasolle kattilassa, jossa perinteisesti laskettuna keskimääräinen lämpövuoto 90 kW/m^2 . Kuvan mukaan primaari-ilma-aukkojen alueella lämpövuoto ylittää 230 kW/m^2 .

Error! Objects cannot be created from editing field codes.

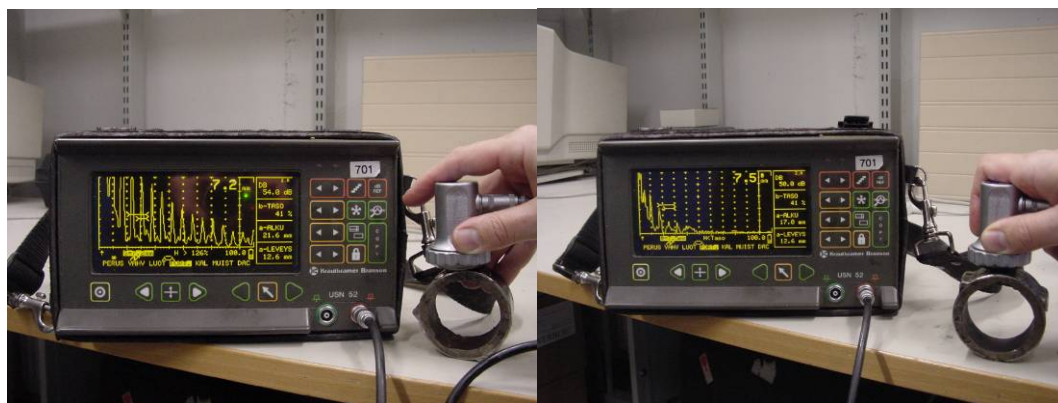
Kuva 4-9. Lämpövuon jakaantuminen kattilan etuseinällä.

Korroosiovaurioita on todettu kohdissa, jossa virtaus häiriintyy. Tällaisia paikkoja ovat aukkojen ohitusputket (käyrät) ja hitsien vierusalueet, jonka syynä ovat ylisuuret juurikuvut. Vaurioriskiä lisää ylileveät evärakenteet, jotka kasvattavat paikallista lämpövuotoa.

Vetyhyökkäys aiheuttaa aina sulavesiräjähdyksriskin ja mittavat korjaustoimenpiteet.

Ilmiötä voi tutkia ultraäänimenetelmillä seuraavasti:

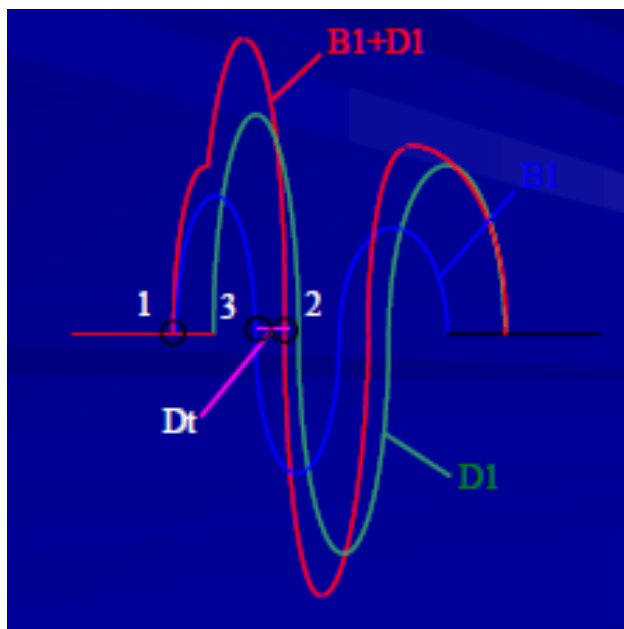
Alkava sisäpinnan korroosio tai paksu epäpuhtauksista koostuva kerros vaimentaa ultraääntä voimakkaasti. Normaalisti ultraäänilaitteen a-näytössä näkyy useampi taustakaiku kuten kuvan 5-10 vasemman puoleisessa a-näytössä. Jos korroosiovaihe on alkanut tai sisäpinnalla on paksu epäpuhtauksista koostuva kerros, niin taustakaikut vaimenevat voimakkaasti kuten kuvan oikean puoleisessa näytössä. Vaimennuksen arviointi vaatii kuitenkin tarkastajalta kokemusta, sillä vaimennukseen vaikuttaa ulkopinnan kunto/puhtaus ja käyrissä geometria.



Kuva 4-10. A-näytöt ehjästä putkesta ja vetyhyökkäyskohdalta.

Kerrostuman tarkempi määrittäminen perustuu kahteen ultratekniikkaan. Sisäpuolisen magnetiitin paksuuden määrittämisen mittaustekniikka perustuu korkeaan taajuuteen ja poikittaiseen aaltomuotoon. Poikittainen aaltomuoto mahdollistaa ohuemman kalvonpaksuuden mittaamisen. Tällä menetelmällä on voitu mitata magnetiittipaksuuksia $80 \mu\text{m}$:stä ylöspäin.

Toinen kerrostuman paksuuden mittaaminen perustuu siihen, että kerrostuma-ilman/veden rajapinnasta heijastuva aalto levantää signaalia verrattuna puhtaasta metalli-ilma/vesi signaaliin, katso kuva 5-11. Tässä mittauksessa käytetään pitkittäistä aaltomuotoa ja menetelmällä luvataan päästävän jopa 20–40 µm minipaksuuteen.



Kuva 4-11. Ultraäänikaikujen käyttäytyminen saostuma/putki rajapinnassa

Molemmat tarkemmat mittaustavat vaativat erillisen kalibroitipalan, jolla varmennetaan äänennopeus kerrostumassa.

Sisäpuolisen kerrostuman mittauksissa on muistettava, että ongelmakohdat saattavat olla hyvin paikallisia. Jos kattilassa todetaan epäpuhtauksia ja edellä olevat mittaustavat antavat viitteitä sisäpuolisista kerrostumista, niin varmin tapa on ottaa kattilasta näytepalat, joista mitataan laboratoriossa kerrostumien paksuus ja koostumus. NDT-menetelmät kohdistavat näytepalojen oton ongelmakohtiin.

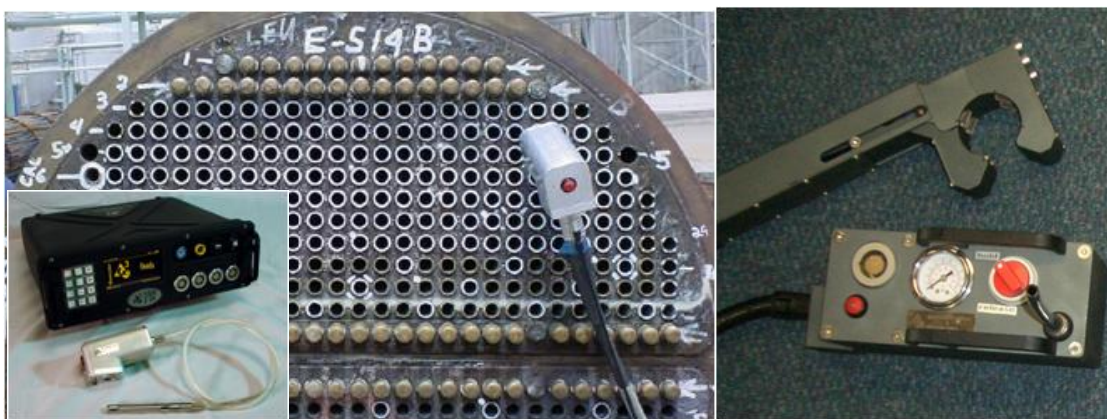
4.2.16 Guided Wave

Guided Wave tekniikka perustuu ultraääneen, joka on matalataajuisia ja etenee materiaalin pinnansuuntaisesti. Guided Wave on suuntaa-antava menetelmä, jota on hyödyllistä käyttää putkistojen ei luoksepäästävässä osissa. Guided Wavella saadut mittatulokset on hyvä tarkastaa lähemmin esimerkiksi käsivaraisilla laitteistoilla. Guided Waven vahvuus onkin saada suuntaa-antavaa tietoa, mistä kohdin esim. maanalaiset putkistot on syytä kaivaa esiin ja tarkastaa lähemmin.

- Menetelmä havaitsee muutoksia putkien poikkipinta-alassa.
- Tekniikan herkkyys on 5 % poikkipinta-alasta.

- Tekniikalla on mahdollista luoda jopa satoja metrejä anturipannasta molempiin suuntiin.
- Testaus tehdään normaalisti asentamalla kiinteä tai ilmatäytteinen lähetinrengas putken ulkopinnalta.

Tekniikan uusia sovelluskohteita on mm. lämmönsiirtimien tarkastaminen synnyttämällä ultraääni putken sisäpinnan kautta. Guided Wavesta on olemassa samantyyppisiä sovelluksia, kuten Iris-tarkastuksessakin, mutta GW on enemmänkin suuntaa-antava sovellus ja Iris on näistä kahdesta menetelmästä se tarkempi.



Kuva 4-12. Guided wave laitteiston sovelluksia lämmönvaihtimelle sekä tuubiputkistolle /Guided ultrasonics ltd/.

4.2.17 RFET (kaukokenttämenetelmä pyörrevirtatekniikalla, Remote Field Electromagnetic Technique)

Sisäpuolinen pyörrevirtatarkastus ferriittisille putkille, jolla voidaan todeta laaja-alaiset ohentumat (esim. nuohojen aiheuttama kuluma). Esimerkiksi keittopintaputkien ohenemien mittaus.



Kuva 4-13. RFET laitteisto putkiston tarkastukseen /Testex Incorporation/

4.2.18 Magneettinen vuotokenttätarkastus (MFL)



Tarkastettava kohde magnetoidaan kestopagneetilla ja ylä- tai alapinnalla olevien vikojen synnyttämä magneettinen vuotokenttä havaitaan Hall-anturilla. Erityisen käyttökelpoinen menetelmä on pistesyöpymien ja paikallisten korroosioaurioiden paikantamiseen silloin, kun kohde on ferromagneettista materiaalia 6-20 mm paksuusalueella. Menetelmällä paikannetaan vikakohdat, joiden tarkempi analysointi suoritetaan esim. ultraäänimenetelmällä. MFL:n tarkastusherkkyyys on riippuvainen kohteen paksuudesta. Menetelmä ei ole herkkä havaitsemaan tasaisesti ohentunutta laaja-alaista syöpymää. Tänä päivänä löytyy laitteita, joissa on yhdistetty ET- ja MF-tekniikka.

4.2.19 Jäännös jännitystilat

Materiaalin jäännösjännitystiloja voidaan mitata ainetta rikkomatta. Mittausmenetelmät perustuvat barkhausenin-kohinaan ja röntgendiffraktioon.

Barkhausen-kohina on materiaalista mitattava magneettinen parametri. Se on riippuvainen jäännösjännityksistä. Menetelmä vaatii kalibrointipalat, joihin tarkastuskohdetta verrataan.

Röntgendiffraktio menetelmässä mitataan jännitysten kiteisessä metallissa synnyttämien siirtymien aiheuttamia muutoksia hilavakioissa. Tutkittavaan näytteeseen kohdistetaan röntgensäde kahdessa kulmassa. Intensiteetinhuippukohdan ja muodon perusteella voidaan laskea vastaava jännitystila. Mittausherkkyyys on noin 50 N/mm^2 .

4.2.20 Ainetta rikkovat tarkastukset

Vauriotapauksessa ja materiaaliselvityksissä on aina syytä ottaa kunnolliset näytepalat, joita voidaan myöhemmin laboratoriossa tutkia. **Näytepalojen turhaa puhdistusta ja käsittelyä on vältettävä. Jos mahdollista on näyte irrotettava sahaamalla, jotta materiaaliominaisuudet eivät muutu.** Riittävän taustatiedon kerääminen on erittäin tärkeää, joka korostuu vauriotapauksissa.

4.3 Tarkastettavat kohteet

Liitteessä I on esitetty luettelomaisesti seisokinaikaiset tarkastuskohteen, vikaantumismekanismin ja soveltuvan tarkastusmenetelmän mukaan.



Listaus on suuntaa antava, eikä voi olla täydellinen, kun otetaan huomioon kattiloiden ikäjakauma sekä erilaiset rakenteet ja ajotavat.

