

LIITE 1

Talousasiat

Hallituksen kokous 15.12

Metsä Fibre, Tapiola

1

Toimenpide	Päivämäärä	Vastuu
Toimenpide	Päivämäärä	Vastuu
1. SKY haalarimerkin teettäminen (500-1000 kpl)	10.9.2015	Sihteeristö
2. Soodakattipäivästä ilmoitus Paperi&Puu lehteen	10.9.2015	Sihteeristö
3. Lyhyt kuvaus soodakattilan toiminnasta uusille nettisivulle	10.9.2015	Sihteeristö
4. Opinnäytetyöpalkinnon julkaisu ja voittajan kutsuminen Soodakattilapäiville	10.9.2015	Sihteeristö
5. Jäsenhakemuslomake lähettäminen kiinnostuneille	10.9.2015	Sihteeristö
6. Käyttölaskuri uusille nettisivuille	2.10.2015	Sihteeristö
7. Mahdollisuus käyttää soodakattilasimulaattoria operaattorikoulutuspäivässä	3.10.2015	Andritz / Valmet
8. Tarjous projektista hitsauspinnoitettujen putkien käyttö soodakattiloissa	3.10.2010	KTR
9. Historiikki-projektin tekijänoikeudet yhdistykselle sekä pohdinta kuinka jatkaa työ loppuun	3.10.2015	Sihteeristö
10. Suojaussuosituksen julkaisu	29.10.2015	KTR
11. Soodakattilapäivillä 2014 kerätyn palautteen ja toimenpiteiden esittely	29.10.2015	Sihteeristö

2

12. Soodakattilapäiville esitys cyber-turvallisuudesta tehtaiden automaatiojärjestelmissä	29.10.2015	Sihteeristö
13. Operaattorien kokemustavaihtopäivien ohjelman laadinta yhteistyössä Pohdon/Martin Wikströmin kanssa	15.12.2015	Sihteeristö
14. Lausunto Syöttövesipumppu-projektista	15.12.2015	LTR
15. Lausunto ei-Newtonilaisuus-projektista	15.12.2015	LTR
16. Lausunto Reduced Lignin Black Liquor-projektista	15.12.2015	LTR
17. Lausunto Understanding Low Temperature Corrosion in BL Combustion-projektista	15.12.2015	LTR
18. Lausunto Ääninuohous-projektista	15.12.2015	KTR

Talousasiat

Taloustilanne, tuntiseuranta, saamiset

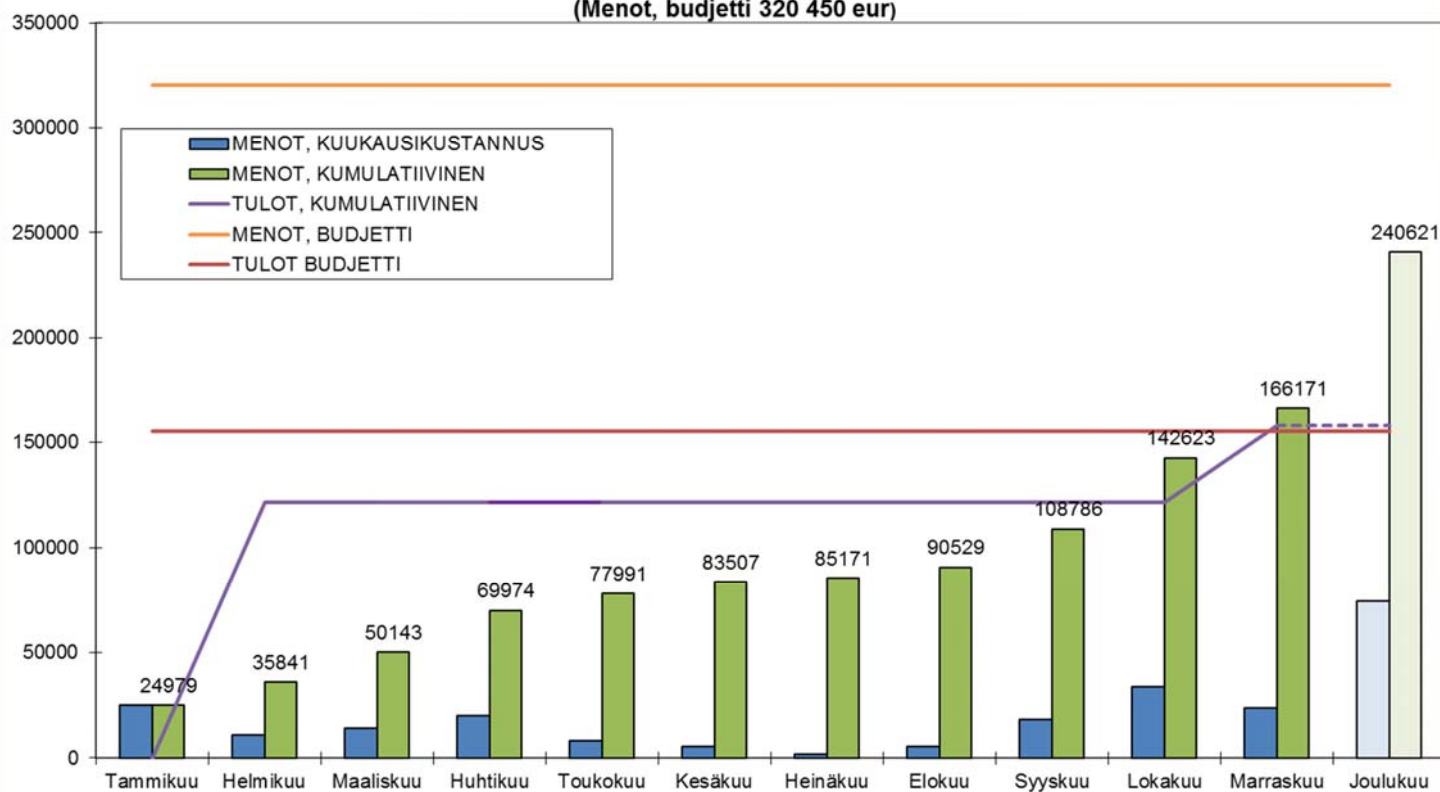
5

Taloustilanne

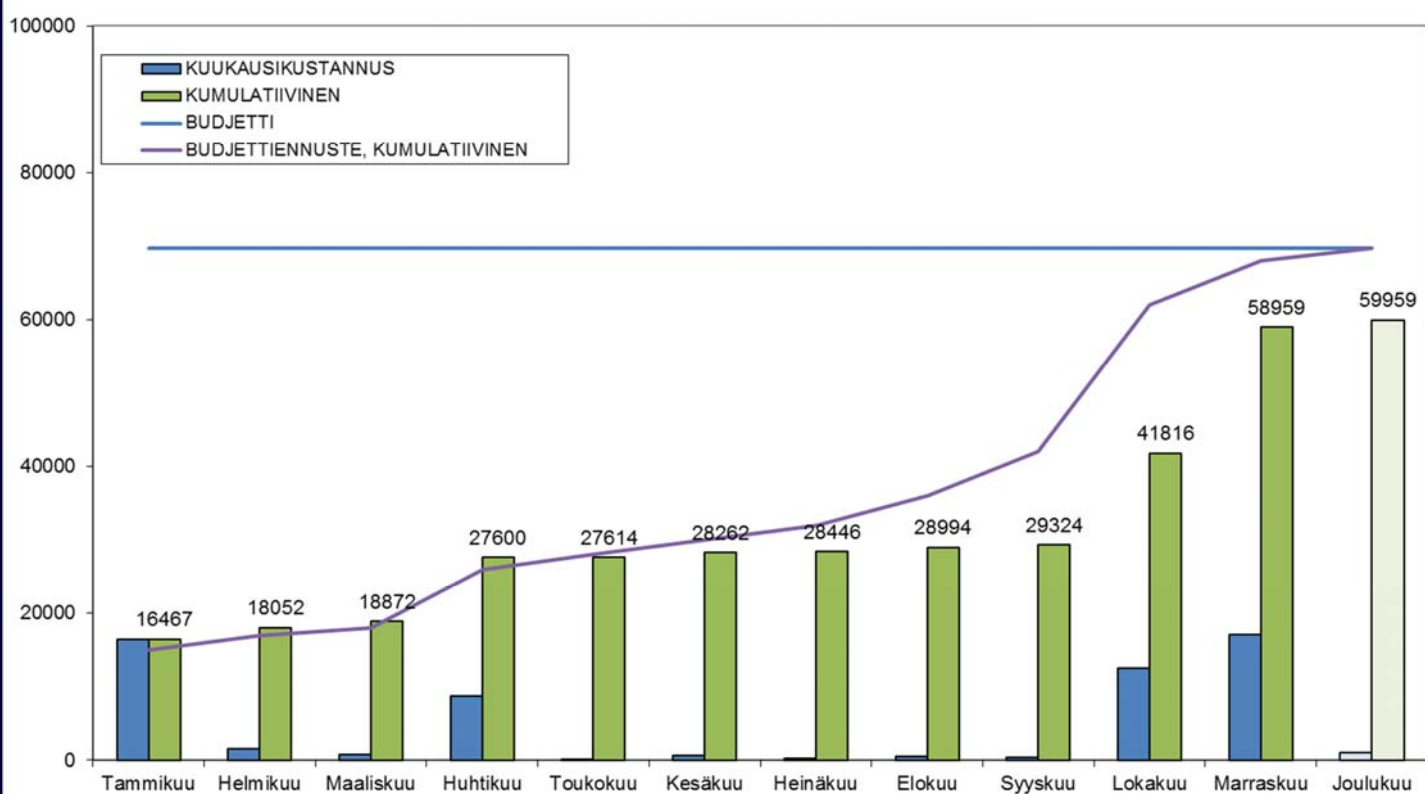
	Ennuste Ei 3. erä	Ennuste Kyllä 3. erä	Budjetti Kyllä 3. erä
TULOS			
Tulot	158 095	188 095	185 425
Menot	240 621	240 621	320 450
Tilikauden yli/alijäämä	-82 526	-52 526	-135 025
Välittömät verot	0	0	0
Tilikauden voitto / tappio	-82 526	-52 526	-135 025
Aiemmiltä vuosilta kertyneet jäsenmaksut	185 483	185 483	185 483
Tilanne vuoden 2015 lopussa	102 927	132 957	50 458

6

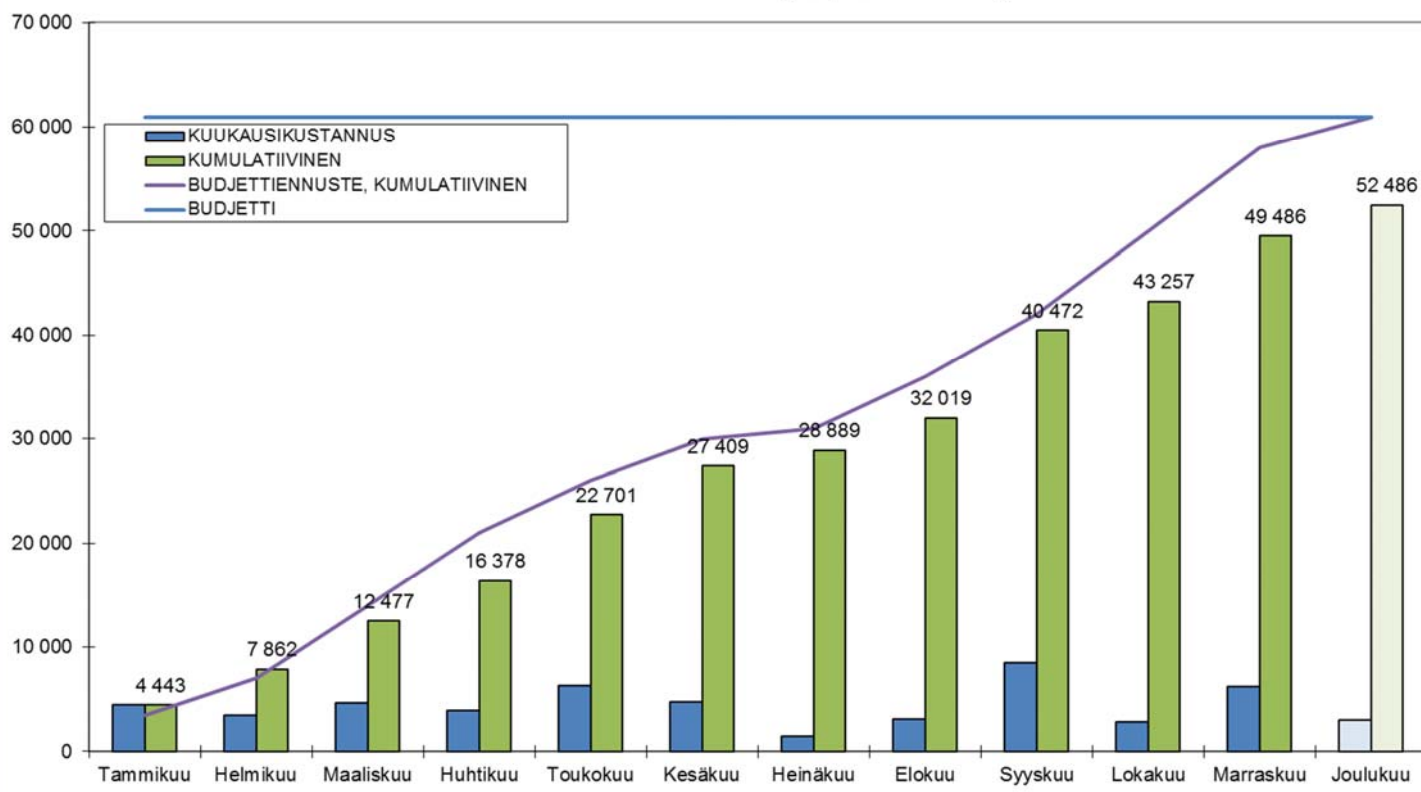
Tulot vs. Menot v. 2015
(Tulot, budjetti 185 425 eur)
(Menot, budjetti 320 450 eur)



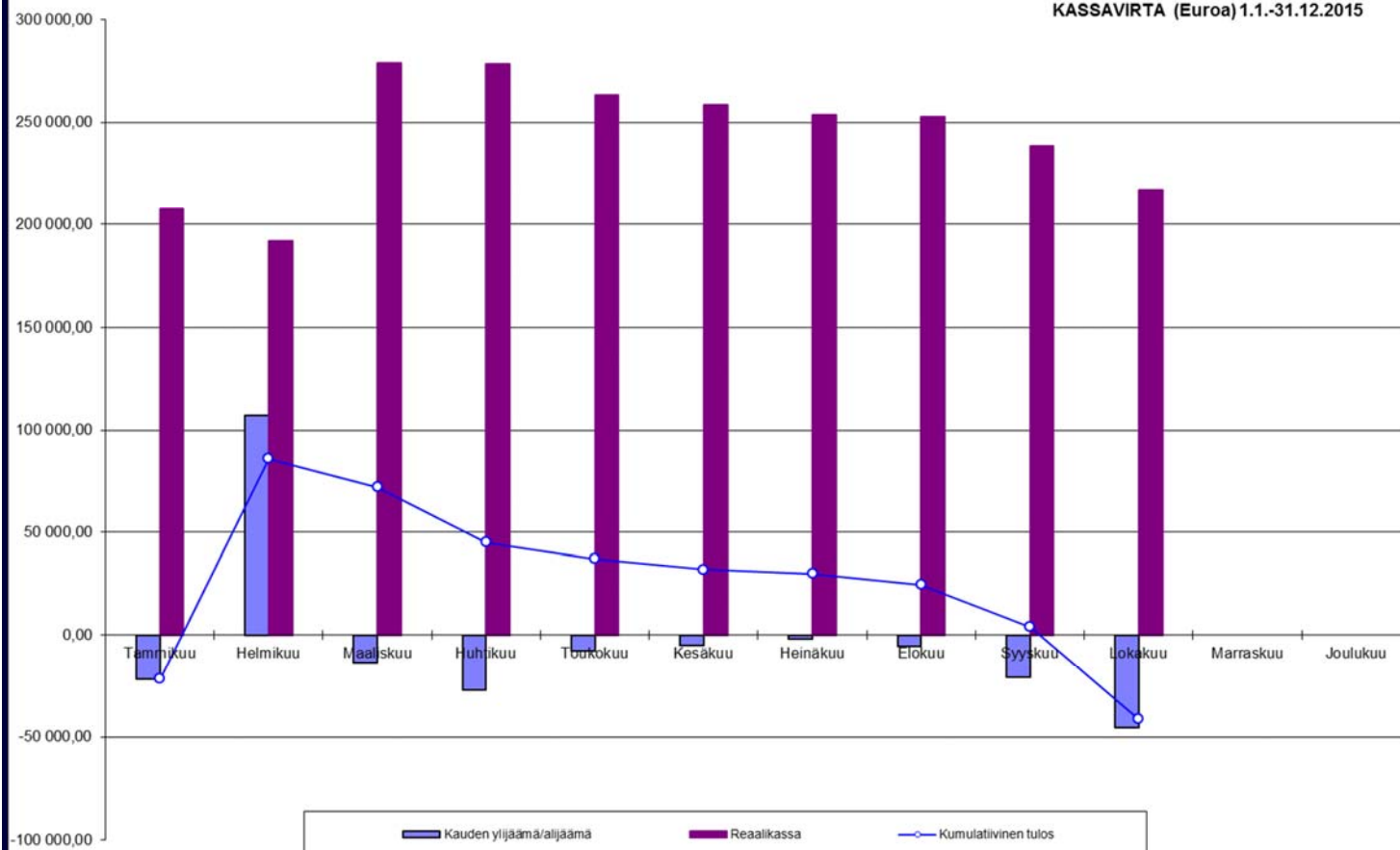
Varsinainen toiminta (seminaarit, talous, vuosikokous) kustannuskehitys v. 2015
(budjetti 69 700 eur)



Jatkuvaluonteiset tehtävät (sihteeristö, työryhmät) kustannuskehitys v. 2014
(budjetti 61 000 eur)



KASSAVIRTA (Euroa) 1.1.-31.12.2015



	Toteuma	Budjetti	Erotus
PROJEKTIT	2 015	2 015	2015
Kestoisuustyöryhmän tehtäväalue			
Ääninuohous	0	0	0
Sularänni laadunvarmistus / tarkastusohjeistus	0	10 000	10 000
Suojaussuosituksen päivitys	800	5 000	4 200
TOC-mittaukset MF Kemi	0	0	0
Projektivaraus	0	5 000	5 000
Kestoisuustyöryhmä yhteensä	800	20 000	19 200
Lipeätyöryhmän tehtäväalue			
Mustalipeän Ei-Newtonilaisuus ja pisaroituminen (Labtium/Aalto)	18 000	18 000	0
Black liquor evaporation book (ÅA)	0	14 750	14 750
Reduced Lignin Black Liquor – pyrolysis tests and CFD modeling study (ÅA)	15 000	15 000	0
Understanding Low Temperature Corrosion in BL Combustion – Phase 2 (ÅA)	25 000	25 000	0
Lipeätyöryhmä yhteensä	48 000	72 750	14 750
Ympäristötyöryhmän tehtäväalue			
Viherlipesakan syrjäytyspesu (Oy Sirra Ab)	15 000	15 000	0
Ympäristötyöryhmä yhteensä	15 000	15 000	0
Automaatiotyöryhmän tehtäväalue			
Valmomohälytykset	0	1 000	1 000
Soodakattilan päästömittausten menetelmät (2007) raportin päivitys	0	10 000	10 000
Projektivaraus	0	9 000	9 000
Automaatiotyöryhmä yhteensä	0	20 000	20 000
Ohjelmatyöryhmän tehtäväalue			
SKY Historiikki	18 389	42 000	28 746
Nettisivujen uusinta + siirto	20 376	15 000	5 376
Ohjelmatyöryhmä yhteensä	38 765	57 000	34 122
PROJEKTIT YHTEENSÄ	102 565	189 750	

LIITE 2

**LTR: LUT, Syöttövesipumppaus-projekti
- yhteenveto 18.8.2013**



Open your mind. LUT.

Lappeenranta University of Technology



Open your mind. LUT.

Lappeenranta University of Technology

Syöttövesipumppujen optimaalinen valinta

Lappeenranta University of Technology
Prof. Esa Vakkilainen

Tarkasteltavat tapaukset

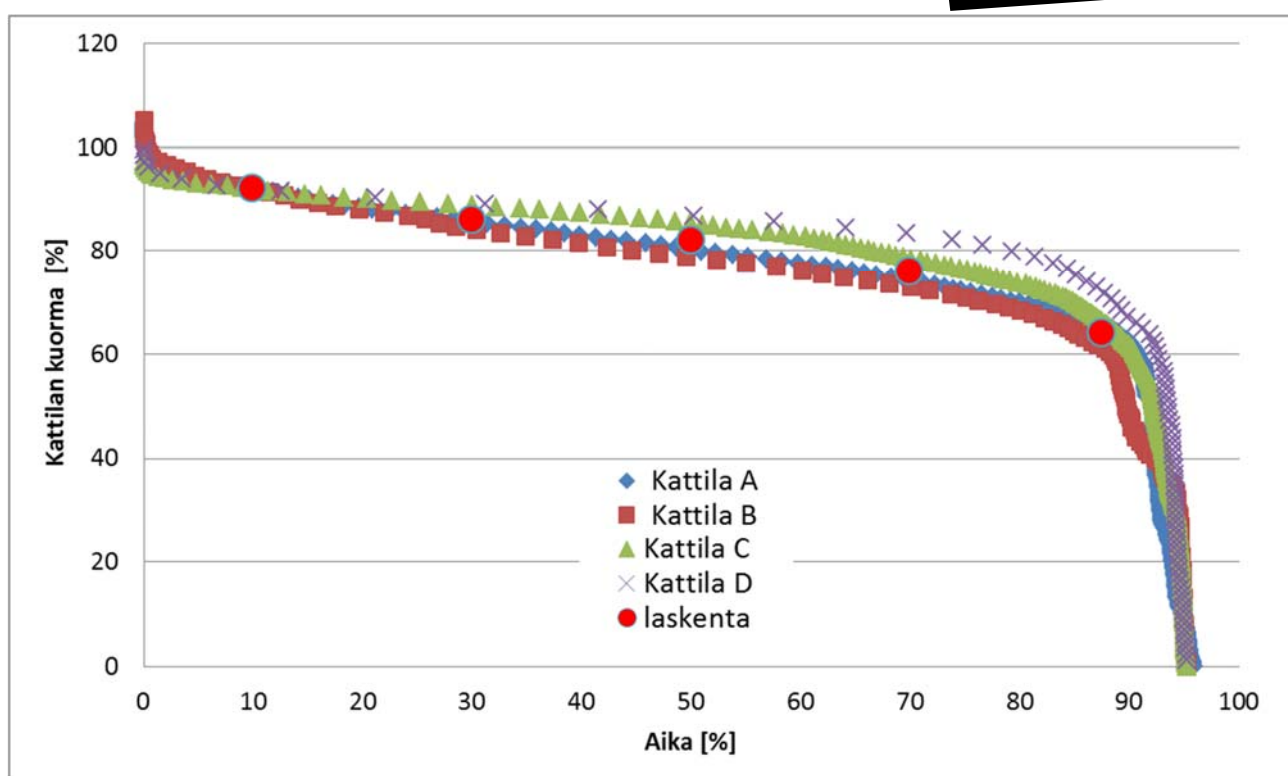
- Saatu dataa Suomesta neljästä kattilasta
 - Kaukopää SK6
 - Kaukopää SK5
 - Joutseno
 - Kymi
- Jokaisesta kattilasta kerätty vähintään vuoden ajalta tuntidata syöttövesivirtauksesta ja paineesta
- Kattiloiden toiminnan perusteella valittu tyypilliset toimintapisteet
- Saatujen SV-pumppujen datojen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

18.8.2013

LUT SVPUMP

3

Tarkasteltavissa tapauksissa pysyvyyskäyrät samanlaisia



18.8.2013

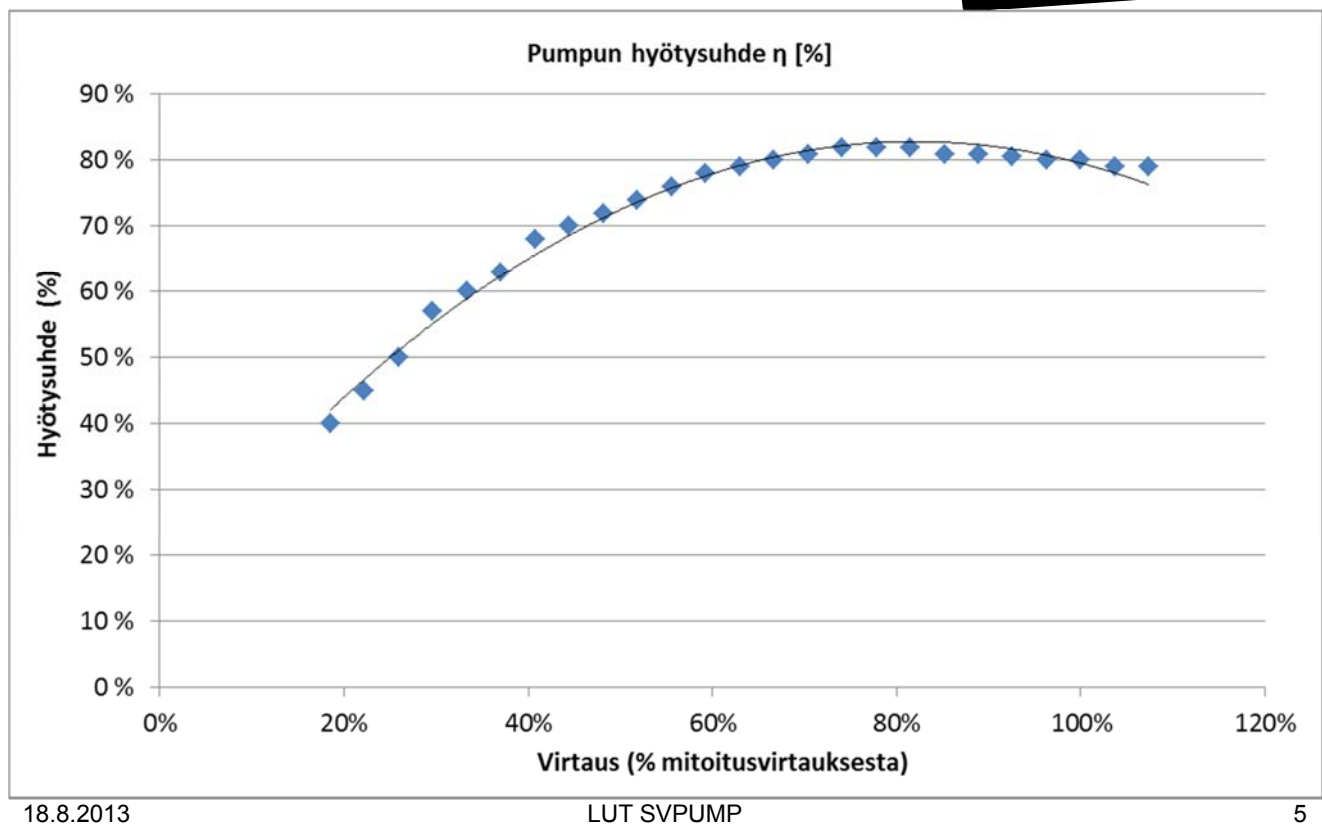
LUT SVPUMP

4

Tyypillinen pumpun hyötysuhdekäyrä



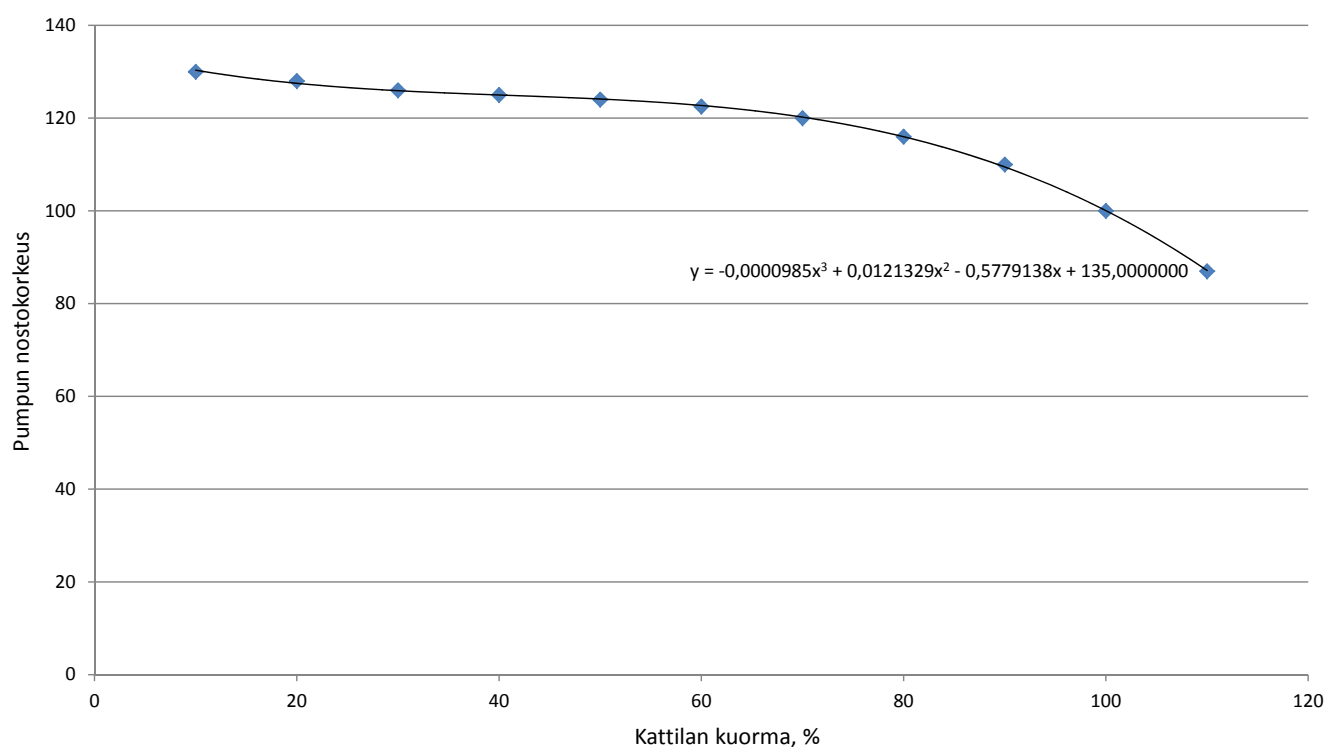
Open your mind. LUT.
Lappeenranta University of Technology



Tyypillinen pumpun nostokorkeus (kuristussäätö)



Open your mind. LUT.
Lappeenranta University of Technology



Laskennassa käytetyt arvot (valittiin tyypillinen tapaus)

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

18.8.2013

LUT SVPUMP

7

Laskentatapaukset (varalla turbopumppu)