4.4 Vesipainekoe korjausten jälkeen

Kattilan korjauksen jälkeen yleensä suoritetaan painekoe, jolla varmistetaan kattilan tiiveys ja käytettävyys ennen starttia. Paineekokeen suorituksessa voidaan soveltaa standardin [SFS-EN 12952-6](#) kohtaa 10.2 kuitenkin siten, että painekokeen koepaine on enintään 1,3 X suurin sallittu käyttöpaine. Koepainetta määritettäessä voidaan huomioida korjauksen laajuus ja kohta (tulipesä, tulistin tai ekonomaiseri), seuraavaan määräaikaistarkastukseen liittyvän painekokeen ajankohta jne. Vähintään koepaineen pitäisi olla 1.1 X suurin sallittu käyttöpaine.

Paineekokeessa käytettävän veden lämpötilaa määritettäessä tulee ottaa huomioon kattilan materiaalien haurasmurtumavaara ja vanhempien kattiloiden osalta voidaan joutua ylittämään em. standardin yläraja +50 °C.

Paineekokeessa koepaineen tasaannuttua tarkastetaan silmämääräisesti paitsi korjauskohdat myös kattilan painerunko mahdollisten vuotojen havaitsemiseksi, joita ei NDT-menetelmillä ole havaittu tai jotka ovat syntyneet painekokeen yhteydessä. Kattilan sisäosien tarkastuksessa tulee huomioida työturvallisuus ja laskea koepaine arvoon, jossa tarkastus on turvallista tehdä.

Paineekokeessa käytettävän veden lämpötila, koepaine ja mihin arvoon paine sisäpuolen tarkastuksessa lasketaan sovitaan tapauskohtaisesti painelaitetarkastajan kanssa.

4.5 Dokumentointi

Kaikista tarkastuksista, mukaan lukien silmämääräiset ja toteamisluontoiset tarkastukset, on tehtävä selkeät pöytäkirjat ja raportit, joista selviää erityisesti korjaustarpeet. Korjauskohdat on myös merkittävä selvästi itse kohteisiin, jotta korjaukset kohdentuvat varmasti oikeisiin paikkoihin.

Pöytäkirjat on syytä tehdä heti tarkastuksen jälkeen, jolloin asiat ovat vielä tuoreessa muistissa. Tarkastuksista ja korjauksista tulee tehdä yhteenveto, joka auttaa myöhemmissä tarkasteluissa.

Dokumentointiin on saatavissa ATK-ohjelmia, joihin voidaan liittää mm hitsausohjeita, pitkántähtäimensuunnitelmia jne.



LIITTEET

Liite 1 Komponenttikohtaiset suositukset NDT-tarkastuksille



LIITE 1

Komponenttikohtaiset suositukset NDT-tarkastuksille

SEISOKINAIKAISET TARKASTUSKOHTEET JA MENETELMÄT

Visuaalinen tarkastus oletetaan tehtävän kaikille komponenteille aina, eikä mainita alla olevassa menetelmä kohdassa ilman erityistä tarvetta.

Kohde	Menetelmä	Kommentit
Syöttövesisäiliö	MT, TM	Saumat. Kaasunpoistimien visuaalinen tarkastus. Erityishuomio hienorakenneteräksissä säiliöissä ”Raex”.
Syöttövesilinja	TM, RT, VT	Eroosio/korroosio mm venttiilien ja mittauslaippojen jälkeen sekä käyrissä.
Päähöyrylinja	MT, REP, HT	Viruminen. Erityisesti isot yhteen ja liitokset sekä venttiilit. MT tarkastus suoritetaan hiotetulta pinnalta fluoresoivalla menetelmällä.
Tulistimet	MT, REP, HT TM MT VT, TM VT, (TM) VT, REP, HT, OK Digi RT	Viruminen, kammiot Eroosio/korroosio, tulistinputkien alakäyrät mukaan lukien paketista ulos tulleet käyrät. Sidehitsien päät. Suolavuodot kattokaappien läpivientikohdissa voivat olla putkivaurioiden esiaste. Nuohoimien kohdat joka seisokissa (eroosio/korroosio paketista irti päässeissä putkissa). Putkien värin ja muodon muutokset voivat johtua ylikuumenemisesta. Roikkutulistimien pohjakäyrien kerrostuma / vierasesineet
Höyryn jäähdyttimet	END, RT	Sisäkartion ja ruiskutussuuttimen kunto. Huomioi suuttimen eheys yhdekappaleen sisällä
Verhot/nokat	TM VT	Korroosio/eroosio. Kolhut ja muotovirheet (kamat)
Tulipesän seinät	TM VT, PT RT tai UT, PT VT, TM	Paksuusmittaus linjoittain (huomioi epäsymmetrinen oheneminen). Säröt/syöpymä compound/hiiliteräs-hitseissä. Jatkohitsit: kriittisimmät sularännien ympäristön hitsit (terminen rasitus). Evien eroosio / korroosio (jos silmämääräisesti havaitaan ”kulumaa” -> TM)
Seinät (eristepuoli)	VT, TM	Hiiliteräksen syöpyminen (onko ulkopuolelta pinnoittamattomia compound-hitsejä?).
Aukot	VT, PT TM	Säröt ilma-aukkojen ja sularännien ohitusputkissa ja evärakenteissa. Katso Kuva L3 Aukkojen reunaputket. Huomioi kaikukäyttäytyminen (huono vesikemia)
Pohja/compound	VT PT, ET TM	Syöpymät ja kolhut. Katso Kuva L4 ja L5 Koko pohjan alue. Fluoresoiva menetelmä ja pohjan kuivaus (katso ETY:n ohje). Sivuseinien tiivistelevyissä on tavattu alapuolista korroosiota (hiiliteräksen puoli). Katso Kuva L4
Pohja/hiiliteräs	VT, TM	Korroosio on usein hyvin tasaista, jonka johdosta oheneminen selviää vain paksuusmittauksella. Hitsien, compound-alueen ja tiivisterautojen tarkastus tehdään kuten edellä.
Pohjakaappi	VT	Sulavuodot ja muodonmuutokset
Lieriöt	VT MT UT	Sisäpuolinen tarkastus ennen puhdistustoimia, sillä pahimmat säröt/halkeamat näkyvät ruostejätkinä Sisäpinnan tarkastus vaipan ja päätyjen hitseille (myös juoksuputket, miesluukut, miesluukkujen saranat ja muiden varusteiden pienasaumat) sekä reikäkenttäalueet ja alalieriön pohja-alue pistokoeluonteisesti. Vaipan ja päätyjen hitsit. Onko esim. pääty/miesluukku-hitsissä rakenteellinen juurivirhe?
Keittopintaputkisto	VT	Keittopintaputkien päät lieriön sisäpuolelta ja putkien syöpyminen ulkopuolelta.

	TM UT VT, TM	Keittopintaputken korroosio lieriön vaipan kohdalla mankelointikohdan vieressä: tarkastus suoritetaan luotainpidikkeen avulla tai ultraääneen perustavalla IRIS-laitteella, joka vaatii kuitenkin putken vesitäytön. Huonon tuennan aiheuttama säröytyminen mankelointikohdan vieressä. Tarkastus tehdään pidikkeellä kuten edellä, mutta kulmaluotaimella. Nuohoimien kohdat.
Veden esilämmitin (ekonomaiserit)	TM TM, UT VT, TM PT, MT	Eroosio vesipuolella maksimivirtauskohdissa, kammiot ja yhdysputket. Jos syöttöveden lämpötila on alle 120°C, saattaa ilmetä kastepistesyöpymää aivan alakammion vieressä putkessa ja putki/alakammio-hitsissä Nuohoimien kohdat sekä paikat joihin kerääntyy suolaa (esim. seinän ja reunimmaisen elementin väli). Evien päät ja tukki/putki-hitsit.
Tukit	END, (TM)	Epäpuhtaudet, syöpymät, hitsit
Tuenta	VT	Pohjaputkien lepääminen palkkien päällä, ripustintankojen kireys, kattilan asema ja päähöyryputki sekä käynnissä että seisokissa
Vesikemia	VT END OKS, UT	Yleensä lieriön sisäpinnan punerrus kertoo huonosta vesikemiasta. Toisena selvänä indikaationa on epäpuhtaudet alajakotukeissa ja vesityslinjoissa. Oksidi- ja kerrostumakalvon paksuusmittaukset. Kohteina höyrystimien ja tulistimien putket
Nuohoimet	VT, TM	Ensimmäisessä elementissä seinästä katsottuna saattaa olla nuohoimen vuodon aiheuttamaa eroosiota/korroosiota. Tarkista nuohoimien venttiilit sekä höyrykierto (lauhteenpoisto)

LYHENTEET:

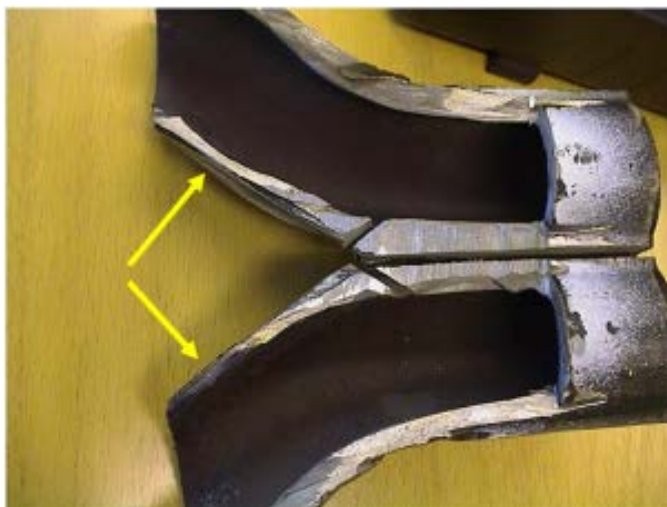
VT	=	silämääräinen tarkastus
TM	=	paksuusmittaus
PT	=	tunkeumanestetarkastus
MT	=	magneettijauhetaarkastus
UT	=	ultraäänitarkastus
RT	=	radiografia
ET	=	pyörrevirtatarkastus
REP	=	jäljennetarkastus
HT	=	kovuusmittaus
AE	=	akustinen emissio
OKS	=	oksidikalvon paksuusmittaus
END	=	endoskoopitarkastus

VALOKUVIA SOODAKATTILAN ERI OSISTA JA VAURIOISTA**Kuva L1. Värimuutoksia seinällä**

Kuva L1 on vauriokattilan seinältä. Osa vikakohdista oli mustunut. Kattilatarkastus pitää aina aloittaa silmämääräisellä tarkastuksella, jossa selvitetään väripoikkeamat normaalista. Erityisiä riskipaikkoja ovat mm. poltinaukkojen yläpuolet (virtauksen vaikutus liekkiin). Värimuutokset aiheuttavat aina lisätutkimuksia.

**Kuva L2. Lieriössä epäpuhtauksia ja värimuutoksia**

Kuva L2. Epäpuhtaudet ja harmaasta poikkeavat värimuutokset johtavat lisätutkimuksiin. Sen lisäksi että tehdään höyrystimensisäpinnan NDT-tarkastuksia tulipesässä, tarkistetaan jakotukkien puhtausasteet. Oikean kuvan tapauksessa on riskinä höyrystinputkien sisäpuolen kerrostumat ja jopa tukkeumat vesityslinjoissa.



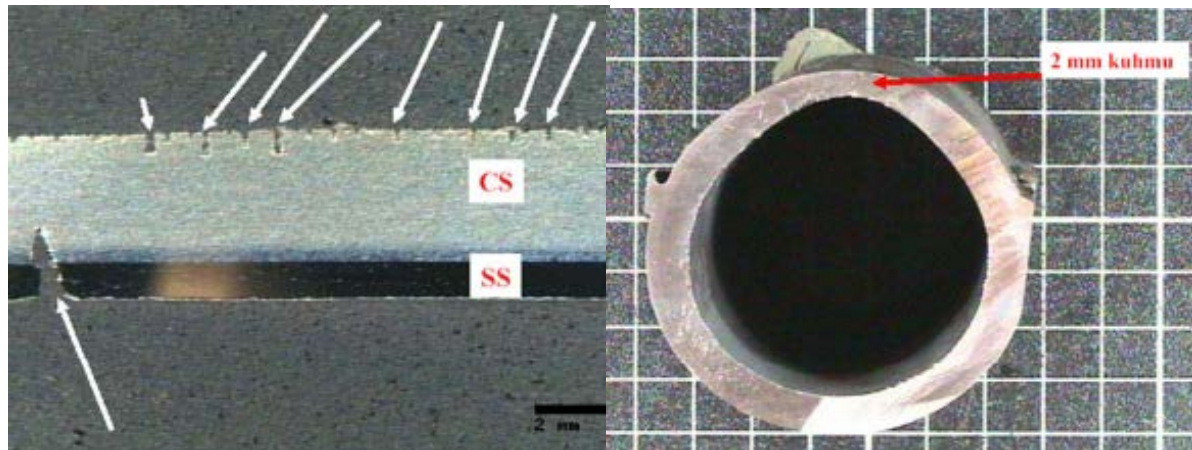
Kuva L3. Korroosioaurio ilma-aukon ohitusputkissa. Vikakohdat merkitty nuolilla

Kuvassa L3 on soodakattilan ilma-aukon ohitusputket, joissa vetyhyökkäys on aiheuttanut korroosioaurion. Kuvasta L3 selviää todennäköisin vikaantumiskohta.