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

18.8.2013

LUT SVPUMP

8

	1	2	3	3	2	1	4	3	2	1	5	4	3	2	1	6	5	4	3	2	1
käytössä olevat pumput	1*140	2*70	1*70	3*45	2*45	1*45	4*33	3*33	2*33	1*33	5*25	4*25	3*25	2*25	1*25	6*20	5*20	4*20	3*20	2*20	1*20
Pumpun suunniteltu %MCR	168	84	84	54	54	54	40	40	40	40	30	30	30	30	30	24	24	24	24	24	24
0-1750 0-20 %	168			162			158.4				150					144					
Ajopiste mcr/pumppu	92.0	46.0	92.0	30.7	46.0	92.0	23.0	30.7	46.0	92.0	18.4	23.0	30.7	46.0	92.0	15.4	18.4	23.0	30.7	46.0	92.0
mcr/mcr_design	0.55	0.55	1.10	0.57	0.85	1.70	0.58	0.77	1.16	2.32	0.61	0.77	1.02	1.53	3.07	0.64	0.77	0.96	1.28	1.92	3.83
η [%]	75 %	75 %	75 %	76 %	83 %	31 %	77 %	83 %	71 %	31 %	79 %	83 %	79 %	31 %	31 %	80 %	83 %	81 %	62 %	31 %	31 %
Paine MCR	98 %	90 %	98 %	89 %	90 %	98 %	88 %	89 %	90 %	98 %	88 %	88 %	89 %	90 %	98 %	88 %	88 %	88 %	89 %	90 %	98 %
η_paine [%]	95 %	95 %	92 %	95 %	99 %	78 %	97 %	99 %	96 %	66 %	97 %	99 %	90 %	67 %	45 %	98 %	99 %	90 %	85 %	48 %	32 %
kust. [k€]	102	94	106	91	82	302	88	81	99	357	86	80	93	320	423	84	80	90	126	452	736
1750-3500 20-40 %																					
Ajopiste mcr/pumppu	86.0	43.0	86.0	28.7	43.0	86.0	21.5	28.7	43.0	86.0	17.2	21.5	28.7	43.0	86.0	14.3	17.2	21.5	28.7	43.0	86.0
mcr/mcr_design	0.51	0.51	1.02	0.53	0.80	1.59	0.54	0.72	1.09	2.17	0.57	0.72	0.96	1.43	2.87	0.60	0.72	0.90	1.19	1.79	3.58
η [%]	73 %	73 %	79 %	74 %	83 %	31 %	75 %	82 %	76 %	31 %	77 %	82 %	81 %	45 %	31 %	78 %	82 %	82 %	69 %	31 %	31 %
Paine max [%]	97 %	90 %	97 %	89 %	90 %	97 %	88 %	89 %	90 %	97 %	88 %	88 %	89 %	90 %	97 %	88 %	88 %	88 %	89 %	90 %	97 %
η_paine [%]	92 %	90 %	85 %	92 %	99 %	82 %	94 %	98 %	92 %	68 %	95 %	98 %	90 %	76 %	48 %	92 %	97 %	95 %	92 %	77 %	34 %
kust. [k€]	100	95	101	90	76	265	87	77	90	319	84	77	85	184	453	85	77	79	98	262	639
3500-5250 40-60 %																					
Ajopiste mcr/pumppu	82.0	41.0	82.0	27.3	41.0	82.0	20.5	27.3	41.0	82.0	16.4	20.5	27.3	41.0	82.0	13.7	16.4	20.5	27.3	41.0	82.0
mcr/mcr_design	0.49	0.49	0.98	0.51	0.76	1.52	0.52	0.69	1.04	2.07	0.55	0.68	0.91	1.37	2.73	0.57	0.68	0.85	1.14	1.71	3.42
η [%]	72 %	72 %	80 %	73 %	82 %	33 %	74 %	81 %	78 %	31 %	75 %	81 %	82 %	53 %	31 %	77 %	81 %	83 %	73 %	31 %	31 %
Paine max [%]	96 %	90 %	96 %	89 %	90 %	96 %	88 %	89 %	90 %	96 %	88 %	88 %	89 %	90 %	96 %	88 %	88 %	88 %	89 %	90 %	96 %
η_paine [%]	90 %	90 %	90 %	90 %	98 %	84 %	95 %	98 %	92 %	70 %	95 %	98 %	97 %	82 %	51 %	97 %	98 %	98 %	96 %	89 %	38 %
kust. [k€]	99	92	88	90	74	227	84	74	83	293	82	74	74	138	403	79	79	74	72	84	216
5250-7000 60-80 %																					
Ajopiste mcr/pumppu	76.0	38.0	76.0	25.3	38.0	76.0	19.0	25.3	38.0	76.0	15.2	19.0	25.3	38.0	76.0	12.7	15.2	19.0	25.3	38.0	76.0
mcr/mcr_design	0.45	0.45	0.90	0.47	0.70	1.41	0.48	0.64	0.96	1.92	0.51	0.63	0.84	1.27	2.53	0.53	0.63	0.79	1.06	1.58	3.13
η [%]	69 %	69 %	82 %	70 %	81 %	48 %	71 %	79 %	78 %	31 %	73 %	78 %	83 %	63 %	31 %	74 %	79 %	83 %	77 %	31 %	31 %
Paine max [%]	95 %	90 %	95 %	89 %	90 %	95 %	88 %	89 %	90 %	95 %	88 %	88 %	89 %	90 %	95 %	88 %	88 %	88 %	89 %	90 %	95 %
η_paine [%]	90 %	90 %	98 %	90 %	95 %	88 %	90 %	95 %	94 %	72 %	90 %	94 %	98 %	34 %	56 %	91 %	93 %	98 %	88 %	74 %	40 %
kust. [k€]	94	88	72	86	71	138	85	72	72	261	82	73	67	258	336	80	73	67	80	240	470
7000-8313 80-95 %																					
Ajopiste mcr/pumppu	64.0	32.0	64.0	21.3	32.0	64.0	16.0	21.3	32.0	64.0	12.8	16.0	21.3	32.0	64.0	10.7	12.8	16.0	21.3	32.0	64.0
mcr/mcr_design	0.38	0.38	0.76	0.40	0.59	1.19	0.40	0.54	0.81	1.62	0.43	0.53	0.71	1.07	2.13	0.44	0.53	0.67	0.89	1.33	2.67
η [%]	63 %	63 %	83 %	65 %	78 %	69 %	65 %	75 %	83 %	31 %	67 %	75 %	82 %	77 %	31 %	69 %	75 %	80 %	82 %	56 %	31 %
Paine max [%]	93 %	89 %	93 %	88 %	89 %	93 %	88 %	88 %	89 %	93 %	88 %	88 %	89 %	93 %	98 %	88 %	88 %	88 %	89 %	93 %	93 %
η_paine [%]	87 %	87 %	96 %	88 %	93 %	90 %	88 %	93 %	89 %	82 %	88 %	90 %	93 %	78 %	78 %	89 %	89 %	93 %	97 %	85 %	54 %
kust. [k€]	87	84	61	80	64	77	79	66	57	189	77	68	59	65	199	75	68	61	57	97	287
KUST. YHT [k€/a]	481	410	690	367	441	711	360	360	357	1189	357	298	298	459	595	354	354	354	354	354	354

18.8.2013

LUT SVPUMP

9

Laskentatulokset kuristussäätö (edullisimman pumppumäärän ajon mukaan)

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

18.8.2013

LUT SVPUMP

10

Laskentatulokset nestekytkinsäätö (edullisimman pumppumäärän ajon mukaan)



Open your mind. LUT.
Lappeenranta University of Technology

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

18.8.2013

LUT SVPUMP

11

Laskentatulokset invertterisäätö (edullisimman pumppumäärän ajon mukaan)



Open your mind. LUT.
Lappeenranta University of Technology

Käyttöaika 7 vuotta						
Pumppu [kpl]	1	2	3	4	5	6
Mit. virtaus/pumppu [kg/s]	168	84	54	40	30	24
Nostokorkeus [MPa]	11.27	11.27	11.27	11.27	11.27	11.27
Sähkömoottorit [kW]	3100	1500	1000	700	600	400
Invertteri [kW]	3400	1700	1100	800	700	400
Turbopumppu	2567	1283	825	605	458	367
Kustannukset [k€]						
- Pumput	202	249	274	294	303	311
- Sähkömoottorit	272	245	246	240	258	227
- Invertterit	304	367	415	433	483	444
- Turbopumppu	506	312	229	184	152	130
- Asennus ym.	142	197	244	286	325	362
YHTEENSÄ [k€]	1427	1370	1408	1437	1522	1474
INV. KUST. YHT [k€]/a	204	197	201	207	220	205
PUMPPAUS [k€]/a	481	410	367	360	357	354
KOKONAISKUST. [k€]/a	685	607	568	567	574	559

18.8.2013

LUT SVPUMP

12

Vertailu (turbopumppu varalla)



Open your mind. LUT.
Lappeenranta University of Technology

Käyttöaika 7 vuotta						
Pumppu [kpl]	1	2	3	4	5	6
Kuristussäätö						
YHTEENSÄ [k€]	1122	1003	993	1005	1038	1030
INV. KUST. YHT [k€]/a	160	143	142	144	148	147
PUMPPAUS [k€]/a	684	609	593	593	588	586
KOKONAISKUST. [k€]/a	844	752	735	736	737	733
Nestekytöksäätö						
YHTEENSÄ [k€]	1382	1311	1323	1347	1425	1314
INV. KUST. YHT [k€]/a	197	187	189	192	204	188
PUMPPAUS [k€]/a	543	420	404	404	381	377
KOKONAISKUST. [k€]/a	740	607	593	597	585	564
Invertterisäätö						
YHTEENSÄ [k€]	1427	1370	1408	1437	1522	1474
INV. KUST. YHT [k€]/a	204	197	201	207	220	205
PUMPPAUS [k€]/a	481	410	367	360	357	354
KOKONAISKUST. [k€]/a	685	607	568	567	577	559

18.8.2013

LUT SVPUMP

13

Tulokset



Open your mind. LUT.
Lappeenranta University of Technology

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

LIITE 3

**LTR: Aalto/Labtium, Mustalipeän Ei-Newtonilaisuus ja pisaroituminen
– raportti 30.11.2015**

Mustalipeän ei-Newtonilaisuus

Ari Kankkunen, Jorma Torniainen, Mika Järvinen

Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu, Energiatekniikan laitos
Labtium Oy

23.10.2015

TIIVISTELMÄ

Polttoon menevän mustalipeän kuiva-ainepitoisuutta on nostettu viime vuosikymmeninä. Samalla on lisääntynyt todennäköisyys mustalipeän ei-Newtonilaiseen käyttäytymiseen. Ei-Newtonilaisen nesteen viskositeetti riippuu lämpötilan ja kuiva-aineen lisäksi myös leikkausnopeudesta, kun taas Newtonilaisen nesteen viskositeetti pysyy vakiona vaikka leikkausnopeus muuttuu.

Projektin tuloksena saatiin tietoa erilaisten mustalipeiden ei-Newtonilaisesta käyttäytymisestä sekä vaikutuksesta soodakattilan toimintaan, erityisesti mustalipeän ruiskutukseen. Tutkimuksessa mitattiin lehtipuulipeän, havupuulipeän, sekalipeän ja eukalyptuslapeän viskositeetti. Lämpötiloiksi valittiin neljä ruiskutuksen ja konsentroinnin kannalta sopivaa lämpötilaa (120 – 150 °C). Leikkausnopeutta muutettiin alueella 5 – 800 1/s. Kaikki lipeät olivat ei-Newtonilaisia pienillä leikkausnopeuksilla. Tämä vaikuttaa pisaroitumiseen, palamiseen ja mahdollisesti haihduttamon viimeisen yksikön toimintaan. Pisaroitumiseen liittyvää ei-Newtonilaisuuden vaikutusta simuloitiin ASYS Fluentilla. Ei-Newtonilaisuus vaikuttaa merkittävästi etenkin suurten pisaroiden muodon muutokseen. Tällöin myös pisaroiden lentorata ja palaminen muuttuvat. Ei-Newtonilaisinta oli lehtipuulipeä, jolla viskositeetti pienillä leikkausnopeuksilla oli moninkertainen verrattuna mustalipeän viskositeetin mittauksessa normaalisti käytettävään leikkausnopeuteen 288 1/s. Putkistoissa ja suuttimella leikkausnopeus on suuri eikä lipeän ei-Newtonilaisuus vaikuta merkittävästi painehäviöön.

Ei-Newtonilaisuuden vaikutusta pisaroiden muodon muutokseen simuloitiin Fluent virtauslaskentaohjelmistolla. Laskennassa huomioitiin vain viskositeetin ja pintajännityksen vaikutus. Pisarakoon ollessa 8 mm, vaatii ei-Newtonilaisen rihman muuttuminen palloksi noin 20 % pitemmän ajan kuin olettaessa Newtonilainen viskositeetti.

Tutkimuksen yhteydessä kehitettiin kapillaariviskometri, joka mahdollistaisi viskositeetin online-mittaukset tehtaalla. Laboratoriossa viskometri kalibroitiin standardiöljyllä, jolloin tarkkuudeksi saatiin 15 %. Tehdasmittauksessa tarkkuuden todettiin olevan huomoinen johtuen mm. lämpötilaeroista. Kehitetty laite on tällä hetkellä vaikeakäyttöinen ja vaatii kehitystyötä ennen soveltamista tehtaalla jokapäiväiseen käyttöön.

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. Yhden prosenttiyksikön virhe vaikuttaa kuiva-ainepitoisuuteen 80 % olevan mustalipeän kiehumapisteeseen 1 °C ja viskositeettiin enimmillään jopa yli 30 %. Ruiskutuksen ja pisaroitumisen kannalta erot ovat merkityksellisiä.

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. Tulosten varmistaminen vaatisi useamman näytteenoton ja analysoinnin. Koska kaikki aiemmat kuiva-aineen määritykset on tehty normaalilla menettelyllä, jossa osa höyrystä karkaa, on jatkossakin perusteltua käyttää vanhaa näytteenottomenetelmää.

KÄYTETYT MERKINNÄT

Symbolit

A	Pinta-ala, m^2
a	Cassonin viskositeettimallin vakio
K	Vakio
n	Ei-Newtonilaisuuteen liittyvä vakio
T	Absoluuttinen lämpötila, K
u	Nopeus, m/s
v	Nopeus, m/s
$\dot{\gamma}$	Leikkausnopeus, $1/\text{s}$
μ	Dynaaminen viskositeetti, $\text{Pa}\cdot\text{s}$
μ_a	Näennäinen (apparent) viskositeetti, $\text{Pa}\cdot\text{s}$
μ_0	Nollaleikkausnopeuden viskositeetti, $\text{Pa}\cdot\text{s}$
τ	Leikkausjännitys, N/m^2

TIIVISTELMÄ	2
KÄYTETYT MERKINNÄT	3
1 JOHDANTO	5
1.1 Tausta	5
1.2 Viskositeetti	5
1.3 Mustalipeän ei-Newtonilaiseen viskositeettiin vaikuttavat tekijät.....	8
1.4 Mustalipeiden ei-Newtonilaisuutta kuvaavia yhtälöitä.....	10
2 KOKEET	12
2.1 Näytteenotto	12
2.2 Viskositeetinmittausmenetelmä	12
2.3 Koelipeät	13
2.4 Viskositeetit leikkausnopeuden muuttuessa.....	14
2.5 Viskositeettimittauksen kalibrointi	18
2.6 Kapillaariviskometri.....	21
2.7 Kapillaariviskometrin kalibrointi	22
3 MUSTALIPEÄN KÄSITTELYN VAIHEET	24
3.1 Haihduttamo	24
3.2 Pumput	24
3.3 Putkistot	24
3.4 Suutinputki	24
3.5 Lusikka.....	24
3.6 Mustalipeäkalvo, rihmat ja pisarat	24
4 PISARAN MUODONMUUTOS.....	26
4.1 Simulointi OpenFoam-ohjelmalla.....	26
5 JOHTOPÄÄTÖKSET	31
5.1 Ei-Newtonilainen viskositeetti	31
5.2 Merkitys soodakattilan toimintaan.....	31
5.3 Pohdintaa tulosten hyödyntämideoista	31
5.4 Jatkotutkimus	32
LÄHDELUETTELO.....	34
Liite 1 Havulipeän viskositeettikäyrät	
Liite 2 Lehtipuulipeän viskositeettikäyrät	
Liite 3 Sekalipeän viskositeettikäyrät	
Liite 4 Eukalyptuslipeslapeän viskositeettikäyrät	
Liite 5 Kemiaalliset analyysit	
Liite 6 Kalibrointiöljyjen N4000 ja N75 ominaisuudet	

1 JOHDANTO

1.1 Tausta

Aikaisemmissa tutkimuksissa mustalipeällä on todettu olevan ei-Newtonilaisia ominaisuuksia kun kuiva-aine on korkea [1,2] tai jopa alle 70 % kuiva-aineilla [3]. Erityisesti suomalaiset koivulipeät olivat ei-Newtonilaisia Söderhjelmin [4] käyttämissä olosuhteissa ko. lipeille. Sellunkeittoprosessit sekä käytetyt puulajit ovat erilaisia eri tehtailla ja prosessit ovat muuttuneet Söderhjelmin 1988 julkaisemien tutkimusten jälkeen.

Mustalipeiden ei-Newtonilaisuudesta ei kuitenkaan ole ollut saatavilla paljoakaan tietoa. Sopivia laitteita ei ole myöskään yleisesti käytössä. Labtiumissa on käytettävissä erityisesti mustalipeän mittaamiseen tarkoitettu viskometri. Erityispiirteinä siinä on helppo lämpötilan säätö, helppo kuiva-aineen muuttaminen ja kiehumisen estävä paineistettu mittaustila kiehumispisteen yläpuolisissa lämpötiloissa tapahtuvalle viskositeetin määrittelykselle.

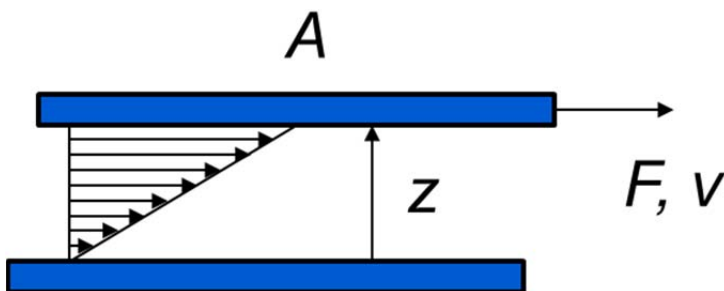
Ei-Newtonilaisuuden vaikutuksesta pisaroitumiseen on vähän tutkimustietoa. Nesteet, joiden viskositeetti kasvaa leikkausnopeuden pienentyessä, ovat periaatteessa huonosti pisaroituvia. Pisaroitumisen välivaiheissa, rihmojen ja pisaroiden muodostumisessa ovat leikkausvoimat ja muutosnopeudet pieniä. Tällöin pisaran muodostus voi jäädä kesken suuren viskositeetin takia ja syntyy isoja ei-pyöreitä pisaroita.

1.2 Viskositeetti

Viskositeetti on yksi olennaisimmista mustalipeän ruiskutukseen liittyvistä ominaisuuksista jotka vaikuttavat soodakattilan toimintaan. Viskositeetti kuvaa nesteen kykyä vastustaa liikettä. Kuvassa 1 on esitetty viskositeetin vaikutus yksinkertaisessa tilanteessa. Vedetään A kokoista levyä nopeudella v , etäisyydellä z pinnasta, voimalla F . Leikkausjännitys on tällöin (1)

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{dv}{dz} = \mu \frac{v}{z} \quad (1)$$

jossa μ on viskositeetti.



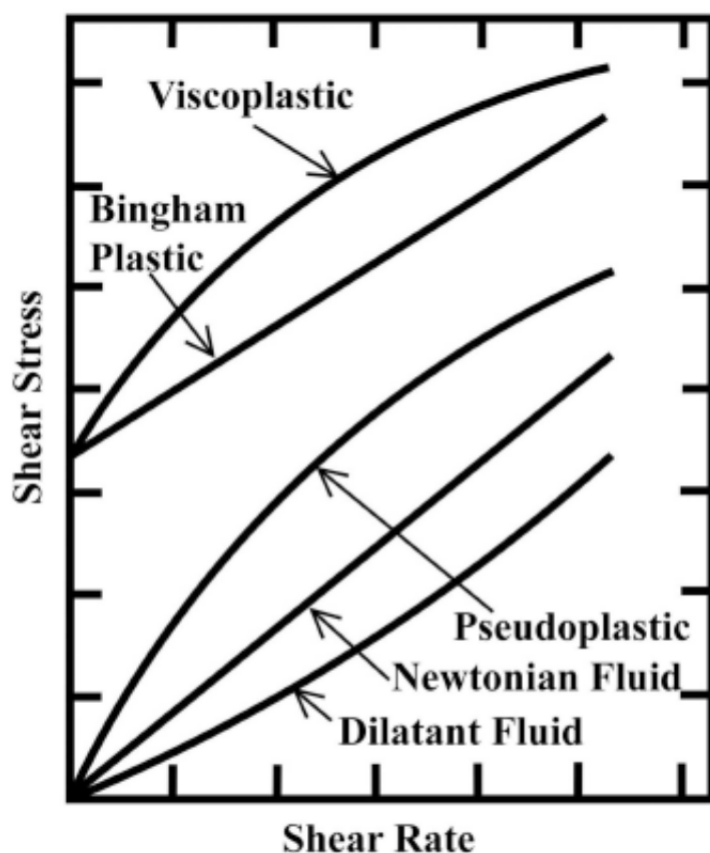
Kuva 1. Nopeusjakauma nesteessä levyjen välissä.

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

$$\tau = \mu \left(\frac{du}{dz} \right)^n = \mu \dot{\gamma}^n = \mu_a(\dot{\gamma}) \dot{\gamma} \quad (2)$$

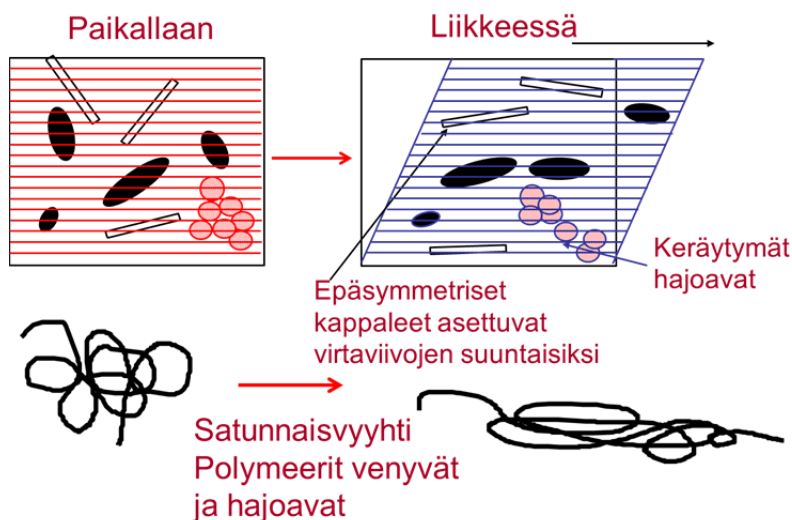
jossa μ_a on näennäinen (apparent) viskositeetti, joka on leikkausnopeuden $\dot{\gamma}$ funktio. Potenssi n on 1 Newtonilaisille nesteille ja erisuuri kuin 1 ei-Newtonilaisille nesteille.

Newtonilaisen nesteen viskositeetti pysyy vakiona, vaikka leikkausnopeus muuttuu. Ei-Newtonilaisen nesteen viskositeetti riippuu leikkausnopeudesta. Leikkausohenevien, pseudoplastisten, nesteiden näennäinen viskositeetti alenee, kun leikkausnopeus kohoaa. Leikkausohenevyys on yleisin ei-Newtonilaisen viskositeetin muoto. Dilatanttisten nesteiden viskositeetti kohoaa, kun leikkausnopeus kohoaa. Jos näennäinen viskositeetti riippuu sekä leikkausnopeudesta että leikkaavan tilanteen kestosta, on kyseessä thiksotrooppinen neste. Viskoplastisten nesteet käyttäytyvät kuten kiinteät elastiset aineet myötörajaan asti. Kuvassa 2. on esimerkki näistä tilanteista.



Kuva 2. Newtonilaisen ja ei-Newtonilaisten nesteiden leikkausjännityksen riippuvuus leikkausnopeudesta [1].

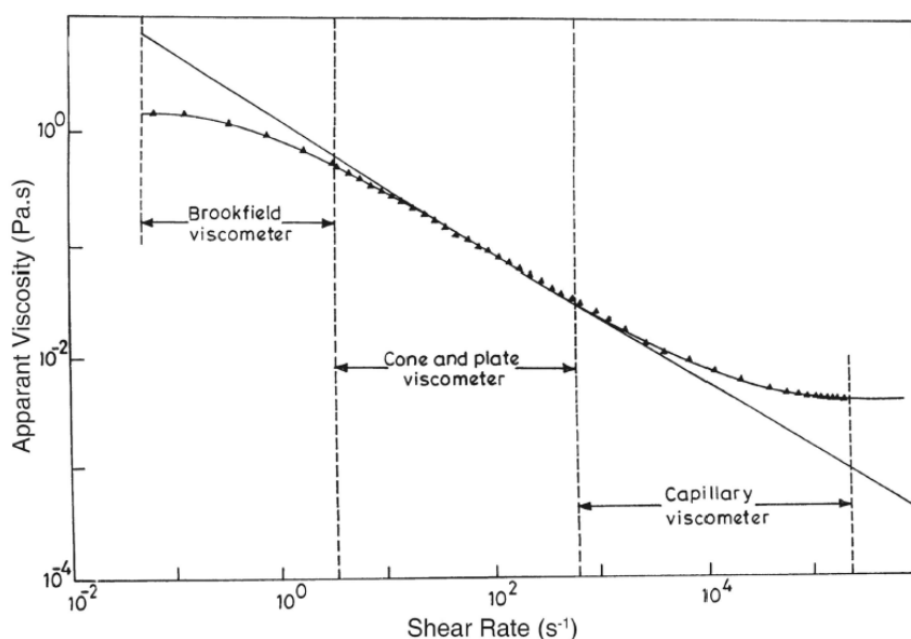
Mustalipeän käyttäytyminen on leikkausohenevaa, silloin kun mustalipeä on ei-Newtonilaista. Leikkausoheneminen voi johtua ei-pyöreiden partikkelien asettumisesta virtauksen suuntaisiksi, rihmasykeröiden oikenemisesta tai klustereiden hajoamisesta, kuten kuvassa 3 on esitetty.



Kuva 3. Leikkausohennemisen syyt

Mustalipeää pidetään Newtonilaisena alhaisilla kuiva-ainepitoisuuksilla ja korkeilla lämpötiloilla. Korkeilla kuiva-ainepitoisuuksilla mustalipeä saattaa olla ei-Newtonilaista, joskin korkea lämpötila vähentää ei-Newtonilaisuuden merkitystä Zamanin ja Fricken [5] mukaan. Bagassimustalipeä on Yangin ym. [6] mukaan ei-Newtonilaista jo 43 ja 56 %:n kuiva-aineilla, kun lämpötila on alle 65°C. Söderhjelmin [7] mukaan korkea kuiva-aineinen ei-Newtonilainen mustalipeä on joskus pseudoplastista ja havupuun viskositeetti on hiukan alhaisempi kuin lehtipuun.

Ei-Newtonilaista virtausta on tutkittu laajimmin liittyen erilaisten polymeerien ominaisuuksiin. Polymeereille soveltuvia yhtälöitä on hyödynnetty mustalipeän ei-Newtonialaisten ominaisuuksien määrittämisessä, mm. Wight [8] ja Fricke ja Zaman [2]. Kuvasta 4 nähdään erään polymeerin seoksen näennäinen viskositeetti eri leikkausnopeuksilla sekä nollaleikkausnopeutta (käyrän vasen pää) ja ääretöntä leikkausnopeutta (käyrän oikea pää) vastaavat tasaantuneet näennäisen viskositeetin alueet. Lisäksi kuvassa on esitetty eri leikkausnopeusalueille soveltuvat viskometrityypit. Kapillaariviskometri sopii alueelle 900–200000 1/s.



Kuva 4. Nollaleikkausnopeus ja äärellisiä leikkausnopeuksia eräälle polymeerille [1].

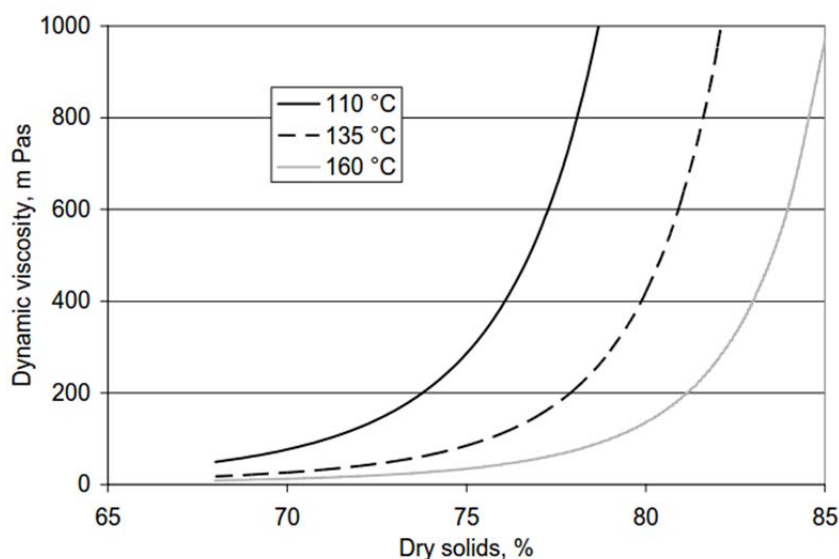
Kattavimman tutkimuksen mustalipeän viskositeetista ovat julkaisseet Fricke ja Zaman [2] 1998. He totesivat, että kaikista mustalipeän ominaisuuksista juuri viskositeetti vaihtelee eniten. Vaihteluväli voi olla jopa satakertainen. Erilaisiin mittaustilanteisiin Frickellä ja Zamanilla oli kahdeksan erilaista viskometriä, monet modifioitu juuri mustalipeälle soveliaiksi. Tämä mahdollisti laajat viskositeettialueet ja myös viskoelastisuuden tutkimisen. Mittareita voitiin myös vertailla keskenään paremman luotettavuuden saavuttamiseksi.

Fricken ja Zamanin [2] tutkimuksessa korkeimmat kuiva-aineet jäivät hiukan pienemmälle huomiolle. Kuiva-ainepitoisuudet ovat koonneet viimeisen viidentoista vuoden aikana, joten nykyisten mustalipeiden viskositeetin tutkiminen on nähty tarpeelliseksi.

Mielenkiintoinen uusi menetelmä on kehitetty VTT:llä, Haavisto et al. [9]. Siinä mitataan ultraäänen avulla mustalipeän virtausnopeusprofiili putkessa ja lasketaan sen perusteella näennäinen viskositeetti. Menetelmällä voinee selvittää tulevaisuudessa mustalipeän ei-Newtonilaisia ominaisuuksia.

1.3 Mustalipeän ei-Newtonilaiseen viskositeettiin vaikuttavat tekijät

Zaman and Fricke [10] esittävät, että alle 50 % kuiva-aineella oleellisia viskositeettiin vaikuttavia muuttujia ovat lämpötila ja kuiva-ainepitoisuus. Muita muuttujia ovat keittotapa, joka vaikuttaa mm. kiintoaineiden koostumukseen ja ligniinin molekyylipainoon. Kuvassa 5 on esitetty erään mustalipeän viskositeetin riippuvuus lämpötilasta ja kuiva-ainepitoisuudesta Miikkulaisen [11] mukaan.

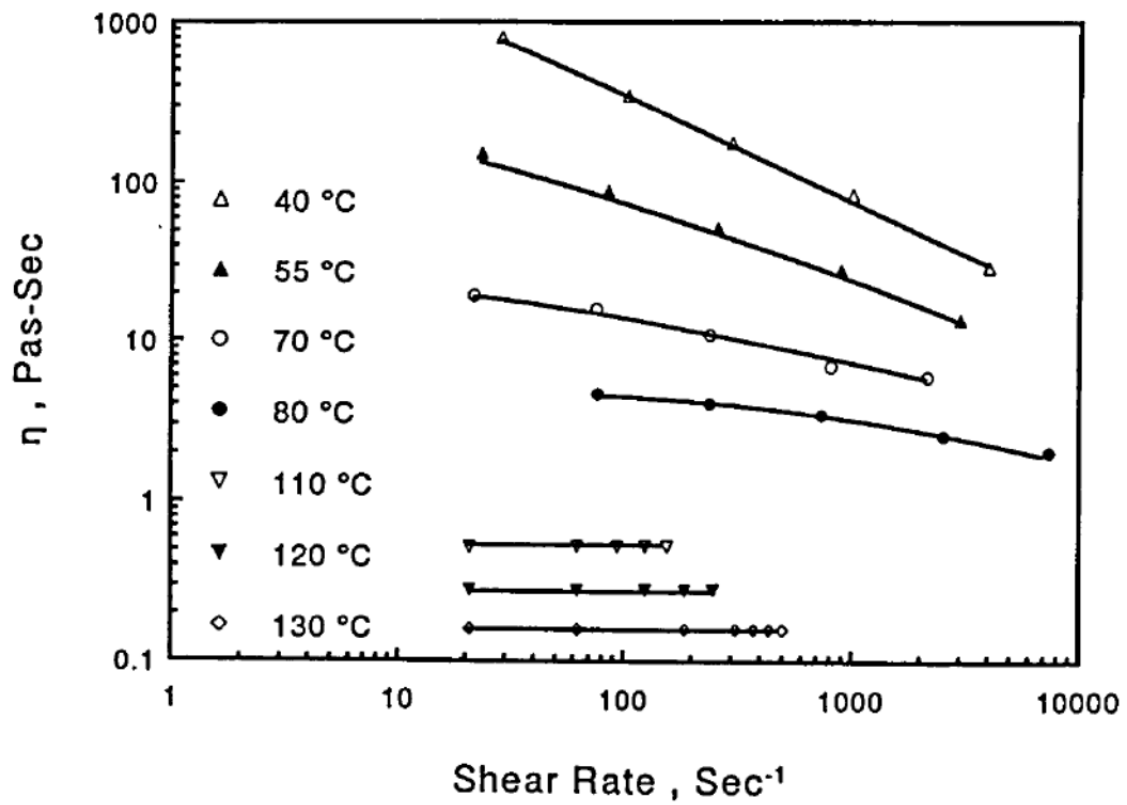


Kuva 5. Mustalipeän viskositeetin riippuvuus kuiva-ainepitoisuudesta ja lämpötilasta (leikkausnopeus 288 1/s).