Kuva L4. Korjauskohta pohja-seinä-kamparaudassa

Kuva L4. Pohjan ja seinien väliset kamparaudat on tarkastettava tunkeumanestemenetelmällä, kun pohja tyhjennetty. Jos pohjaa ei ole tyhjennetty, varmennetaan pohjakaapista, että kamparaudan rikkoutuminen ei ole aiheuttanut sulavuotoa.



Kuva L5. Kuvassa kiertohäiriön aiheuttama ylikuumeneminen pohjaputkessa, joka on aiheuttanut jopa muodonmuutoksen putkeen

Kuvissa L5 pohjaputken säröytyminen on edennyt compound-pinnoitteen läpi ferriittiseen materiaaliin. Vikaantumista voidaan todeta myös vesipuolella ja putkessa on selvä muodonmuutos. Ylikuumenemisen syynä voi olla kiertohäiriö aiheuttama korkea lämpövuoto, jonka voi aiheuttaa ylileveä seinä-pohja-kamparauta tai pudonneen ”kamin” aiheuttama muodonmuutos tai saostumat vesipuolella.

LIITE 8

**KTR: Varo Oy, Soodakattiloiden tiiveydenvalvontaselitys,
tarjous/tutkimussuunnitelma 7.11.2015**

Reijo Hukkanen
Kestoisuustyöryhmä
Soodakattilayhdistys

Tarjous

SOODAKATTILOIDEN KÄYNNINAIKAISET TIIVEYDENVALVONTAMENETELMÄT

Tein vuonna 2001 Soodakattilayhdistykselle selvityksen "Kattilavuotojen valvonta ja ohjeistus" (raportti 2/2001). Selvityksessä tehtiin Suomen sellutehtaille kysely, jossa tiedusteltiin mm. valvonnassa käytettyjä mittauksia, automaattisia hälytyksiä ja suojausja. Selvityksessä kartoitettiin myös markkinoita tuolloin saatavissa olleet tiiveydenvalvontajärjestelmät. Tuolloin saatavilla oli sekä massataseen seurantaan (toimittajana Alert System Inc), kemikaalitaseen seurantaan (toimittajina Hercules ja Nalco) sekä akustisen emission seurantaan (toimittajina Acutest ja Triple 5 Industries) järjestelmiä.

Vuonna 2001 tehdyn selvityksen mukaan soodakattiloiden tiiveyttä valvottiin tehtailla hyvin vaihtelevasti. Esim. syöttövesi-höyryeron laskenta oli käytössä kaikilla tehtailla, mutta automaattisia hälytyksiä eron kasvusta oli ainoastaan kahdeksalla kattilalla 22:sta. Akustisen emission valvontaan perustuvia järjestelmiä oli käytössä noin kolmasosassa kattiloista. Kemikaalitaseen seurantaan perustuvia järjestelmiä ei tuolloin ollut käytössä yhdessäkään kattilassa.

Sittemmin tilanne on parantunut, mutta oletettavasti vaihtelua tehtaiden kesken on edelleen. Nykyinen minimitaso on määritetty Soodakattilayhdistyksen vuonna 2009 laatimassa soodakattiloiden turvallisuussuosituksessa (suositus 4) seuraavasti:

Soodakattila on varustettava vuodonvalvontajärjestelmällä, joka antaa tarvittaessa hälytyksen henkilökunnalle. Yksinkertaisimmillaan järjestelmä voidaan muodostaa syöttövesi- ja höyryvirtaamien riittävän pitkistä keskiarvosta.

Tiiveydenvalvonnan nykytila on selvitettävissä tekemällä tehtailla kysely, jossa tiedustellaan tiiveydenvalvonnassa käytettyjä mittauksia, menetelmiä ja hälytyksiä sekä niiden testauksia. Lisäksi selvitetään maailmalla soodakattiloissa tällä käytössä olevat tiiveydenvalvontamenetelmät ja niiden toimittajat sekä se kuinka laajasti ko. järjestelmiä on käytössä.

Selvityksen tuloksena esitetään yhteenveto kyselyn tuloksista sekä esitellään parhaat tehtailla nyt käytössä olevat tekniikat ja menettelyt.

Selvitys tehdään vuoden 2016 aikana.

Selvityksen hinta (ilman arvonlisäveroa) on 12 000 €. Selvitys laskutetaan kun raportti on toimitettu tilaajalle ja tilaaja on hyväksynyt raportin.

Terveisin



Timo Karjunen

VARO

LIITE 9

**YTR: VTT, Puun typpipitoisuus ja soodakattilan NOx-päästö
– tarjous 31.3.2016**

31.3.2016

1 (2)

Suomen Soodakattilayhdistys ry
c/o Pöyry Finland Oy
PL 4, 01621 Vantaa

Viite Sähköpostinne 23.3.2016.

Kiitämme tarjouspyynnöstänne ja tarjoudumme tekemään toimeksiannon ”Puun typpi ja sellutehtaan NOx-päästöt” (kirjallisuuskatsaus). Työssä laaditaan julkisen kirjallisuuden (tieteelliset artikkelit, konferenssiesitykset, opin- näytetyöt, erilaiset raportit) pohjalta katsaus, joka tarkastelee metsäteolli- suuden käyttämien puulajien typpikysymystä seuraavasti:

- eri puulajien typpipitoisuudet puun iän, kasvupaikan, kasvuympäristön, puun eri osien ym. tekijöiden suhteen, pääpainon ollessa eurooppalai- sissa puulajeissa.
- typen esiintyminen puussa eri yhdistemuodoissa ja näiden käyttäytymi- nen puun sulfaattikeitossa.
- typen kiertokulku/käyttäytyminen sellutehtaan talteenotossa ja sitä kautta NOx-päästöjen muodostuminen.

Hinta ja laskutus

Toimeksiannon hinta on 9 000 €. Hintaan lisätään kulloinkin voimassa oleva arvonlisävero sekä mahdolliset ulkomaiset verot ja viranomaismaksut.

Työ laskutetaan kertalaskuna, kun työ on tehty ja kirjallinen raportti on toimi- tettu asiakkaalle.

Lisäksi veloitetaan matka- ja majoituskustannukset sekä päivärahat valtion matkustussäännön mukaisesti.

Maksuehdot

Maksuehto on 21 päivää laskun päiväyksestä. Viivästyskorko on korkolain mukainen.

Aikataulu

Työ toteutetaan kahden kuukauden kuluessa tilauksesta (kesälomakauden mahdollisesti aiheuttama pidennys huomioiden).

Raportointi

Tulokset raportoidaan joko VTT:n raporttimuodossa tai powerpoint-pohjai- sena esityksenä. Raportointikieli (suomi tai englanti) sovitaan erikseen.

Muut ehdot

VTT:llä on oikeus mainita toimeksiannon ja toimeksiantajan nimet refe- renssinään.

Tätä tarjousta tai sen sisältämiä tietoja saa hyödyntää vain VTT:n ja tar- jouksen saajan välisessä suhteessa. Tämän tarjouksen osittainenkin kopioi- minen, muuttaminen, edelleenluovuttaminen tai käyttäminen muuhun tarkoi- tukseen ilman VTT:n lupaa on kielletty.

Toimeksiannon ulkopuoliset työt veloitetaan erikseen VTT:n laskutushintojen mukaan. Muutoin noudatetaan VTT:n yleisiä sopimusehtoja (liite 1).

31.3.2016

2 (2)

Yhteyshenkilö

VTT:ssä asiaa hoitaa:
Klaus Niemelä, Principal Scientist
Puh. 020 722 7469
Sähköposti: klaus.niemela@vtt.fi

Voimassaolo

Tarjouksemme on voimassa edellä mainituin ehdoin 30 päivää tarjouksen päiväyksestä. VTT laatii tilausvahvistuksen, jos tilaus poikkeaa tarjouksesta tai tilaus on suullinen. Näissä tapauksissa tilaus astuu voimaan, kun VTT on sen vahvistanut.

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy



Tiina Liitiä
Research Team Leader

LIITTEET

1

VTT yleiset sopimusehdot

Hyväksyminen

Hyväksymme yllä olevan tarjouksen ja teemme tarjouksen mukaisen tilauksen:

LIITE 10

**YTR: YTR: Oy Sirra Ab, Viherlipeäsakan syrjäytyspesu,
osa 2 – tarjous 29.3.2016**

VIHERLIPEÄSAKKALIETEEN SYRJÄYTYSPESU, OSA 2

Tausta:

Syrjäytyspesun tarkoituksena on pestä viherlipeä, eli liukoiset alkalisuolat, pois viherlipeäsakasta ilman meesaa, ja siten vähentää kaatopaikalle menevän sakan määrää noin puolella (verrattuna pre-coat suotimeen).

Arvioiden mukaan Suomessa syntyy noin 80 000 tonnia viherlipeäsakkaa vuodessa. Kaatopaikkajätteen määrää voidaan siten vähentää merkittävästi, kuten myös siihen liittyviä kustannuksia. Syrjäytyspesussa sakka pestään vedellä pystysuorassa putkijärjestelmässä vastavirta-periaatteella. Vuonna 2015 toteutetussa hankkeessa ”Viherlipeäsakan syrjäytyspesu” kokeiltiin syrjäytyspesumenetelmän toimivuutta. Todettiin että menetelmä toimii, ja että sakasta voidaan poistaa natrium- ym. vesiliukoiset suolat tällä tavalla. Pää tarkoituksen ollessa toimivuuden selvittäminen, kattavia analyysejä tuotteista ei vielä tehty.

Tavoite:

Tämän hankkeen tarkoituksena on selvittää viherlipeäsakan raskasmetallipitoisuudet syrjäytyspesun jälkeen, ja mitkä haitalliset aineet mahdollisesti kulkeutuvat takaisin kemikaalikiertoon tuotelipeän mukana. Verrataan myös pitoisuudet pre-coat suodatetun sakan pitoisuuksien kanssa.

Toteutustapa:

Analysoidaan hankkeessa ”Viherlipeäsakan syrjäytyspesu” osa 1 otettuja näytteitä erityisesti raskasmetallien osalta. Erityisen tärkeitä ovat kadmium ja lyijy. Muut hivenaineet ovat mahdollisen hyötykäytön kannalta merkitseviä, ajatellen ensisijaisesti metsä- tai muu lannoitekäyttöä.

Syrjäytyspesun lopullinen tarkoitus on käsitellä viherlipeäsakka kokonaan tai lähes kokonaan hyötykäyttökelpoiseksi, ja siten eliminoida jätevirta mahdollisimman pitkälle. Pesu antaa paremman lähtökohdan jatkokäsittelymenetelmille kuin perinteinen pre-coat suodatus, meesan jäädessä pois. Tuote on myös likimain neutraali, mikä helpottaa sen käsittelyä edelleen esim. vaahdotuksella tai happokäsittelyllä.

Työt:

1. Jo olemassa olevista näytteistä määritetään MS-ICP:llä tai OES –ICP:llä raskasmetallit tai hivenaineet. Suuri joukko aineita saadaan yhdellä ajolla, ja tätä pyritään hyödyntämään.
 - Tutkittavat ainevirrat:
 1. Viherlipeäselkeyttimen alite (sakkaliete)
 2. Pesty sakka
 3. Happokäsitelty sakka
 4. Lipeävirta
 5. Pre-coat suodatettu sakka
 - Happokäsittelyn sakan analyyssillä saadaan esille jos happo on poistanut merkittäviä määriä esim. kadmiumia ja lyijyä. Analyysin tarkoituksena on antaa viitteitä siitä, millainen jatkokäsittelyprosessi voisi olla. Vaahdotus on osoittautunut vaikeaksi, kun happokäsittely taas on noussut mahdolliseksi vaihtoehdoksi, kun hapon kulutus näyttää melko pieneltä.