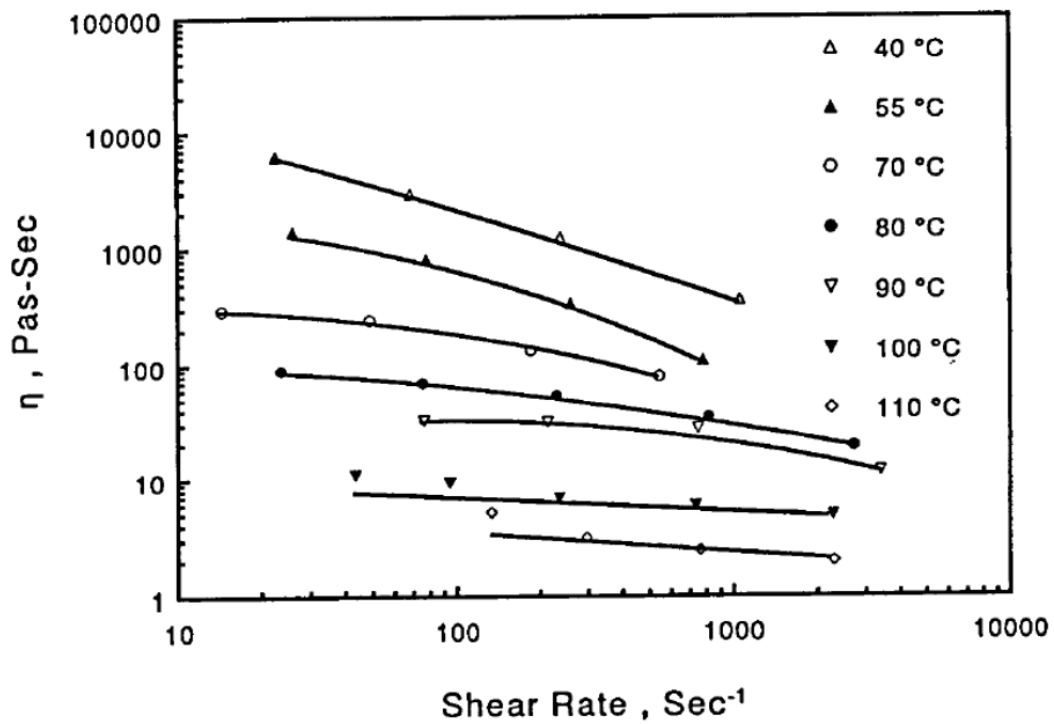
Suuri molekyylisen ligniinin osuus vaikuttaa viskositeettiin merkittävästi Söderhjelmin [12] mukaan. Polysakkaridit lisäävät koivumustalipeän viskositeettia. Jäännösalkalin kohoaminen korottaa mustalipeän viskositeettia.

Ruiskutuksen kannalta relevantin tutkimus mustalipeän kuiva-aineesta on Zamanin ja Fricke [5] tutkimus vuodelta 1991. Kuvissa 6 ja 7 on esitetty mustalipeän viskositeetti kahdella eri kuiva-ainepitoisuudella. Korkeissa lämpötiloissa ei-Newtonilaisuus on vähäistä, mutta korkealla kuiva-aineella kuitenkin havaittavissa. Kyseisessä tutkimuksessa ei kuitenkaan mitattu pieniä

leikkausnopeuksia, alle 20 1/s.



Kuva 6. Viskositeetti kuiva-ainepitoisuudella 75.4 % [5].



Kuva 7. Viskositeetti kuiva-ainepitoisuudella 84.1 % [5].

1.4 Mustalipeiden ei-Newtonilaisuutta kuvaavia yhtälöitä

Pseudoplastisten nesteiden leikkausjännitystä kuvataan yksinkertaisimmillaan yhtälöllä

$$\tau = K\dot{\gamma}^n \quad (3)$$

jossa K on vakio, $\dot{\gamma}$ on leikkausnopeus ja n on vakio, jonka arvo on alle yhden.

Zaman ja Fricke [5] ehdottivat nollaleikkausnopeuden viskositeetin yhtälömuodoksi korkeilla kuiva-aineilla

$$\mu_0 = A \exp\left(\frac{BT_0}{T - T_0}\right) \quad (4)$$

jossa μ_0 on nollaleikkausnopeuden viskositeetti, T absoluuttinen lämpötila, T_0 on lämpötila, jossa vapaatilavuus on nolla, A on vakio ja B on vakio suhteessa molekyylietjujen pyörimiseen.

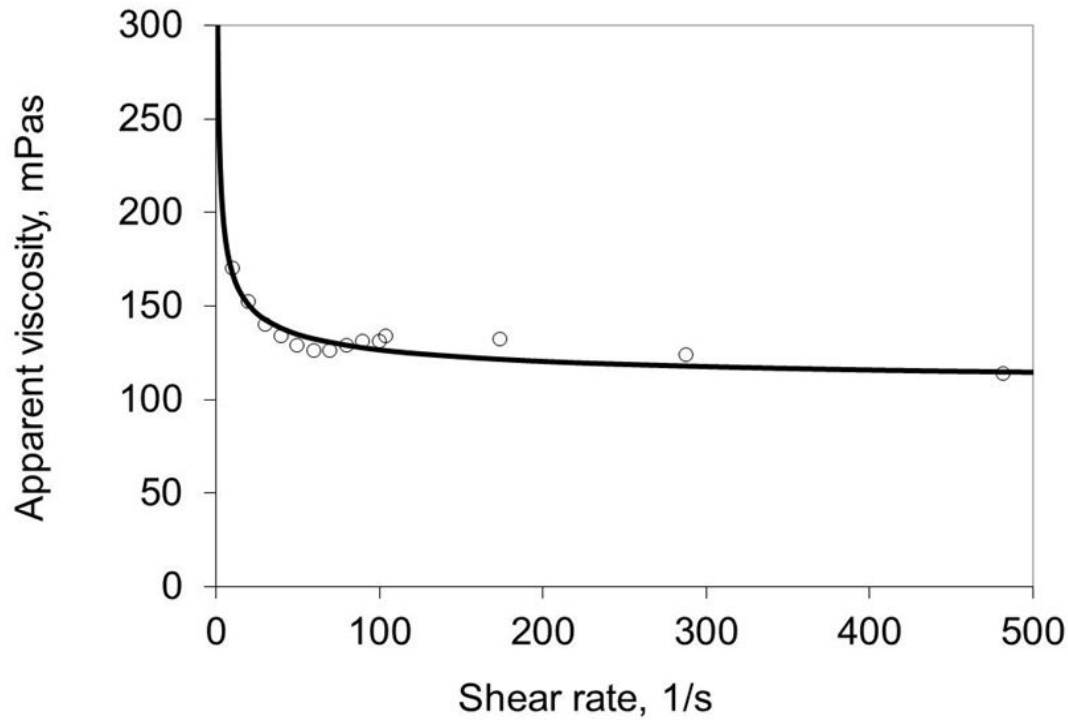
Zaman ja Fricke [5] määrittivät lasittumislämpötilan (T_g) muutamille lipeätyypeille DSC:llä (Differential Scanning Calorimetry). Lasittumislämpötilaa he käyttivät lipeän viskositeetin laskemiseen. Menetelmä on monimutkainen ja tulokset eivät ole yleistettävissä kaikille lipeille ilman kokeellisia mittauksia. Suomalaisille mustalipeille lasittumislämpötilanmittausta ei ole tehty.

Huomionarvoista on, että Zaman ja Fricke [5,13] eivät mitanneet viskositeetteja pienillä alle 100 1/s leikkausnopeuksilla korkeissa lämpötiloissa. Söderhjelm [12] mittasi korkeilla kuiva-aineilla 70 1/s asti, mutta ei tätä alemmilla leikkausnopeuksilla. Pisaranmuodostuksen kannalta juuri pienet leikkausnopeudet ovat oleellisia. Mahdollisesti siis kannattaa etsiä oma paremmin soveltuva yhtälömuoto, joka perustuu tässä projektissa mitattuihin viskositeetteihin.

Järvinen [14] ehdotti yhtälömuodoksi Cassonin viskositeettimallia

$$\mu = \mu_\infty (1 + a\dot{\gamma}^{-0.5})^2 \quad (5)$$

jossa μ_∞ on viskositeetti suurilla leikkausnopeuksilla lämpötilan ja kuiva-aineen funktiona ja a on vakio. Malli ei huomioi lämpötilaa tai kuiva-ainetta muuttujaksi, joten sitä voidaan käyttää vain tilanteille, joista on ainakin yksi viskositeettimittaus ko. lämpötilalle. Kuvassa 8 on esitetty leikkausnopeuden ja näennäisen viskositeetin riippuvuus eräälle mustalipeälle.



Kuva 8. Cassonin mallin mukainen mustalipeän viskositeetti ja vastaava mitattu data (mustalipeän $k_a = 71 \%$ ja $T = 140 \text{ }^\circ\text{C}$)

Adamsin [15] ehdottama yhtälömuoto on

$$\log_{10}(\mu_\infty / \mu_w) = \frac{y_s / T}{b - cy_s / T} \quad (6)$$

jossa μ_w on veden viskositeetti ja T on absoluuttinen lämpötila. b ja c ovat kokeellisia vakioita.

Mustalipeiden viskoelastisuutta ovat tutkineet Zaman ja Fricke [13]. Viskoelastisuus kuvaa materiaalin kykyä palautua aiempaan muotoonsa. Mustalipeät olivat viskoelastisia alhaisissa, alle 85°C , lämpötiloissa. Korkeammissa lämpötiloissa viskoelastisuutta ei esiintynyt, vaikka kuiva-ainepitoisuus oli korkea. Pisaranmuodostuksen viimeisissä vaiheissa viskoelastisuuden merkitys olisi joka tapauksessa vähäinen, koska nopeasti palautuvia tapahtumia ei esiinny. Lusikalla ja suuttimen ulostuloaukossa nopeiden pakotettujen suunnanmuutosten yhteydessä viskoelastisuudella voisi olla merkitystä, jos ruiskutettavan mustalipeän lämpötila olisi epänormaalin alhainen.

2 KOKEET

2.1 Näytteenotto

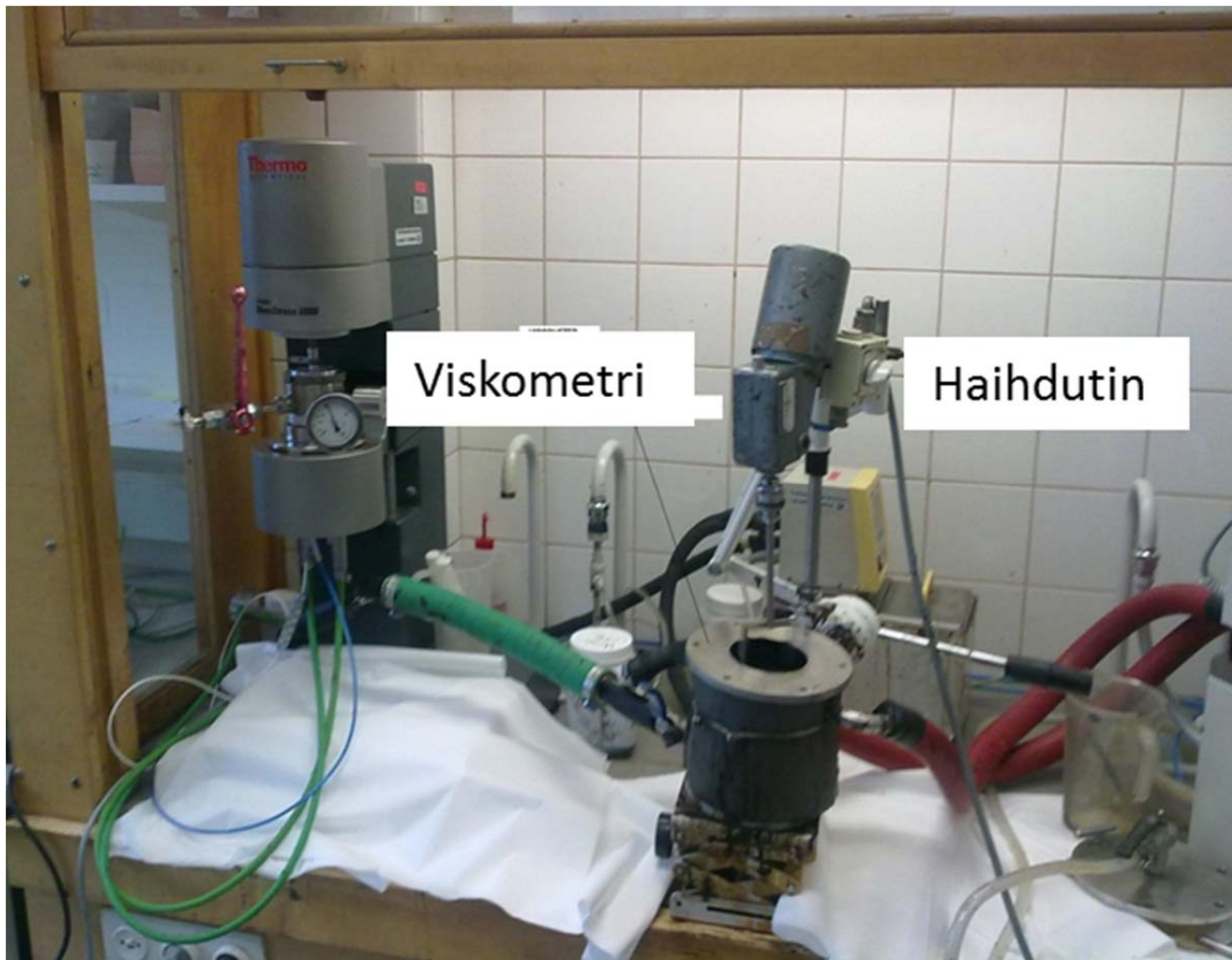
Normaalisti mustalipeänäyte otetaan tehtailla siten, että kiehuvastä lipeästä karkaa höyryä näytteenoton yhteydessä. Riippuen mm. tehtaan näytteenottojärjestelmästä, lipeästä, ruiskutuslämpötilasta, kuiva-ainepitoisuudesta voi karanteen höyryn määrä vaikuttaa mitattuun kuiva-ainepitoisuuteen. Tämän tutkimuksen yhteydessä näyte otettiin paineistettavalla näytteenottomella, jossa höyryä ei päässyt karkaamaan ja vertailunäyte normaalilla menettelyllä. Eukalyptuslipeälle näyte on otettu pelkästään normaalilla menetelmällä. Kuvassa 9 on esitetty paineistettava näytteenotin.



Kuva 9. Paineistettava näytteenotin.

2.2 Viskositeetinmittausmenetelmä

Tutkittiin 4 erilaisen lipeän viskositeettia Labtiumin Haake RheoStress 6000 with Haake Pressure Cell D100/200 viskometrillä. Kuvassa 10 on esitetty koejärjestely. Lämmitys/kuivatusastiassa (evaporation unit) mustalipeän lämpötila ja kuiva-aine säädetään sopiviksi, jonka jälkeen mustalipeä siirretään paineilman avulla viskometrin mittatilaan. Mittatilan kuorenlämpötila säädetään automaattisesti haluttuun lämpötilaan tietokoneohjelman avulla. Tasaantumisajan jälkeen tietokone ajaa viskositeettimittauksen eri leikkausnopeuksilla ja muodostaa viskositeettikäyrän. Viskositeetti perustuu aina viskositeettikäyrään, jolloin yksittäisten mittapisteiden aiheuttama virhe voidaan karsia manuaalisesti hylkäämällä ko. piste.



Kuva 10. Viskometri ja lämmitys/haihdutusastia.