2. Pestystä sakasta tehdään röntgendiffraktiomääritys. Selvitetään mineraalikoostumus, ja erityisen mielenkiinnon kohteena on pirssoniitti, $\text{Na}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, joka sitoo natriumia ja samalla kasvattaa jätteen määrää. Mineraalikoostumus antaa myös viitteitä siihen, millainen jatkokäsittelyprosessi voisi olla.
3. Pestyn sakan liukoisuustestaus ravistelukokeella (SFS-EN 12457-3) ("kaatopaikkaselvitys")
 - Selvitetään vain liukenevien aineiden pitoisuudet kaatopaikkakelpoisuutta ajatellen.
4. Tuloksien kokoaminen, tarkastelu ja raportointi.

Tuloksien perusteella mietitään jatkokäsittelyvaihtoehtoja, joiden tarkoituksena on hyötykäyttö ja haitallisten aineiden poistaminen, ja kaatopaikkajätteen mahdollisimman pitkälle eliminointi.

Kustannukset ja aikataulu

Labtium:

Raskasmetallianalyysit 295 e per näyte x 5 näytettä =	1 475 euroa + ALV
Liukoisuustestaus ravistelukokeella	750 euroa + ALV
Toimitus-, raportointi- ja käsittelykulu	60 euroa

Oy Sirra Ab

Tuloksien käsittely ja raportointi, yleistyöt	5 000 euroa + ALV
---	-------------------

YHTEENSÄ:

7 285 euroa + ALV

Työ tehdään kevään ja kesän 2016 aikana.

LIITE: Tarjous analyyseista projektiehdotukseen "Viherlipeäsakan syrjäytyspesun jatkotyö"

Suomen Soodakattilayhdistys
Markus Nieminen/ Antti Tikkanen

Päivitetty tarjous analyyseista projektiehdotukseen ”Viherlipeäsakan syrjäytyspesun jatkotyö”

Päivityksen syy: Alkuaineiden ja näytteiden lukumäärä täsmentynyt.

Tarjouksemme käsittää kaksi osiota, joista ensimmäisessä määritetään alkuaineiden kokonaispitoisuudet viidestä näytteestä ja toisessa tehdään pesun jälkeiselle lopputuotteelle liukoisuustesti eli selvitys kaatopaikkakelpoisuudesta.

Hinnat eivät sisällä arvonlisäveroa (ALV). Lisäksi laskun loppusummaan lisätään vielä näyte-eräkohtainen toimitus-, raportointi- ja käsittelykulu, joka on 60 € (+ALV)/tilaus. Minimilaskutuksemme on 360 € (+ALV).

1. Alkuainemääritykset, kokonaispitoisuudet

Määritettävät alkuaineet:

- Al, B, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sb, Se, Si, Sr, V, Zn
- Hinta: 295 €/näyte => 5 näytteen osalta 1475 €.

2. Liukoisuustestaus ravistelukokeella (SFS-EN 12457-3) (“kaatopaikkaselvitys”)

Valtioneuvoston päätös kaatopaikoista (861/1997 ja muutos 202/2006)

Täydellinen kaatopaikkaselvityslausunto edellyttää asetusten mukaan myös tiettyjen orgaanisten yhdisteiden, kuten PAH-yhdisteet, PCB jne, analysointia. Koska viherlipeäsakassa näitä yhdisteitä tuskin esiintyy, ehdotan, että tässä ensimmäisessä vaiheessa keskitytään vain liukenevien, haitallisten aineiden tutkimiseen. Kyseessä ei siis täten ole täydellinen kaatopaikkaselvitys.

Hinta ilman orgaanista osuutta: 750 €. Liukoisuustestaus sisältää seuraavat toimenpiteet ja analyysit:

- Menetelmä: SFS-EN 12457-3: Kaksivaiheinen ravistelutesti
- Uuttoliuos mitataan käyttäen ICP-OES, ICP-MS ja CVAFS-tekniikoita sekä pyrolyytisesti ja ionikromatografilla. Raportissa ilmoitetaan standardin mukaisesti lasketut aineiden kumulatiiviset pitoisuudet yksikössä mg/kg.
- Määritettävät alkuaineet/anionit
 - o As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Zn
 - o fluoriidi, kloridi ja sulfaatti
 - o liennut orgaaninen hiili (DOC)

3. Kokonaishinta

Työn kokonaishinta on 2285 € sisältäen metallimääritykset 5 näytteestä, liukoisuustestin yhdestä näytteestä sekä näyte-eräkohtaisen toimitus-, raportointi- ja käsittelykulun (60 €).

Espoo 1.4.2016



Jorma Torniainen

LIITE 11

**LTR: ÅA, Understanding Low Temperature Corrosion in BL
Combustion, Phase 3-tarjous/tutkimussuunnitelma 14.12.2015**

Draft Proposal: Understanding Low Temperature Corrosion in BL Combustion – Phase 3

Prepared by: Nikolai DeMartini; Emil Vainio; Patrik Yrjas & Leena Hupa

14 December 2015

In our work on SKY projects on low temperature corrosion, we have established that there is no sulfuric acid dew point in Kraft recovery boilers and that the lowest temperature flue gases can be lowered to is determined by the hygroscopic nature of salts that condense on steel surfaces. We have studied the corrosion of carbon steel under hygroscopic salts at isothermal conditions. The conditions used in phase 2 are given in Table 1. The key finding was that for most salts/H₂O concentrations, 110 °C was a temperature where corrosion was not observed except for NaHSO₄.

This is a proposal for a DI student to study four topics to carry this earlier work further:

- o More salts from boilers including some samples with at least slightly acidic salts (ex. Heinola)
- o Determine if acidic gases (SO₂, HCl) impact the extent of corrosion
- o Some longer runs (time and conditions to be agreed on with SKY)
- o Gradient furnace tests

More salts

In phase 2 we looked at two precipitator ashes from the same mill, but firing black liquor from different wood species. Both of these ashes had at least some carbonate present. It would be worthwhile to look at ashes that could contain at least some NaHSO₄. We saw in our earlier studies that NaHSO₄ is extremely hygroscopic. It may result in some water absorption at significantly higher temperatures than ashes without NaHSO₄.

Acidic gases

Acidic gases are not expected to influence corrosion under dry conditions. However, we would like to confirm that these gases are not dissolved in absorbed water. If they are, this could result in greater corrosion through the formation of an acidic solution. To test this idea we will run parallel tests with and without acidic gases present and compare the extent of corrosion.

Longer runs

Our runs have been 4 or 24h. Four hours appears to be long enough to see corrosion, but at higher temperatures, it is not long enough to measure the extent of corrosion. It is also a very short time so from an industrial perspective, some longer tests would be useful. Which conditions and the length of the tests will be agreed upon with SKY.

Gradient furnace tests

In the isothermal tests, both the metal and gas are at the same temperature, but in the case of heat transfer surfaces in a flue gas, the metal is at a lower temperature than the gas. We know for example from long term probe tests in the economizer region and short term probe tests after the ESP that in Kraft recovery boiler, the temperature of the probe has to be near the dew point for corrosion to occur. However, in our isothermal tests where the gas temperature is much lower, we have corrosion at much higher metal temperatures. Therefore, select tests in a gradient furnace would provide some useful information about how to understand the impact of both metal and flue gas temperature as it relates to water absorption and low temperature corrosion.

Deliverables

A DI thesis would be completed within 1 year of approval of the plan. Changes will be made to the proposal based on comments from SKY.

Cost

The cost for the work planned here is **25 000€** + VAT.

Table 1. Conditions for corrosion tests in phase 2. All tests carried out with carbon steel coupons under a gas atmosphere containing O₂, CO₂ H₂O and N₂.

Salt	H ₂ O (vol%)	Temp (°C)	Time (h)
Na ₂ SO ₄	27	80	4
		90	4
	60	100	4
		100	24
		110	24
Na ₂ CO ₃	80	90	4
		100	4
		110	24
		120	24
Na ₂ SO ₄ -Na ₂ CO ₃ (90:10)	27	80	24
NaCl	80	110	24
		120	24
KCl	80	110	24
		110	4
		120	24
PA1	27	70	24
		80	24
		90	24
		100	24
		110	24
	60	100	4
		110	4
		120	4
	80	110	24
PA2	27	100	4
		110	4
	60	100	4
		110	4
NaHSO ₄	0	150	4
	27	80	4
		90	4
	60	120	4
		130	4
		140	4
		150	4

LIITE 12

**LTR: ÅA, Writing of texbook "Chemistry of biomass combustion" -
tarjous/tutkimussuunnitelma 14.12.2015**

Proposal: Writing of textbook “Chemistry of biomass combustion”

Prepared by: Markus Engblom and Nikolai DeMartini
29 March 2016

A textbook with the working title “Chemistry of biomass combustion” is planned to be written at Åbo Akademi University. The book would represent over 25 years of concentrated knowledge on combustion chemistry, and it would be a unique book focused on the role of chemistry in biomass combustion processes.

The content of the book would be valuable knowledge for a graduating engineer starting his/her career in any field of industry related to combustion. In addition, the book would be useful as a reference tool for engineers in industry. The table of contents is found as attachment to this proposal.

The editorial team of the book consists of Professor Mikko Hupa and researchers Nikolai Demartini and Markus Engblom. Several researchers at the Laboratory of inorganic chemistry at Åbo Akademi are planned to be involved as chapter authors. Acknowledged authorities within the field of biomass combustion working in academia and industry will function as chapter reviewers.

So far, the planned book has received support in the form of endorsements from several companies (Amec Foster Wheeler, Andritz, Clyde-Bergemann, International Paper, UPM-Kymmene, Valmet). The endorsement letters are found as attachment to this proposal.

The estimated man months for writing and editing the book chapters are included in the attached table of contents. A total of 15.5 man months is estimated to be needed. This corresponds to 149 000 euro. Part of the work is planned to be carried out by persons with own financing. In addition, the Laboratory of inorganic chemistry can cover some of the remaining costs, and a large portion of the work will in practice be done without compensation, leaving a threshold sum of about 60 000 euro needed as external financial support.

The amount applied for from Soodakattilayhdistys is 20 000 euro. The funding applied for would be used to cover cost for writing and editing of the book. The writing of the book and funding applied for would be conditional on the book project receiving a threshold amount of funding.

We are currently in the process of applying for additional funding from other sources. So far, we have received a commitment from the Finnish Flame Research Committee to support the book with 20 000 euro, with possible 10 000 euro additional support to be decided on later in case this sum would be needed to bring the total support to the threshold amount.

Summary of current and planned financial support

FFRC: 20 000 euro commitment +10 000 euro to be decided on later if needed

SKY: applied sum 20 000 euro

Remaining financing to be applied for from foundations / funds: 20 000 euro

Chemistry of biomass combustion

Table of contents

Estimated man months given in parenthesis

1. Introduction (1.5 mm)
 - 1.1. Fuel energy utilization – importance of combustion
 - 1.2. Towards more efficient and cleaner combustion – importance of understanding combustion chemistry
 - 1.3. “What is a steam boiler and what does it do?”
2. Gas burning - fundamental gas flames (1.5 mm)
 - 2.1. Premixed flame
 - 2.2. Non-premixed / diffusion flame
3. Fuel Analysis and Burning Characteristics (1.5 mm)
 - 3.1. Why is fuel characterization important - implications for practical boiler design and operation
 - 3.2. Burning of solid and char forming fuels – stages of combustion
 - 3.3. Proximate analysis
 - 3.4. Ultimate analysis
 - 3.5. Elemental analysis
 - 3.6. Ash and ash-forming matter
 - 3.7. Heating value
 - 3.8. A look at selected fuels – their characteristics, similarities and differences
 - 3.8.1. Coal, Wood, Torrefied biomass, Pyrolysis oil, Agro fuels, RDF, ...
4. Combustion Technologies – principles and practice of selected fuel conversion techniques (1.5 mm)
 - 4.1. Burner firing and pulverized fuel combustion
 - 4.2. Grate firing
 - 4.3. Fluidized bed combustion
 - 4.3.1. Bubbling fluidized bed
 - 4.3.2. Circulating fluidized bed
 - 4.4. Black liquor recovery boiler

5. Theoretical analysis of combustion processes - the process engineers' "Toolbox" (1.5 mm)
 - 5.1. Stoichiometry / mass and energy balances
 - 5.1.1. Air factor
 - 5.1.2. Flue gas calculation
 - 5.2. Chemical equilibrium
 - 5.2.1. Closed system (example: gas composition as function of temperature)
 - 5.2.2. Open system (example: deposit in contact with flue gas)
 - 5.2.3. Adiabatic flame temperature
 - 5.3. Kinetics
 - 5.3.1. Gas phase kinetics
 - 5.3.2. Char oxidation kinetics
 - 5.4. Mixing - mass transfer in combustion
6. Emissions (3 mm)
 - 6.1. Unburned gases – incomplete combustion
 - 6.1.1. CO, H₂, C_xH_y
 - 6.2. Acidic gases
 - 6.2.1. NO_x
 - 6.2.1.1. Formation (fuel, thermal, prompt)
 - 6.2.1.2. Effect of firing technique and boiler operational parameters
 - 6.2.1.3. Mitigation (primary measures, secondary: SNCR, SCR)
 - 6.2.2. SO_x
 - 6.2.2.1. Formation, reduction/capture
 - 6.2.2.2. Mitigation (primary and secondary measures)
 - 6.3. Greenhouse gases
 - 6.3.1. CO₂, H₂O, CH₄, N₂O
 - 6.4. Particulate matter – fly ash
 - 6.4.1. Heavy metals
 - 6.4.2. Dioxins, furans, and PAH
 - 6.5. Combustion process interactions – "If one emission component is minimized, what happens to the others?"
7. Fuel ash (2 mm)
 - 7.1. Ash related challenges in practical boiler operation
 - 7.2. Ash deposits and melting behavior
 - 7.3. Heavy metals
 - 7.4. Boiler cleaning, ash removal, and ash utilization

8. Corrosion (2 mm)

8.1. Ash deposits

8.2. Gas phase corrosion

8.3. Dew point corrosion

8.4. Corrosion in different parts of boilers – players and mechanisms

Editing of figures/tables/layout (1 mm)

Man months in total: 15.5

Varkaus, 31.8.2015

International Flame Research Foundation – Suomen kansallinen osasto, FFRC

To whom it may concern,

I have reviewed the proposed plan for a book on combustion chemistry edited by Professor Mikko Hupa. This book would represent over 25 years of concentrated knowledge on combustion chemistry. This would be a unique book focused on the role of chemistry in combustion processes.

This is valuable knowledge for a graduating engineer starting his/her career in any field of industry related to combustion. This is also a book that we feel would be useful for our engineers as reference tool. I am therefore writing to endorse the application for funding from the FFRC in support of this book project.



Edgardo Coda Zabetta, Dr.
Director, R&D and Patents, Amec Foster Wheeler
[Relanderinkatu 2, Varkaus, 78201, Finland]
D +358 10 393 7845 M +358 400 250 712
edgardo.coda@amecfw.com amecfw.com

International Flame Research Foundation – Suomen kansallinen osasto, FFRC

To whom it may concern,

I have reviewed the proposed plan for a book on combustion chemistry edited by Professor Mikko Hupa. This book would represent over 25 years of concentrated knowledge on combustion chemistry. This would be a unique book focused on the role of chemistry in combustion processes.

This is valuable knowledge for a graduating engineer starting his/her career in any field of industry related to combustion. This is also a book that we feel would be useful for our engineers as reference tool. I am therefore writing to endorse the application for funding from the FFRC in support of this book project.

Respectfully Yours,



Keijo Salmenoja
Technology Director
ANDRITZ Oy

ANDRITZ Oy

Tammasaarencatu 1

FI-00180 Helsinki, Finland

Phone: +358 (0)20 450 5555

Fax: +358 (0)20 450 5109

www.andritz.com

Domicile/Kotipaikka: Helsinki

VAT: FI10453978

Y-tunnus: 1045397-8

Invoicing address:

ANDRITZ Oy

P.O. Box 34

FI-57101 Savonlinna, Finland

Other locations in Finland:

Hollola, Kotka, Savonlinna,

Tampere, Varkaus



Clyde Bergemann GmbH, Postfach 10 01 18, 46485 Wesel

International Flame Research Foundation –
Suomen kansallinen osasto,
FFRC

Ihre Zeichen:
Your ref.

Ihre Nachricht vom
Your message dt.

46485 Wesel, Schillwiese 20
Wesel, 7.9.2015

To whom it may concern

I have reviewed the proposed plan for a book on combustion chemistry edited by Professor Mikko Hupa. This book would represent over 25 years of concentrated knowledge on combustion chemistry and it would be a unique book focused on the role of chemistry in combustion processes. This is valuable knowledge for a graduating engineer starting his/her career in any field of industry related to combustion. We think this is also a book that would be useful for our engineers as reference tool.

Therefor I am writing to endorse the application for funding from the FFRC in support of this book project.

Clyde Bergemannn GmbH



Dr. Christian Mueller
Managing Director



Zentrale/Head Office:

Gesch.-F./President:

Bank:
Commerzbank AG
Deutsche Bank AG

Clyde Bergemann GmbH - Maschinen- und Apparatebau - Schillwiese 20 - D-46485 Wesel
Tel./Phone: +49 281 815-0 Teletax: +49 281 53750 - www.clydebergemann.de

Dipl.-Ing., MSc. Franz Bartsch (Vorsitzender/CEO), Dipl.-Ing., B.ENG (HONS) Ralph Ludwig, Dr.-Ing. Christian Mueller
Reg.-Gericht: Duisburg, Handelsreg.: HRB 11 205 - USt/VAT: DE 81 11 29 685 - Finanzamt Wesel: 130/5916/0276

Kto./Acc.:
132415100
016835700

BLZ:
35040054
35070030

IBAN:
DE91 3564 0064 0132 4151 00
DE22 3507 0030 0010 6357 00

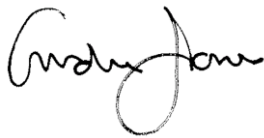
SWIFT:
COBA DE FF 366
DEUT DE DE 360

International Flame Research Foundation – Suomen kansallinen osasto, FFRC

To whom it may concern,

I have reviewed the proposed plan for a book on combustion chemistry edited by Professor Mikko Hupa. This book would represent over 25 years of concentrated knowledge on combustion chemistry. This would be a unique book focused on the role of chemistry in combustion processes. Information of this nature specific to the combustion of biomass is not presently available in an organized and peer reviewed format.

The proposed contents will be valuable knowledge for a graduating engineer starting his/her career in any field of industry related to combustion. In the pulp and paper industry we utilize a wide variety of biomass fuels and combustion methods, and where a fundamental understanding provided by the proposed contents will be an important building block for optimization of this equipment. This is also a book that we feel would be useful for our engineers as reference tool. I am therefore writing to endorse the application for funding from the FFRC in support of this book project.

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Andrew Jones". The signature is fluid and cursive, with a large loop at the end.

Dr. Andrew K. Jones

Senior Engineering Fellow

International Paper

September 1st, 2015

9/4/2015



**International Flame Research Foundation
Suomen kansallinen osasto, FFRC**

To Whom It May Concern,

I have reviewed the proposed plan for a book on combustion chemistry edited by Professor Mikko Hupa. This book would represent over 25 years of concentrated knowledge on combustion chemistry. This would be a unique book focused on the role of chemistry in combustion processes.

This is valuable knowledge for a graduating engineer starting his/her career in any field of industry related to combustion. This is also a book that we feel would be useful for our engineers as reference tool. I am therefore writing to endorse the application for funding from the FFRC in support of this book project.

Sincerely Yours

Antti Raukola
Manager, Power Plant Development
UPM Energy
Hatanpään Valtatie 24B
33101 Tampere, Finland

Endorsement letter	1/1
[Version]	
[Reference]	Sonja Enestam
Combustion Chemistry Book endorsement letter Valmet	4.9.2015

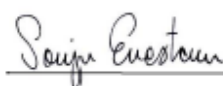
International Flame Research Foundation – Suomen kansallinen osasto, FFRC

To whom it may concern,

I have reviewed the proposed plan for a book on combustion chemistry edited by Professor Mikko Hupa. This book would represent over 25 years of concentrated knowledge on combustion chemistry. This would be a unique book focused on the role of chemistry in combustion processes.

This is valuable knowledge for a graduating engineer starting his/her career in any field of industry related to combustion. This is also a book that we feel would be useful for our engineers as reference tool. I am therefore writing to endorse the application for funding from the FFRC in support of this book project.

Turku, 4.9.2015



Sonja Enestam
Manager, R&D Customer Relations
Pulp & Energy-wide R&D
Valmet Technologies Oy

LIITE 13

**LTR: ÅA, Pulp mill deposit formation and aging – role of intra-deposit
alkali chloride transport - tarjous/tutkimussuunnitelma 14.12.2015**

Proposal: Pulp mill deposit formation and aging – role of intra-deposit alkali chloride transport

Markus Engblom, Daniel Lindberg, Leena Hupa

Background

Recent experiments carried out in the laboratory at Åbo Akademi University with granular salts have shown alkali chloride transport to occur within the deposit when a temperature gradient is present over the deposit. The practical implication of this is that Cl is transported towards the cooler heat transfer surface, resulting in a higher Cl concentration at the heat transfer surface than in the bulk. We want to know if this phenomenon occurs in deposits in recovery boilers and biomass boilers, particularly those firing bark. To accomplish this we will pull boiler deposits (both shorter and long term) from one recovery boiler and one biomass boiler.

For the laboratory experiments we have mixed NaCl or KCl with Na₂SO₄ or K₂SO₄, respectively, and melted the salts, then cooled and crushed the mixture. The melting gives us a uniform salt mixture. The ground salt is then placed on top of the test metal on an air cooled probe which is placed in an electrically heated oven. This results in a temperature gradient through the deposit. The temperatures chosen have been representative of the superheater region and result in a molten layer at the outer part of the deposit while the salt below this remains solid.

The transport of chloride takes place as gas phase diffusion. The vapor pressure of chlorides is higher than for the sulfate salt and the vaporized alkali chloride deposits on the cooler surface of the salt layer below it. The temperature difference over the deposit, thus drives the system to a new distribution of the alkali chloride in the deposit. Figure 1 shows alkali chloride crystals formed on top of salt grains within the deposits as result of the alkali chloride transport. Alkali chloride is also transported toward and deposited on the steel surface. As result of the transport the deposit chemical composition changes locally with time due to enrichment of alkali chlorides. In addition, the deposit densifies, that is, its porosity decreases with time.

The newly identified intra-deposit transport process occurs also in boiler environments. Based on published descriptions of deposit morphology, alkali chloride transport is concluded to take place in straw-fired boilers (see Figure 1). So far, deposits from pulp mill boilers have not been investigated since this area of research is new, and it is currently not clear to which extent alkali chloride transport affects the deposit morphology and chemistry in pulp mill boilers. It is expected to be more important in power boilers than recovery boilers because the deposits in recovery boilers are not porous, but this needs to be confirmed. The observed changes in deposit chemistry and morphology potentially have a role in superheater corrosion and deposit removability. There is a need for better understanding of the role of the temperature gradient induced alkali chloride transport in boiler deposit formation and aging.

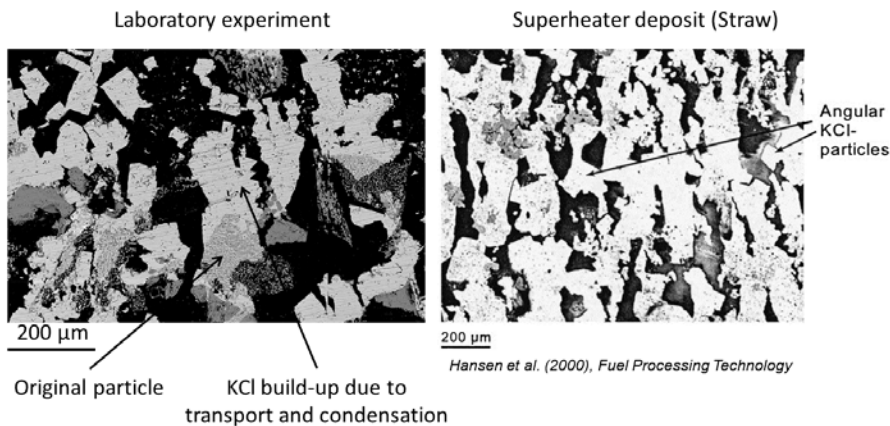


Figure 1. SEM/EDX deposit cross section images from laboratory experiments and boiler deposits showing localized build-up of KCl within deposits due to temperature gradient induced transport.