2.3 Koelipeät

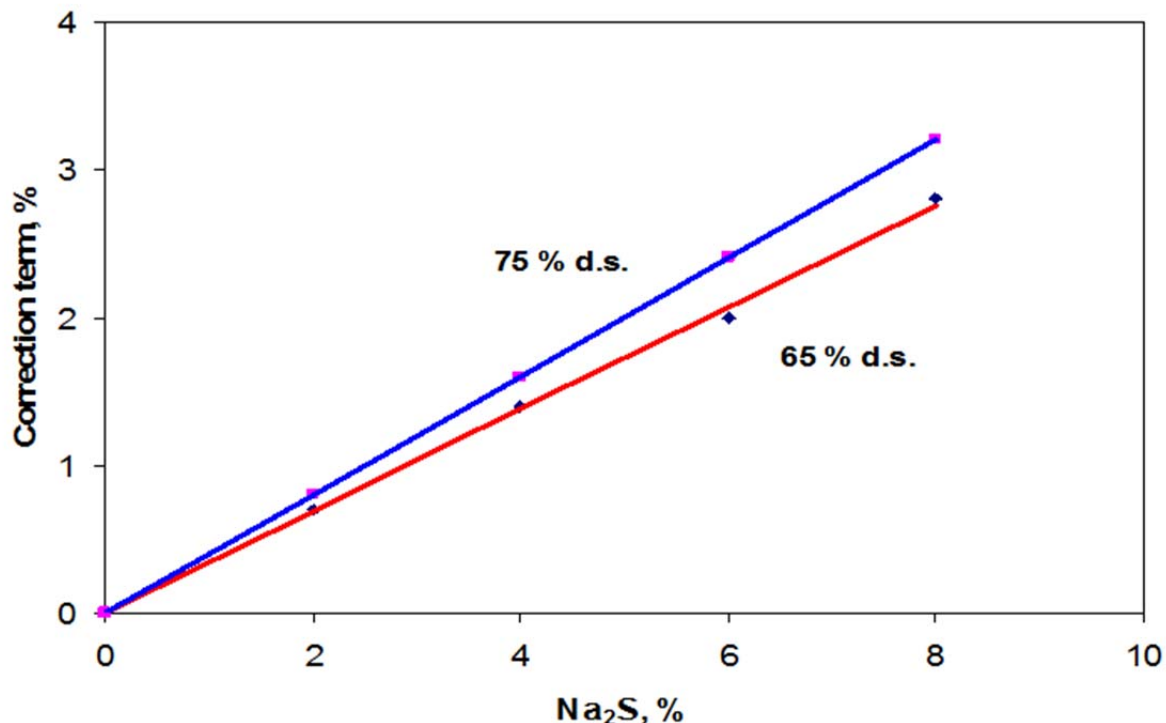
Taulukko 1. Koelipeät

Lipeälaatu	Ruiskutus lämpötila	Kuiva-aine pitoisuus				Kiehumispisteen	
		Tehdas	Lab. normaali	Lab. paineistettu	Teoreettinen	nousu	
	°C	%	%	%	%		°C
Havupuu	134.6	75.7	73.7	73.1	74.5		18.3
Lehtipuu	126	70	73.1	71.2	72.1		15
Seka	144	81.8	81.8	82.7	82.7		28
Eukalyptus	-	-	77.8	-	-		16

Taulukossa 1 on esitetty neljä kuiva-ainepitoisuutta. Ensimmäinen on tehdasinstrumentoinnin antama, toinen perinteisellä näytteenottomenetelmällä otettu mustalipeänäyte ja kolmas on paineistetulla menetelmällä otettu näyte. Neljäs on teoreettinen tapaus, jossa kaikki höyry on karannut näytteestä. Paineistettu näytteenotin alensi kuiva-ainepitoisuutta 0.6 % ja 1.9 % havu- ja lehtipuulipeilla. Sekalipeällä kuiva-ainepitoisuus näytti kohonneen 0.9 %, joka on yllättävä tulos. Eukalyptuslipoille ei saatu paineistettua näytettä.

Kuiva-aine on määritetty laboratoriossa menetelmän SCAN-N 22:77 mukaisesti (ns. hiekkamenetelmä). Menetelmän mittausepävarmuus vahvoille mustalipeille on ± 1 %. On kuitenkin

huomattava, että yleisesti käytössä olevalla mustalipeän kuiva-ainemenetelmällä (SCAN-N 22) saadaan liian suuria tuloksia, koska sulfidi hapettuu pääasiassa tiosulfaatiksi näytettä kuivattaessa. Ero on riippuvainen sekä näytteen sulfidipitoisuudesta että kuiva-aineesta, kuten kuvassa 11 on esitetty.



Kuva 11. Teoreettisesti lasketut, sulfidin hapettumisesta johtuvat virheet kuiva-aineen sulfidipitoisuuden funktiona kuiva-ainepitoisuuksilla 65 % ja 75 %.

Taulukossa 2. on laskettu kaikille SCAN-N 22:27 mukaan määritetyille kuiva-aineille myös sulfidikorjatut kuiva-ainepitoisuudet. Eli korjauksissa on oletettu, että kaikki näytteen sisältämä sulfidi on hapettunut kuiva-ainemäärityksessä tiosulfaatiksi. Tämä hapettunut osuus on vähennetty mitatusta arvosta ja saatu sulfidikorjattu kuiva-aine.

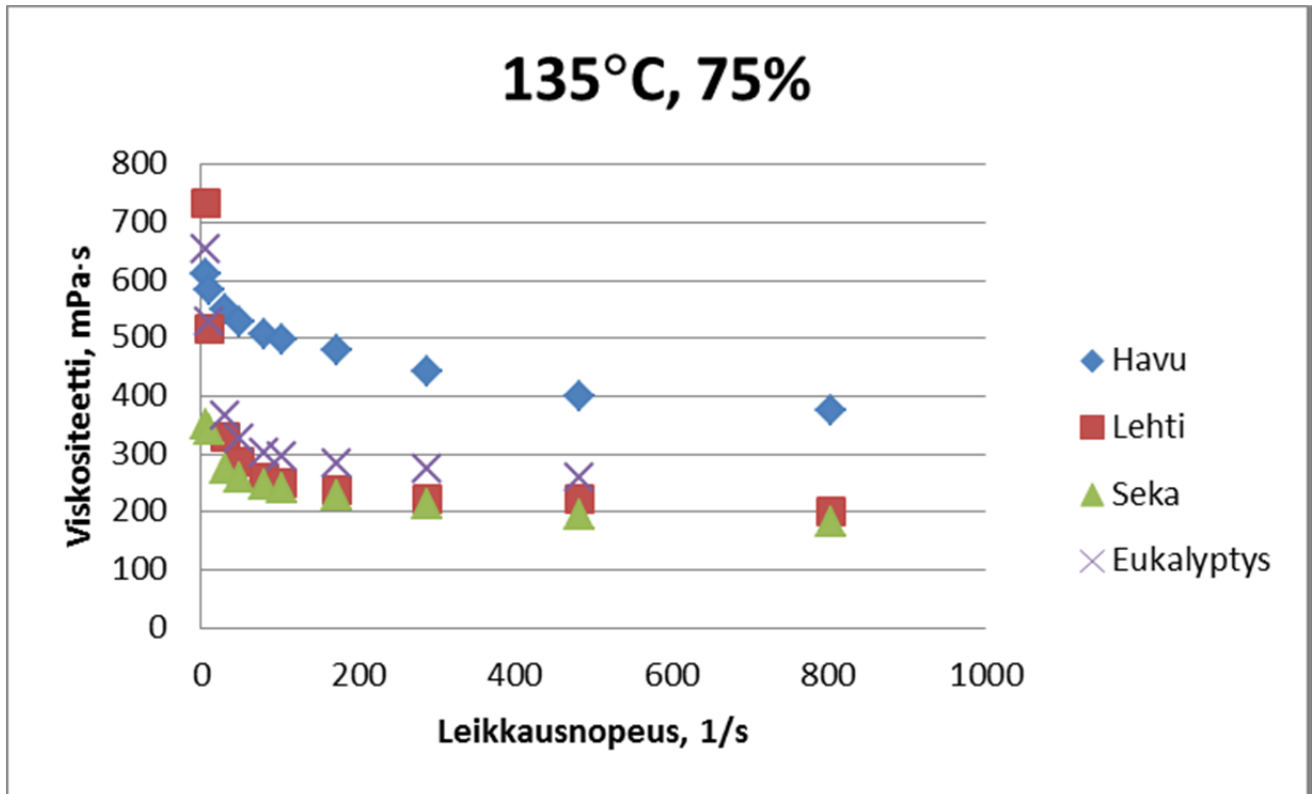
Taulukko 2. Sulfidikorjatut kuiva-aineet

Lipeälaatu	Lab. normaali %	Lab. normaali sulfidikorjattu, %	Lab. paineistettu %	Lab. paineistettu sulfidikorjattu, %
Havupuu	73,7	71,0	73,1	70,4
Lehtipuu	73,1	71,4	71,2	69,5
Seka	81,8	79,8	82,7	80,7
Eukalyptus	77,8	75,9	-	

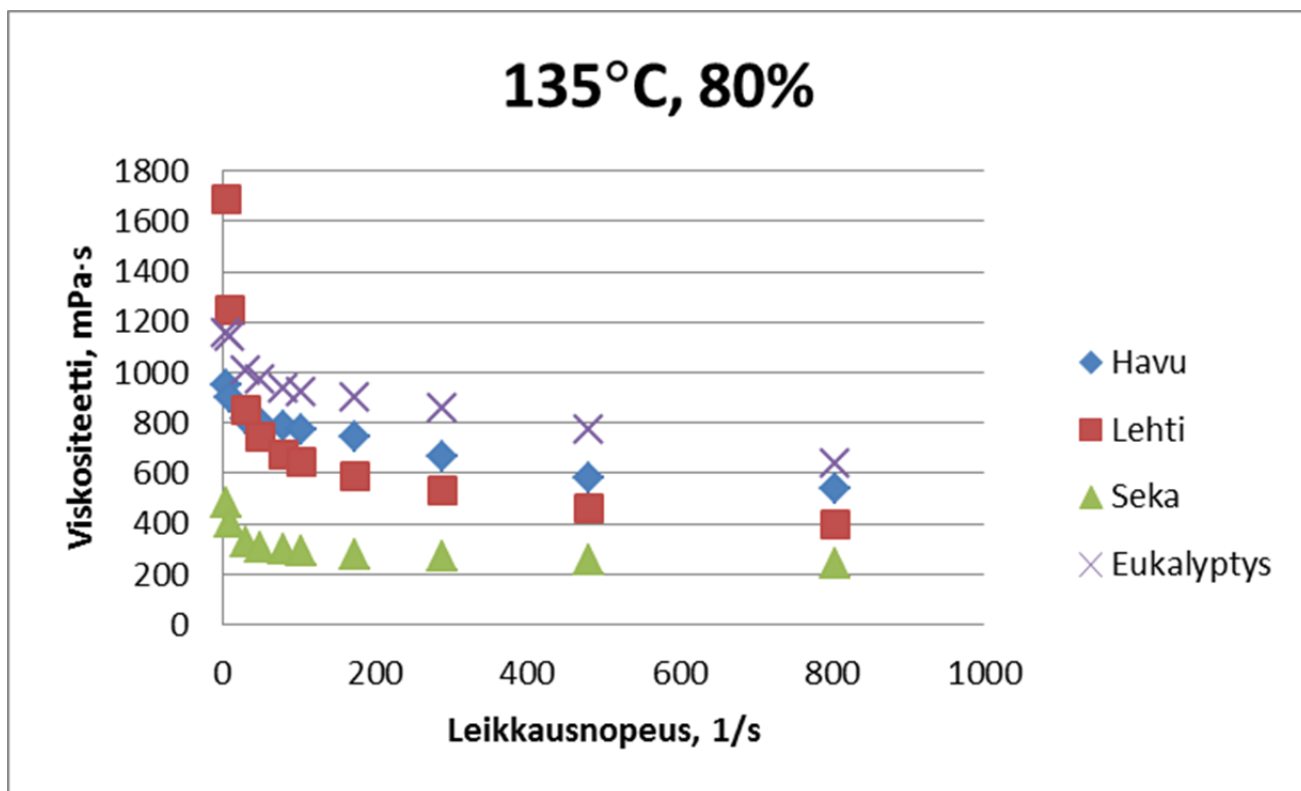
2.4 Viskositeetit leikkausnopeuden muuttuessa

Viskositeetin leikkausnopeuden riippuvuus kolmella kuiva-ainepitoisuudella on esitetty kuvissa 12–14. Kuiva-ainepitoisuudet on redusoitu samaan kuiva-aineeseen mittausdatasta (Liitteet 1-4) vertailun mahdollistamiseksi. [Eri tehtaiden tai puulajien viskositeettien vertailu keskenään on vaikeaa koska haihduttamalla käytössä oleva lipeän lämpökäsittely \(lämpötila/kesto\) vaikuttaa lipeän ominaisuuksiin kuten viskositeettiin.](#) Havaitaan, että kaikissa tapauksissa pienillä leikkausnopeuksilla mustalipeä on ei-Newtonilaista. Lehtipuun ja eukalyptuksen viskositeetit

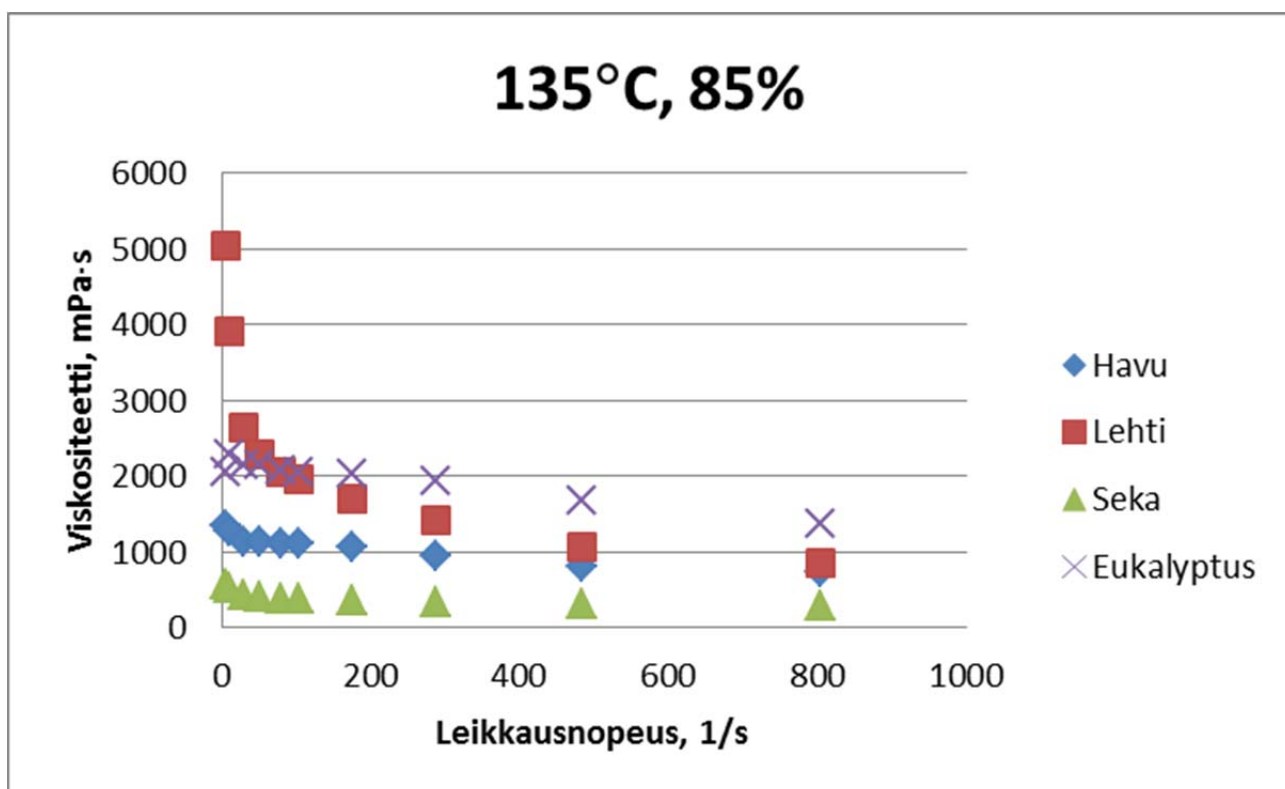
muuttuvat eniten pienillä leikkausnopeuksilla, kun kuiva-ainepitoisuus on 75 %. Korkeimmalla kuiva-ainepitoisuudella 85 % muuttuu lehtipuun viskositeetti moninkertaiseksi pienillä leikkausnopeuksilla, kun taas eukalyptuksen viskositeetti kohoaa vain vähän. Havupuulla muutos on pienin, alle 100 %, mutta kuitenkin merkittävä. Yhtenä selittävänä tekijänä voi olla näytteen polysakkaridipitoisuus, joka havu- ja sekalipeillä on alle 2 %, eukalyptuslapeällä 2.6 % ja koivulla 4 %. Näytteiden alkuperäinen mittausdata on esitetty liitteissä 1-5.



Kuva 12. Viskositeetin leikkausnopeusriippuvuus 75 % kuiva-ainepitoisuudella.

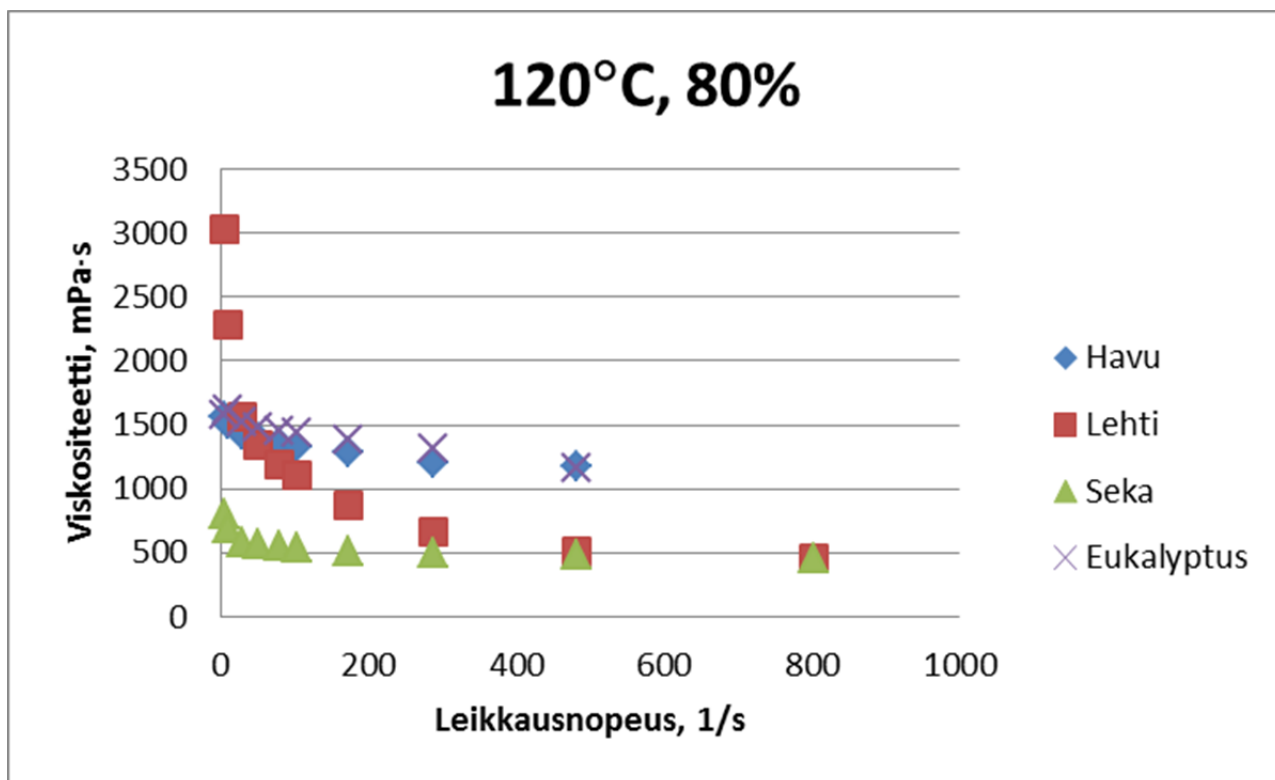


Kuva 13. Viskositeetin leikkausnopeusriippuvuus 80 % kuiva-ainepitoisuudella.

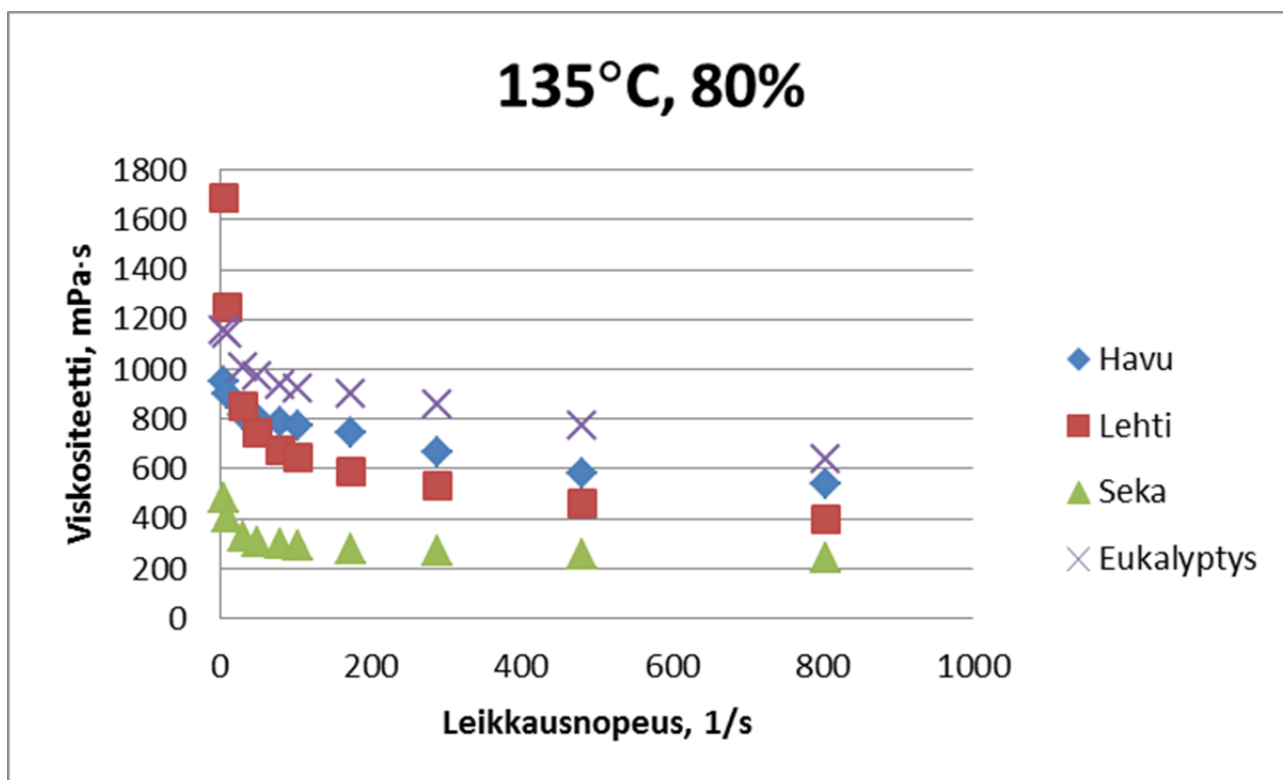


Kuva 14. Viskositeetin leikkausnopeusriippuvuus 85 % kuiva-ainepitoisuudella.

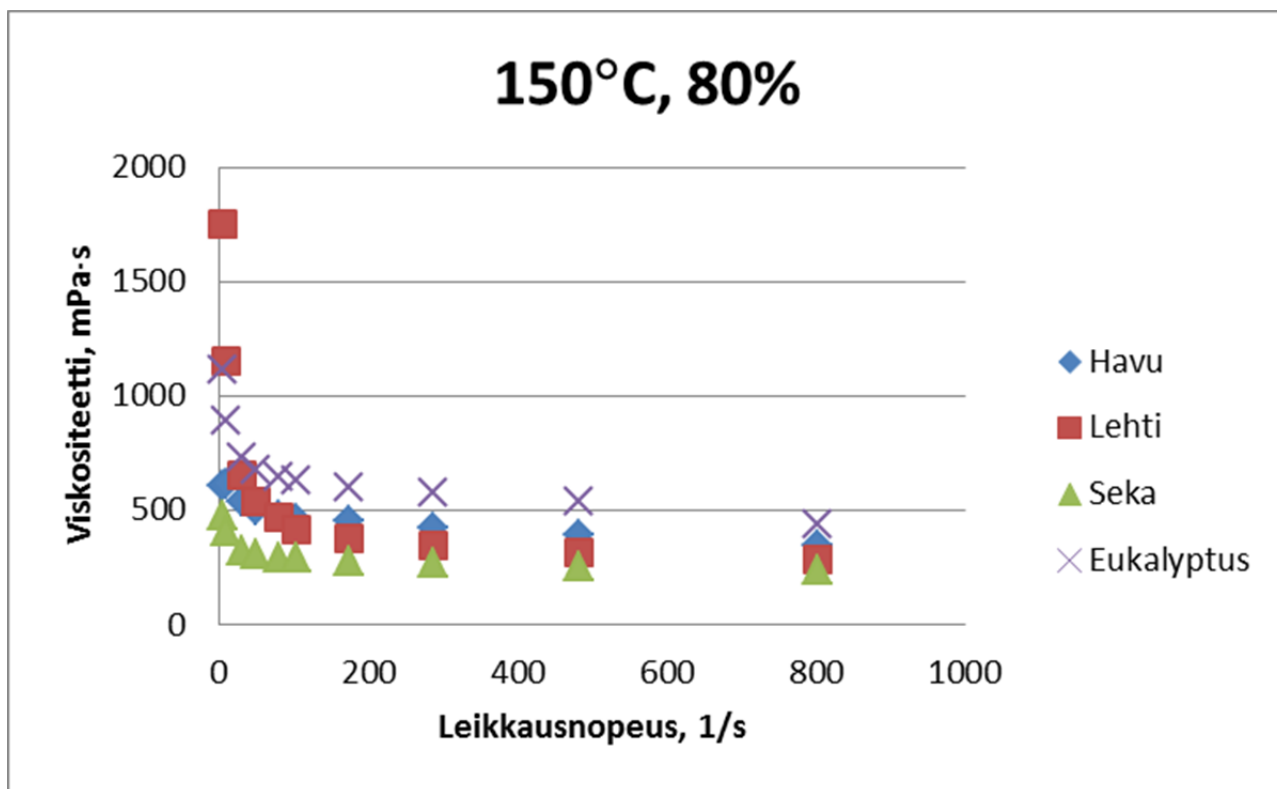
Viskositeetin leikkausnopeusriippuvuutta eri lämpötiloissa on tutkittu kuvasarjassa 15–17. Lehtipuun viskositeetti muuttuu eniten, 4-6 kertaiseksi, alhaisilla leikkausnopeuksilla ja myös eukalytuksen viskositeetti kasvaa paljon leikkausnopeuden pienentyessä. Havupuun viskositeetti kohoaa vähiten, mutta kuitenkin yli 50 %, leikkausnopeuden pienentyessä arvoon 5 1/s.



Kuva 15. Viskositeetin leikkausnopeusriippuvuus 120 °C:een lämpötilassa.



Kuva 16. Viskositeetin leikkausnopeusriippuvuus 135 °C:een lämpötilassa.



Kuva 17. Viskositeetin leikkausnopeusriippuvuus 150 °C:een lämpötilassa.

Merkillepantavaa on, että kaikilla lipeillä viskositeetti kohosi leikkausnopeuden pienentyessä, joskin alin mitattu leikkausnopeus oli vain 5 1/s. Yhtälössä (5) ei oleteta nollaleikkausnopeudelle äärellistä viskositeettia, päinvastoin kuin Zaman ja Fricke [5] oletivat polymeereihin perustuvien yhtälöidensä perusteella. Oikeaa yhtälömuotoa ei voi tietää ennen mittauksia nyt toteutettua pienemmillä leikkausnopeuksilla.

Viskositeettiin merkittävästi vaikuttavat polysakkaridipitoisuudet on esitetty liitteessä 5. Korkein polysakkaridipitoisuus on lehtipuulipeällä. Lehtipuu on myös ei-Newtonilaisin yhdessä eukalyptuksen kanssa. Havu- ja sekalipeän polysakkaridipitoisuudet olivat alhaiset.

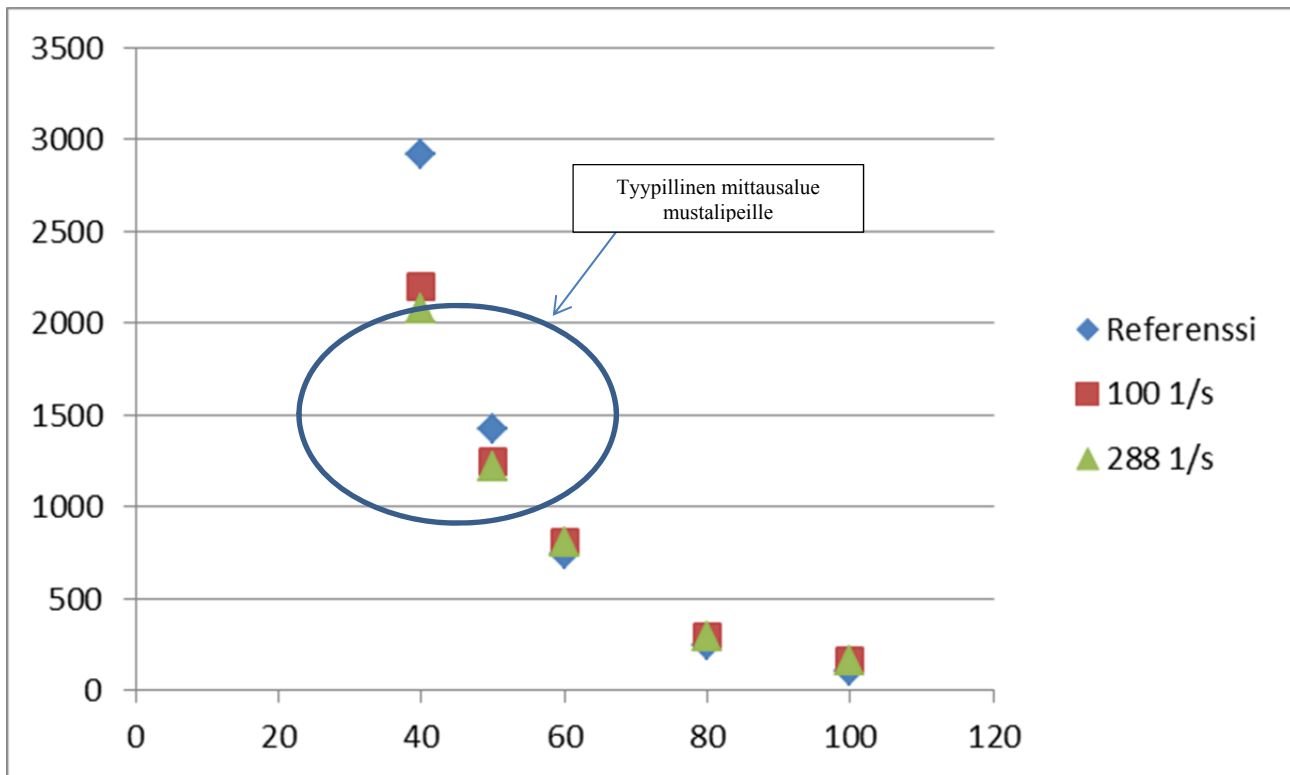
Jäännösalkalipitoisuus lehtipuulipeällä oli 3.2 %. Havu- ja sekalipeän jäännösalkalipitoisuudet olivat 4.6 % ja 4.3 %.