Objective

The objective of this work is to begin to establish how deposit morphology and chemistry depend on deposit formation and aging, especially on the aging processes connected to the deposit temperature gradient. Ultimately this new information can help the industry manage corrosion in the superheater region of recovery boilers and power boilers.

Description of work

The main activities of the proposed work would consist of deposit sampling at a Kraft recovery boiler and a bark boiler (BFB) and analysis of deposit cross sections using SEM/EDX. The sampling campaign is planned to be carried out in co-operation with one or more of the industrial partners in SKY. This proposal deals with funding to cover the Åbo Akademi part of the sampling campaign and deposit SEM/EDX and supporting analyses.

Boiler deposits are planned to be sampled/obtained in at least two locations along the flue gas path in the convective sections of the boilers. This provides information on the influence of heat transfer surface and flue gas temperatures, as well as deposit porosity. Deposit probes will be used to collect samples. By varying the exposure time of the probe inside the furnace, deposits of different age will be obtained. Comparison of the different-aged deposits provides information about the deposit aging process. Probe exposure times ranging from 20 minutes to 1000 hours will be used. In addition, deposit samples are planned to be collected from the boiler heat transfer surfaces during annual shut-downs.

The cross sections of the collected deposits will be analysed using SEM/EDX. Deposit cross sections will be analysed and compared to investigate the effects of deposit formation (e.g. carry-over vs. fume) and aging (e.g. evidence of alkali chloride transport). In addition, a deposit alkali chloride transport model developed at Åbo Akademi will be utilized to support analysis of the deposit SEM/EDX images. The transport model has earlier been shown to predict well the alkali chloride transport in laboratory deposits.

The expected outcome of the work is a better understanding of how pulp mill boiler deposits are formed and how their properties change during aging. In particular, this work is expected to

provide first evidence on the role of the intra-deposit temperature gradient induced alkali chloride transport in pulp mill boiler deposits.

Schedule

The work is expected to be completed during 2016.

Cost

The amount applied for is 15 000 euro.

LIITE 14
Fortum/VTT, Soodakattilan carry-over – tarjous/tutkimussuunnitelma
4.4.2016

Nieminen, Markus

Subject: FW: Soodakattiloiden carry overin hallintaa koskeva tutkimusprojektiehdostus /Fortum Power Solutions

Attachments: Kehitysprojektiehdotus_soodakattilat_carry-over_2016.docx; Liite1 _Sooda_mallinnus+carryOver.pdf

From: Viitasaari Osmo [<mailto:Osmo.Viitasaari@fortum.com>]
Sent: Monday, April 04, 2016 11:56 AM
To: Ala-Kaila Kari; Nieminen, Markus
Cc: Dernjatin Pauli
Subject: RE: Soodakattiloiden carry overin hallintaa koskeva tutkimusprojektiehdostus /Fortum Power Solutions

Hei,
Tarkennuksena vielä aiheeseen, että projektiehdotuksen lopussa "esim. Andritz vastaa..." tarkoittaa lähinnä sitä, että olemme Andritzin ja VTT:n kanssa sopineet Andritzin VTT:llä teettämien CFD-laskentamallien hyödyntämisestä tämän projektin yhteydessä sen toteutuessa ja tältä pohjalta projekticasen lähtökohtana voisi olla Andritz-teknologiaan pohjautuva soodakattila ja sovellusympäristönä joku Metsä Fibre-, UPM- tai Stora Enso-tehdasympäristö.

Jos Soodakattilayhdistyksen puitteissa muut teknologiatoimittajat ovat kiinnostuneita soveltamaan ehdotettua ratkaisua case-kohteena, niin meidän pitäisi käydä vastaavat keskustelut VTT:n ja ko. teknologiatoimittajan kanssa – projektin tässä vaiheessa olemme siis aiheesta keskustelleet ainoastaan Andritzin kanssa, mutta muutkin vaihtoehdot ovat toki mahdollisia em. reunaehdoin. Lisäksi tuon esiin, että ehdotuksen taustalla olevaan ratkaisuun liittyy Fortum-patentti.

Jos tarvitsette vielä lisätietoja, voitte olla yhteydessä Pauliin 050 4532025 / Pauli voi soittaa vielä teille (Kari 050 598 9303 ja Markus 010 33 22525). Ymmärsimme, ettei Paulin läsnäolo kokouksessanne 6.4.2016 ole tarpeellinen.

Odottelemme sitten kokouksen kannanottoja jatkokuvioista.

Terveisin

Osmo Viitasaari
Manager, Customer Solutions Finland

Fortum, Nuclear and Thermal Power Division
Thermal Production and Power Solutions
POB 100, 00048 FORTUM, Finland
Piispanportti 10, Espoo
mobile +358 (0)50 45 32753
osmo.viitasaari@fortum.com
www.fortum.fi/powersolutions

1.3.2016

KEHITYSHANKE SOODAKATTILOIDEN SUORITUSKYVYN PARANTAMISEKSI**1 TAUSTA**

Selluprosessissa soodakattilan tarkoitus on toisaalta regeneroida mustalipeän aktiiviset kemikaalit ja toisaalta tuottaa mustalipeän puusta lämpöä ja sähköä. Suomen soodakattiloissa mustalipeä pisaroitetaan tyypillisesti lusikkasuuttimien avulla ja nämä sijaitsevat tyypillisesti kattilassa noin 5 – 6 metrin korkeudella kattilan pohjasta. Primäärisesti pisaroinnin tarkoitus on toisaalta tehostaa mustalipeän haihtuvien aineiden palamista ennen kekoa ja toisaalta saada mustalipeäpisanan kiinteät ainesosat kecoon. Keosta regeneroituneet kemikaalit poistuvat sularännin kautta keittoprosessiin. Tyypillisesti mustalipeäsuuttimien alapuolella sijaitsevat sekä primääri- ja sekundääri-ilmasuuttimet. Tertiääri-ilmasuuttimet sijaitsevat lipeäsuuttimien yläpuolella typen oksidien takia. Keon kemialle on edullista korkea lämpötila ja hapen suhteen redusoidut olosuhteet.

Kuitenkin soodakattiloissa osa mustalipeäpisaroista kulkeutuu palamiskaasujen mukana kattilan yläosaan käytännössä palamattomana törmäten tulistimiin. Tästä on seurauksena tulistimien likaantuminen ja niitä joudutaankin ajoittain pesemään. Soodakattilaterminologiassa puhutaan ”carry over” ja sillä tarkoitetaan nimenomaan tätä väärään paikkaan joutuvaa mustalipeää. ”Carry over” lisää tulistimien pesutarvetta ja korroosiota. Lisäksi siitä tulee kemikaalihukkaa. Tulevaisuudessa myös soodakattiloissa tulee kysymykseen rakennusasteen parantaminen nostamalla höyryn lämpötiloja; tätä estää ”carry over” johtuen sen korroosiotaipumuksesta putkien pintalämpötilan noustessa.

Polttoteknisesti soodakattila muistuttaa hyvin paljon kerrosleijukattilaa (BFB), mutta pedin paikalla on keko. Molemmissa on tarkoitus viedä polttoaineen kiinteät osat niin paljon kuin mahdollista petiin/kecoon. Se polttoaine, mikä ei päädy ”carry over” petiin/kecoon, palaa väärässä paikassa ja usein tulistimilla asti ja on hyvin haitallista.

Myös kerrosleijukattiloissa varsinkin hienojakoinen polttoaine voi lentää suoraan palamattomana palamiskaasujen mukana tulistinalueelle. Näissä tapauksissa, varsinkin korkean alkalipitoisuuden omaavilla polttoaineilla, on havaittu erittäin haitallista tulistinalueen likaantumista. Eli myös kerrosleijukattiloissa tunnetaan ”carry over” ilmiö ja se on samalla tavalla haitallista kuin soodakattiloissa.

Fortumilla on yli 10 vuoden kokemus kerrosleijukattiloiden ”carry over” vähentämisestä; erityisesti Jyväskylän Energian Rauhalahden (polttoaineteho 290 MW) ja Fortumin Joensuun (Polttoaineteho noin 180 MW) kerrosleijukattiloilla.

Molemmissa edellä mainituissa laitoksissa havaittiin taannoin, biopolttoaineen lisääntyessä, erittäin haitallista tulistinalueen likaantumista. CFD-pohjaisilla tutkimuksilla voitiin tällöin todentaa tulistinalueen haitallisen likaantumisen johtuneen ”carry over” ilmiöstä eli pienet puu- ja turveperäiset palamattomat polttoainepartikkelit pääsivät

1.3.2016

ilmajärjestelmän läpi tulistinalueelle palamisen ollessa vielä kesken – havaittiin kipinöintiä.

Tämä ongelma saatiin ratkaistua parantamalla polttoainepartikkelien ohjautuvuutta petiin ilmavirtojen avulla ja tehostamalla sekundääri- ja tertiääri-ilmojen sekoitusta. Yhteenvetona kyse oli puutteellisesta polttoteknisestä suunnittelusta.

2

TUTKIMUSPROJEKTI-EHDOTUS

Kerrosleijukattiloista saatujen rohkaisevien kokemusten perusteella Fortum ehdottaa vastaavanlaisen tarkastelun suorittamista soodakattiloille. Uudessa ratkaisussa parannetaan mustalipeäpisaroiden ohjautuvuutta ilmojen avulla kohti kekoa. Parantamalla mustalipeäpisaroiden ohjautuvuutta ilmojen avulla, saadaan enemmän pisaroiden kiintoaineksesta kekoon. Lisäksi pisaroiden ympärille tuotu ilma tehostaa mustalipeän haihtuvien komponenttien palamista ennen kekoa. Jälkimmäinen ilmiö nostaa keon yläpuolisen osan lämpötilaa nopeuttaen keon keittokemikaalien regenerointia. Myös höyrymäiset likaavat komponentit ”fume” huomioidaan.

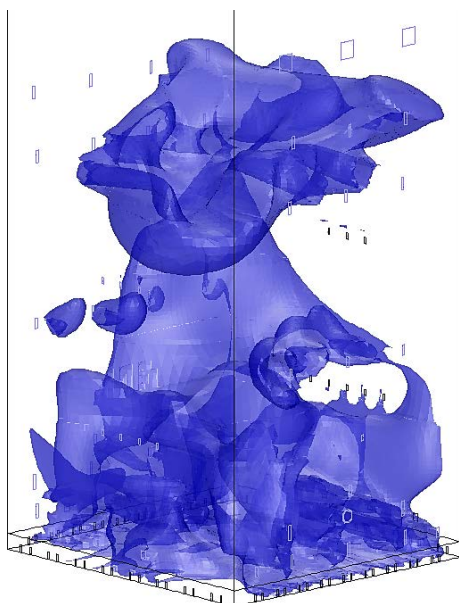
Uuden tutkimusprojektin tavoitteena on kehittää soodakattiloille uusi polttotekniikka erityisesti ”carry over” vähentämiseksi. Lisäksi tavoitteena on vähentää typen oksidien päästöjä polttoteknisesti 20 % nykyisestä tasosta tehostamalla keon yläpuolisen osan palamista.

”Carry over” vähentämisen tavoitteena on lisätä soodakattilan pesuväli noin 15 – 18 kuukauteen kun nykyisin voi olla useita pesujakin vuodessa. Lisäksi se vähentää kemikaalihäviöitä ja tulistinalueen korroosiota. Tällöin myös soodakattilan rakennusasteen nosta on mahdollista. Kun soodakattiloiden pesuväli saadaan > 15 kuukautta niin siitä pelkästään aiheutuu useiden miljoonien vuotuiset kustannussäästöt johtuen sellun tuotannon lisääntymisestä.

Fortum haluaa toteuttaa hankkeen hyödyntäen VTT:n soodakattilapohjaista CFD-osaamista. Lisäksi hankkeeseen osallistuu soodakattilavalmistaja, esim. Andritz.

Fortum on arvioinut tuotekehitys kustannuksiksi noin 90 000 euroa ja ehdottaa kustannusten jakoa kolmen suuren metsäyhtiöiden kesken eli Metsä Fibre, UPM-Kymmene ja Stora Enso tasajakoperiaatteella. Immateriaaliset oikeudet tulevat ensisijaisesti Fortumille ja esim. Andritz vastaa soodakattiloiden käytännön muutostöistä. Fortum toivoo metsäyhtiöiltä yhteistä päätöstä demonstraatiokattilan valinnasta. Parhaiten tarkoitukseen sopii soodakattila, jonka ”carry over” ongelma on ilmeinen.

LIITTEET Liite 1 Tausta-aineistoa



Soodakattilat

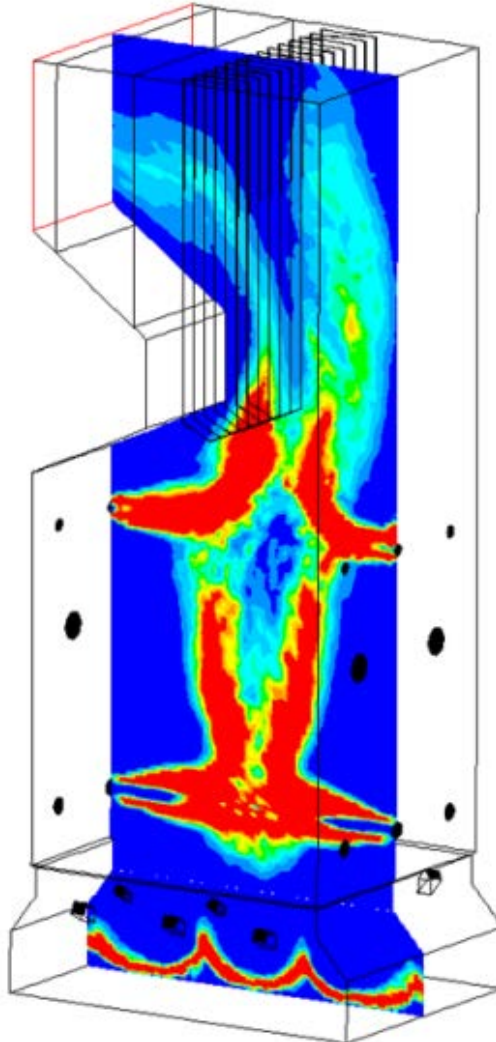
- esimerkki CFD-mallinnuksesta
- idea carry-overin vähentämiseksi

Pauli Dernjatin, Fortum

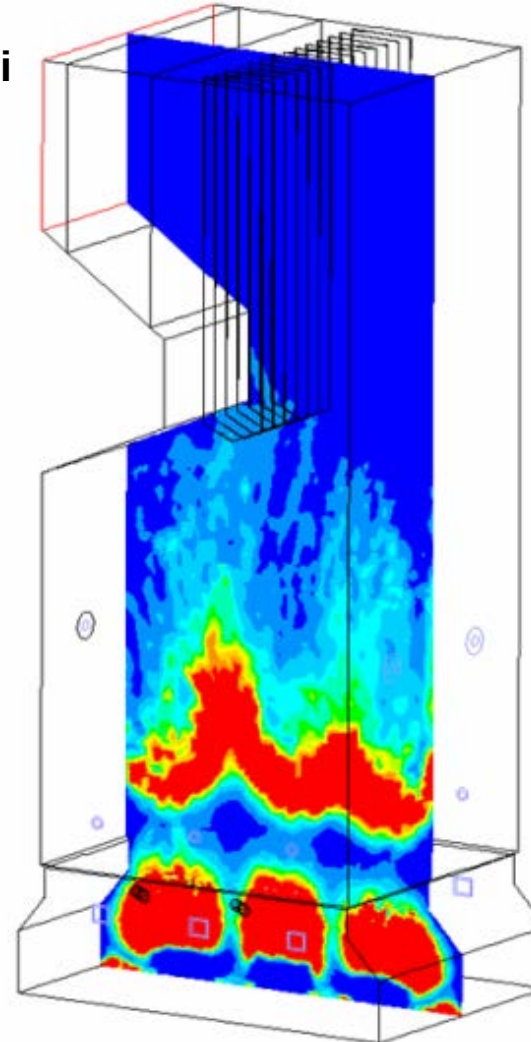
Perttu Jukola & Marko Huttunen VTT

Soodakattilat: Vertailuna BFB-kattilan laskentatuloksia

Vanha



Uusi

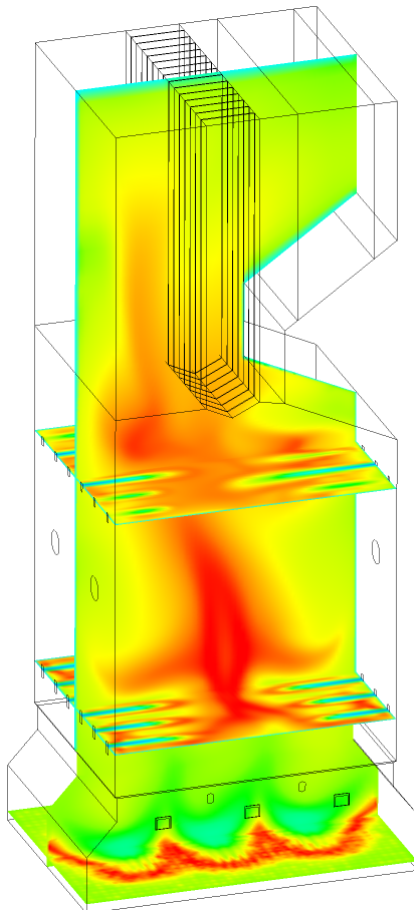


294MWf BFB-kattila: jäännöshiilen palamisnopeus, turve:bio = 70:30

Preliminary phase CFD results: combustion

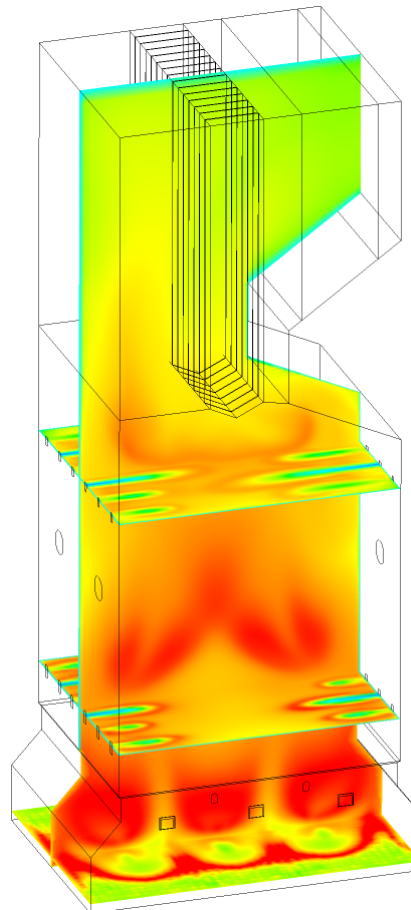
Standard operation

Bed heat load [kW/m²] 113
Relative CO 100



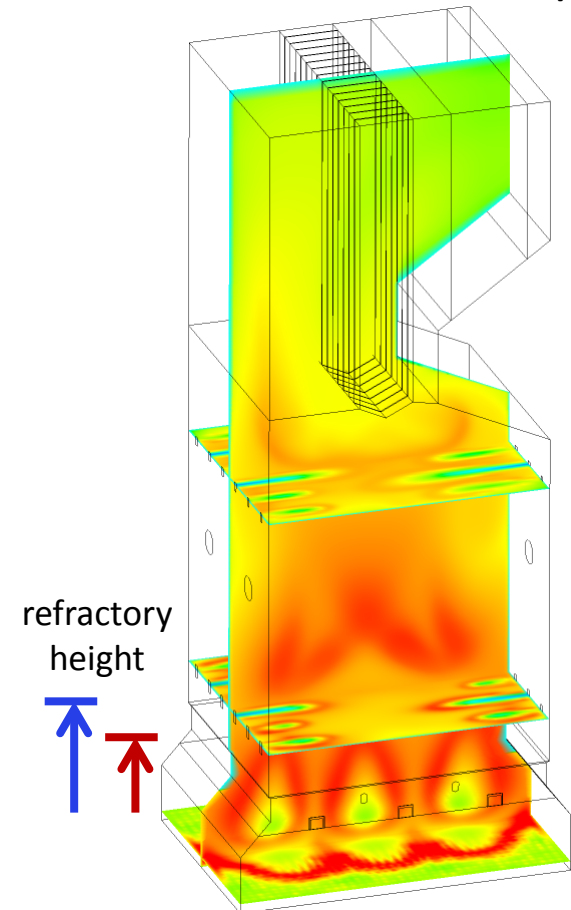
Enhanced AS, 2007

Bed heat load [kW/m²] 162
Relative CO 68



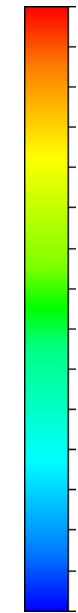
Enhanced AS, 2013

Bed heat load [kW/m²] 150 / 143
Relative CO 89 / 80



Temperature

HIGH



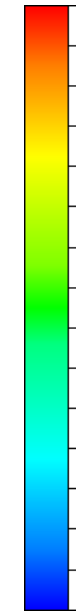
LOW

Preliminary phase CFD results: slagging

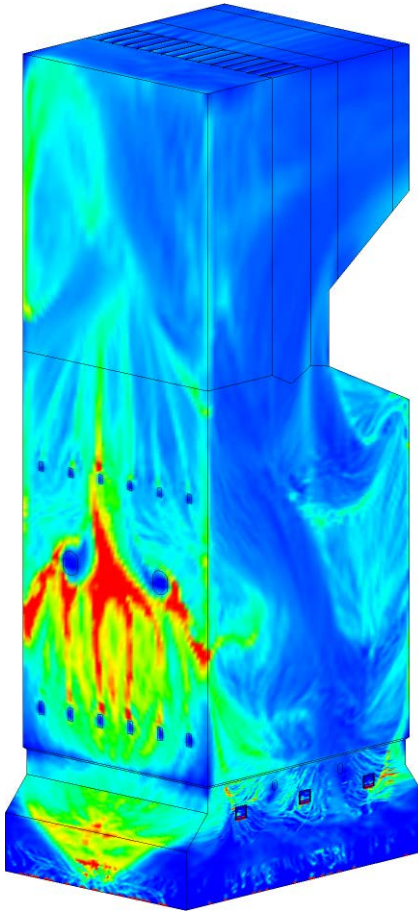
Standard operation

Fuel particle
concentration

HIGH

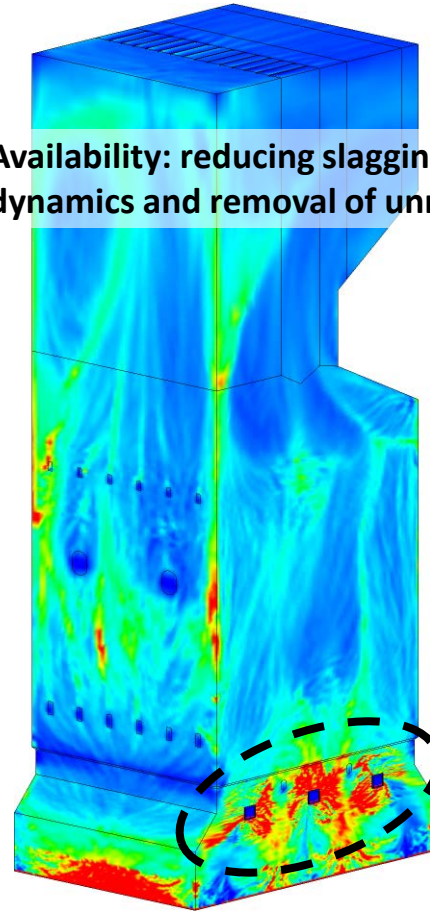


LOW

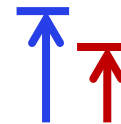


Enhanced AS, 2007

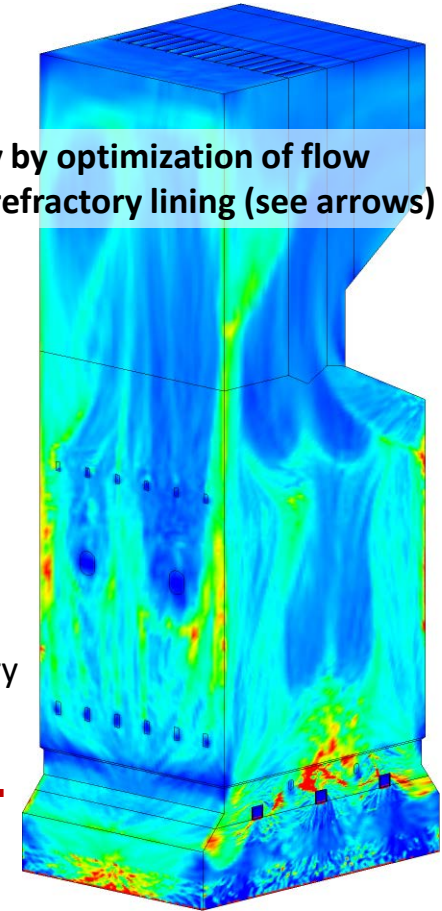
Availability: reducing slagging tendency by optimization of flow dynamics and removal of unnecessary refractory lining (see arrows)



refractory
height



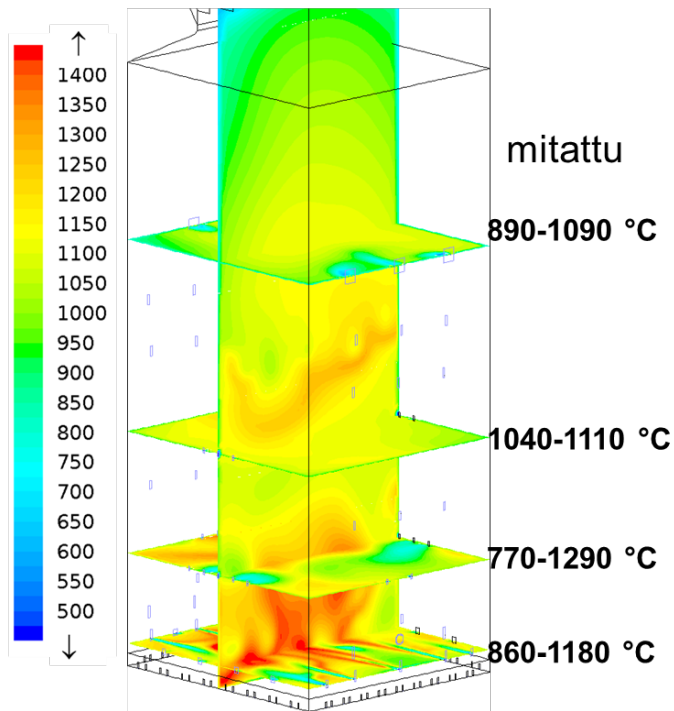
Enhanced AS, 2013



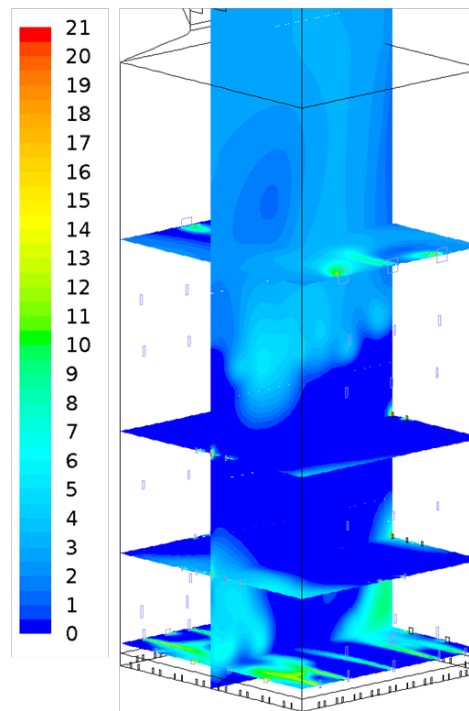
Soodakattilat: CFD-mallinnusesimerkki

Kapasiteetiltaan 4450 tds/d soodakattila,
kuorma 3100 tds/d

T [°C]



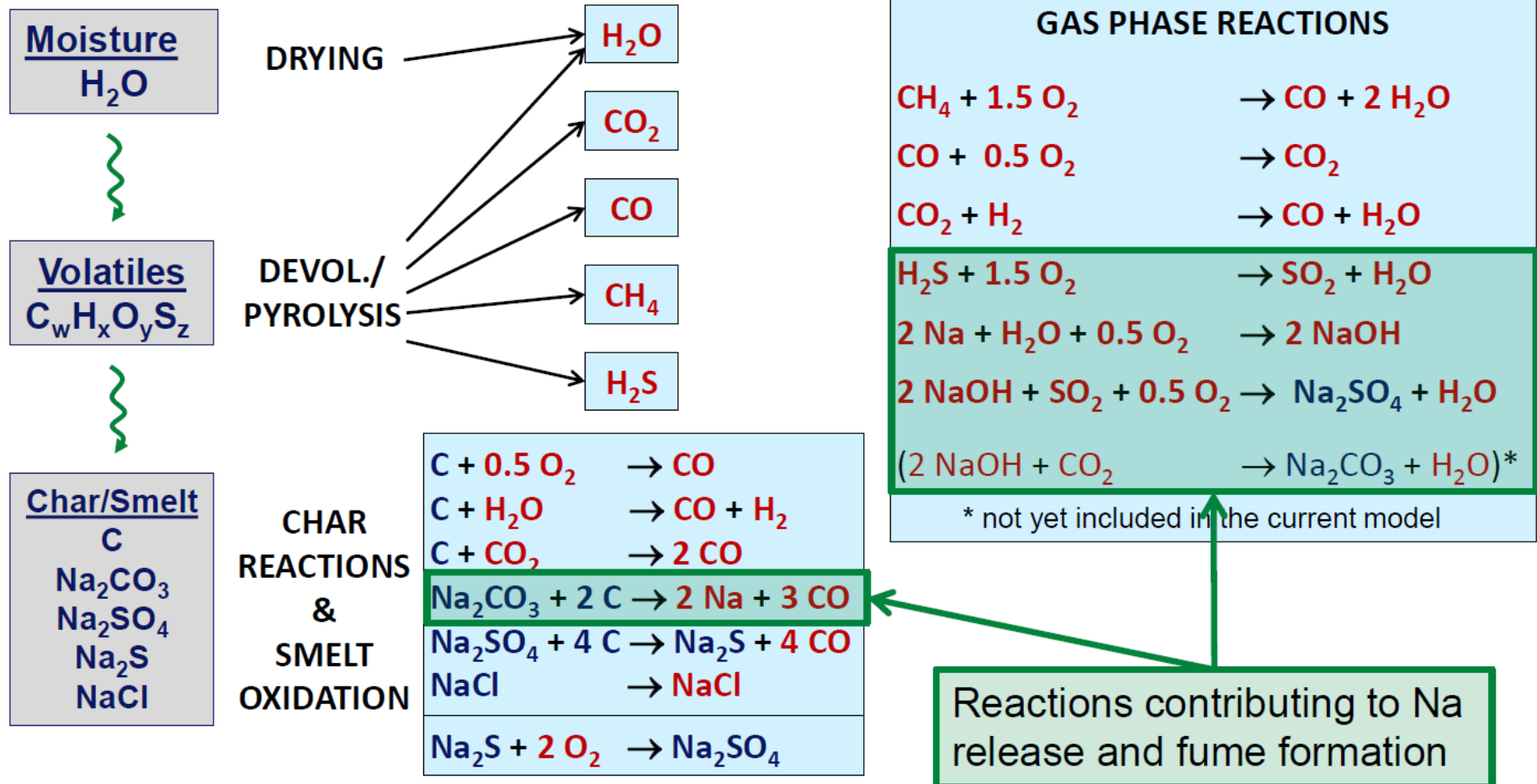
O₂ [til-%]



- VTT:llä on 15 vuoden kokemus soodakattiloiden virtausmallinnuksesta ja mallikehityksestä
- Käytännön työssä simuloitu lukuisa määrä eri soodakattiloita
- Tarkastelun kohteita esim.:
 - Palaminen
 - Lämmönsiirto
 - Päästöt (CO, NO_x)
 - Carry-over

Simplified reaction model for black liquor droplet combustion

gas
liquid/solid



New method for modelling sodium release

- Basis: P. McKeough's ideas presented in ICRC 2010 [1]
 - Postulate: sodium release thermodynamically constrained and thus limited by chemical equilibrium

- Formula to estimate $p_{\text{NaOH,eq}}$:

$$\lg(p_{\text{NaOH,eq}}) = 0.528 \cdot \lg(x_{\text{Na}_2\text{CO}_3,\text{init}}) - \frac{12760}{T} + 0.921 \frac{[\text{H}_2\text{O}]}{[\text{H}_2\text{O}] + [\text{CO}_2]} + 5.67$$

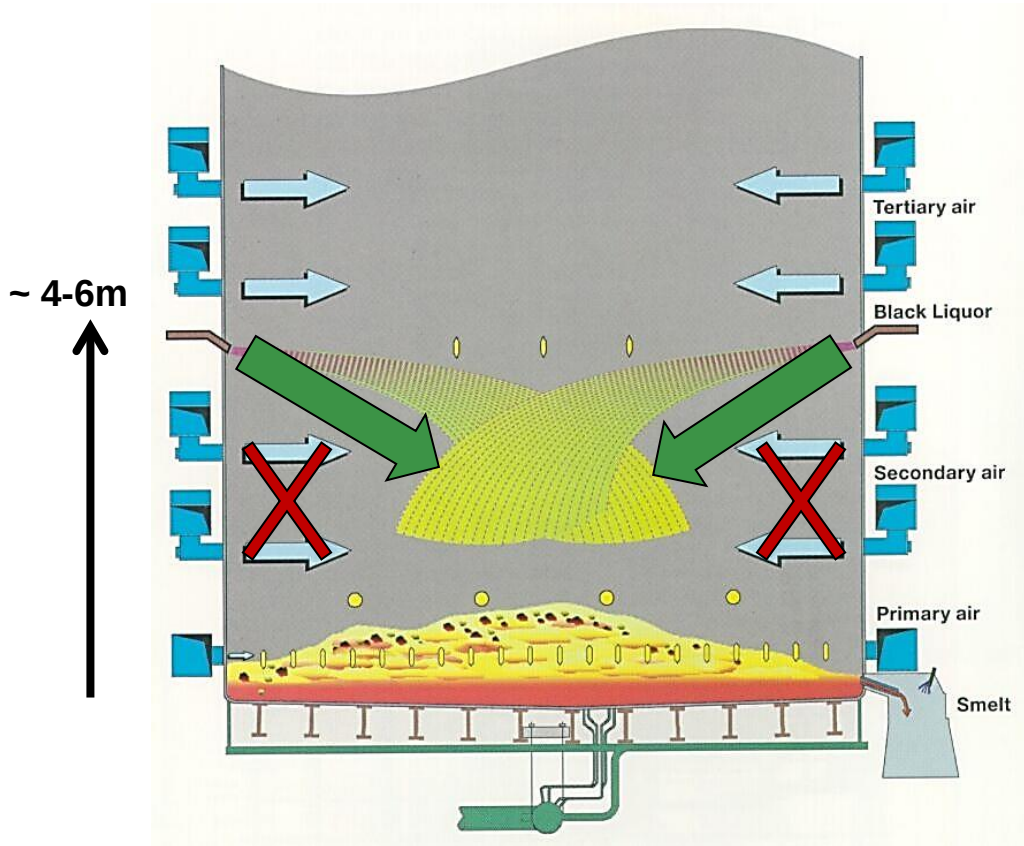
- Overall reaction for Na release: $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{NaOH} + \text{CO}_2$

- CFD implementation

- Na release reaction proceeds whenever $p_{\text{NaOH,eq}} > p_{\text{NaOH,bulk}}$, otherwise no reaction
 - $p_{\text{NaOH,eq}}$ evaluated adjacent to the particle surface
 - Two alternatives for the reaction rate
 - A: rate limited by H_2O mass transfer to the particle surface
 - B: no mass transfer limitation

1. McKeough, P., Understanding and Predicting the Release of Sodium, Potassium and Chlorine during Black-Liquor Combustion in the Recovery Furnace, 2010 TAPPI/PAPTAC Int. Recovery Conference, Williamsburg, USA

Soodakattilat: Idea carry-overin vähentämiseksi



- Ruiskujen (lusikkasuuttimet) korkeusasema ~ 4 m
- Ns. vaippailma ruiskujen ympäriltä, korvaa sekundääri-ilmaa
- Ruiskuja ja vaippailmoja käännetään alaviistoon sopivasti
- Ruiskujen ja vaippailmojen lomitukset estetään vertikaalihissit
- Mallintamalla haetaan tapauskohtaisesti sopivat parametrit
- Mahdollisuus myös NO_x-päästön alentamiseen