2.5 Viskositeettimittauksen kalibrointi

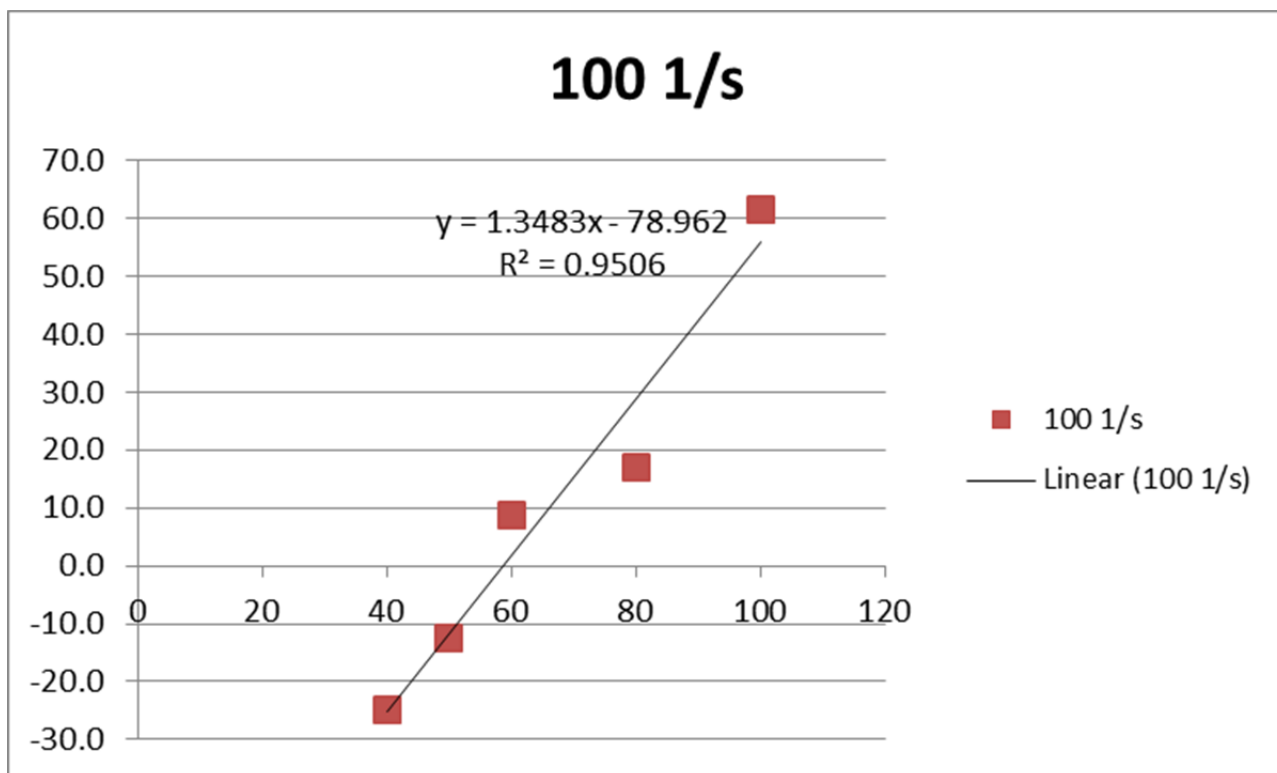
Haake RheoStress 6000 with Haake Pressure Cell D100/200 kalibroitiin käyttäen kalibrointiöljyä ISO 170251 / ISO Guide 34 VISCOSITY AND DENSITY REFERENCE STANDARD N4000. Liitteessä 6 on esitetty kalibrointiöljyn kuvaus tarkemmin. Taulukossa 2 on esitetty kalibroinnin tulos. Kuvassa 18 on esitetty referenssinesteen viskositeetti ja mitatut viskositeetit leikkausnopeuksilla 100 1/s ja 288 1/s. Silmämääräisesti arvioiden mittaustulos seuraa kohtuullisen hyvin referenssinesteen viskositeettia eri lämpötiloissa. Kuvissa 19 ja 20 on esitetty virheen prosentuaalinen suuruus. Virheen suuruus on jokseenkin lineaarisesti riippuvainen lämpötilasta. Koska virhe on merkittävä korkealla ja matalalla viskositeettiä arvolla, ei yritetä etsiä vakioita lipeiden ei-Newtonilaisuuden yhtälöissä 3-6. Labtium on ryhtynyt selvittämään viskometrin valmistajan kanssa syytä lämpötilariippuvaan virheeseen.

Taulukko 2. Viskositeetti lämpötilan muuttuessa. Punaisella merkitty mustalipeille tyypillinen mitta-alue

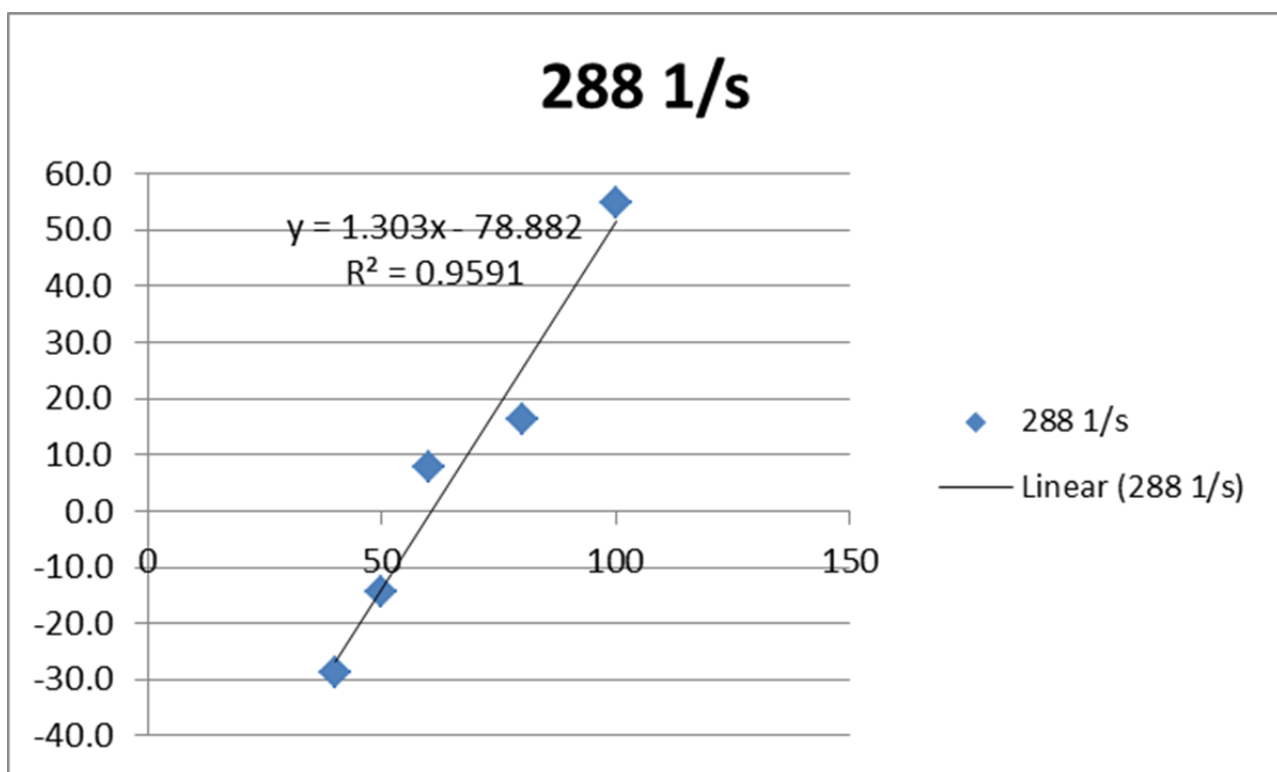
Lämpötila, °C	Sertifioitu arvo mPas	Mitattu arvo, 100 1/s mPas	Mitattu arvo, 288 1/s mPas	Ero 100 1/s mPas	Ero 288 1/s mPas	Ero 100 1/s %	Ero 288 1/s %
40	2921	2195	2080	-726	-841	-24.9	-28.8
50	1423	1245	1218	-178	-205	-12.5	-14.4
60	744.7	810	802	65.3	57.3	8.8	7.7
80	247.6	290	288	42.4	40.4	17.1	16.3
100	102.1	165	158	62.9	55.9	61.6	54.8



Kuva 18. Referenssinesteen ilmoitettu viskositeetti ja kahdella leikkausnopeudella mitattu viskositeetti lämpötilan funktiona.



Kuva 19. Virhe % leikkausnopeudella 100 1/s.



Kuva 20. Virhe % leikkausnopeudella 288 1/s.

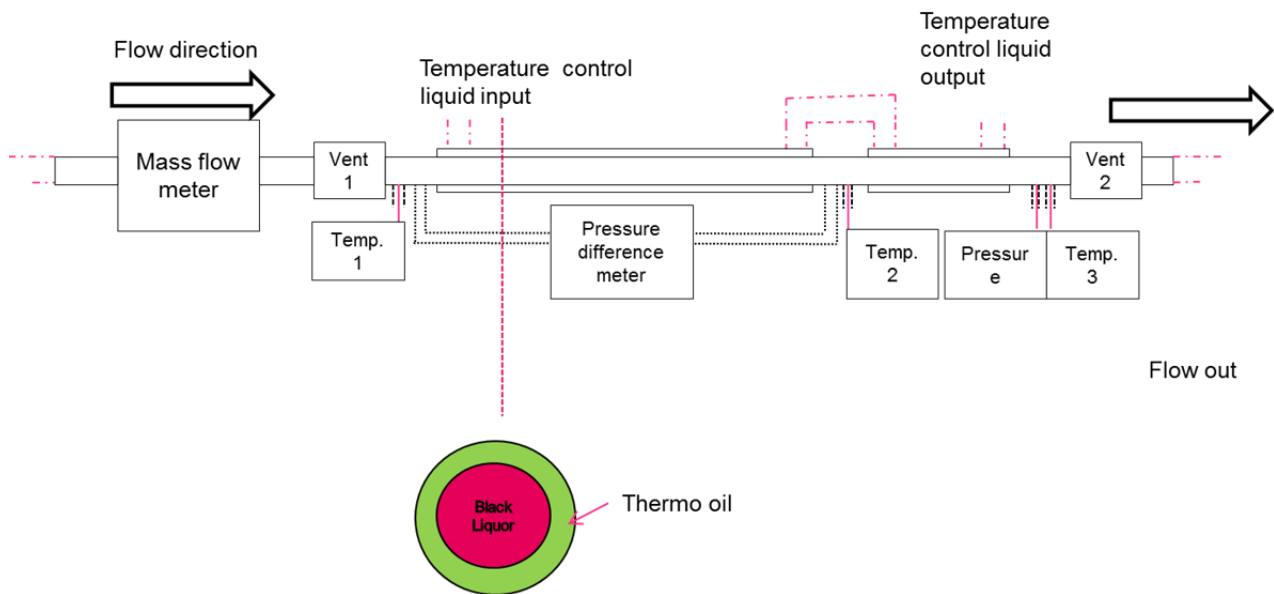
2.6 Kapillaariviskometri

Viskositeetti mitattiin yksinkertaisella kapillaariviskometrillä soodakattilalla. Laitteisto on esitetty kuvassa 21. Mustalipeä otetaan lipeärenkaalta ja johdetaan pienen massavirtamittarin läpi kapillaariviskometriin ja siitä edelleen taustalla näkyvään ruiskutuskammioon.

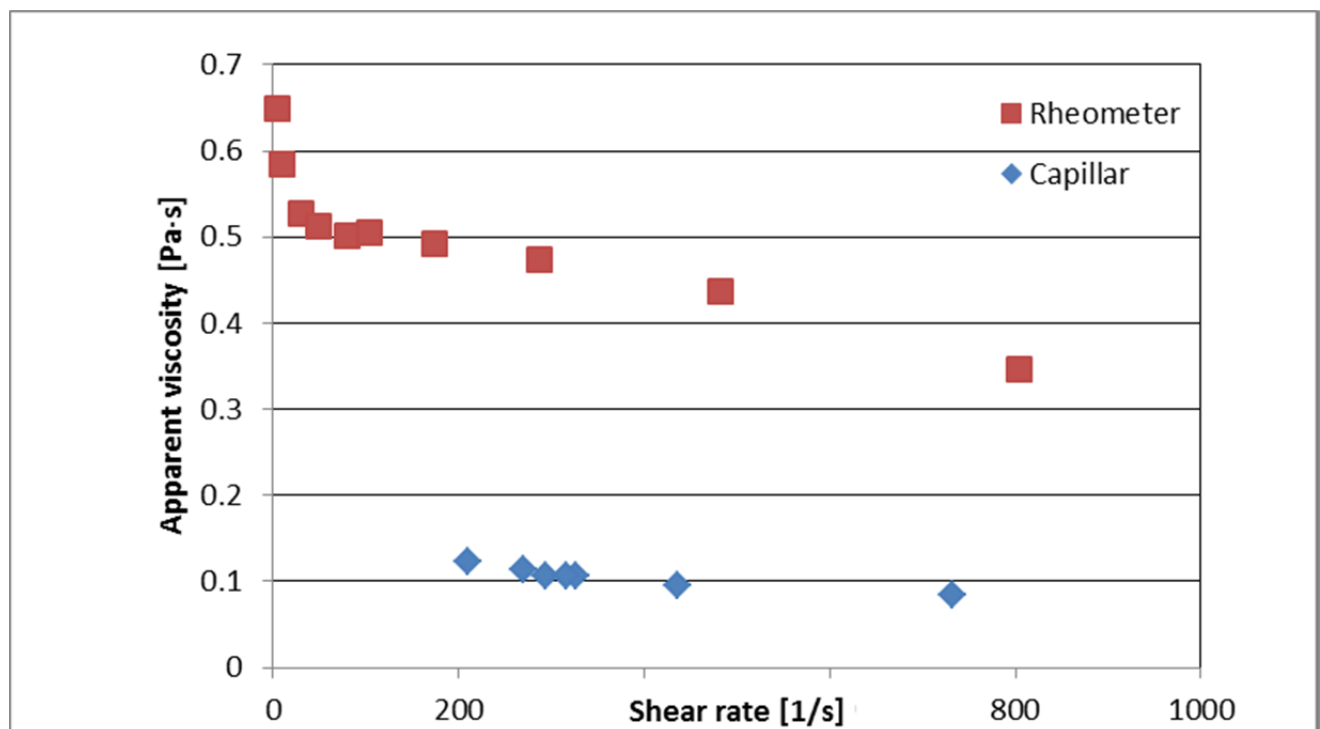
Kuvassa 22 on kuvattu laitteiston periaate. Venttiilien 1 ja 2 avulla säädetään virtausta siten, ettei lipeä pääse kiehumään. Kaksoisvaippaputkella ja ulommassa putkessa virtaavalla lämmitetyllä termoöljyllä pidetään lipeän lämpötila vakiona. Lämpötila laskee 2-3 °C matkalla lipeärenkaalta koelaitteistolle. Paine-eroanturilla mitattiin mustalipeän paineen muutos koelaitteistossa, jolloin näennäinen viskositeetti voidaan laskea. Kuvassa 23 on esitetty kapillaariviskometrillä mitattu näennäinen viskositeetti leikkausnopeuden muuttuessa ja vastaava tilanne redusoituna HaakeRheometer viskometrin mittaustuloksista. HaakeRheometrin antama viskositeetti on yli kolminkertainen verrattuna kapillaarimittarin tulokseen. Kapillaariviskometrillä ei päästä pieniin leikkausnopeuksiin, alle 200 1/s.



Kuva 21. Koelaitteisto soodakattilalla.



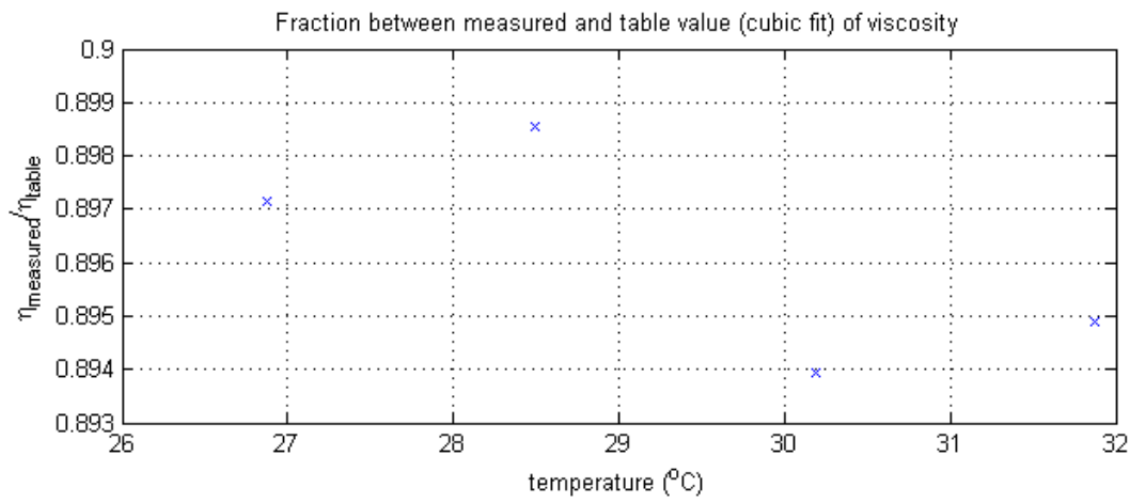
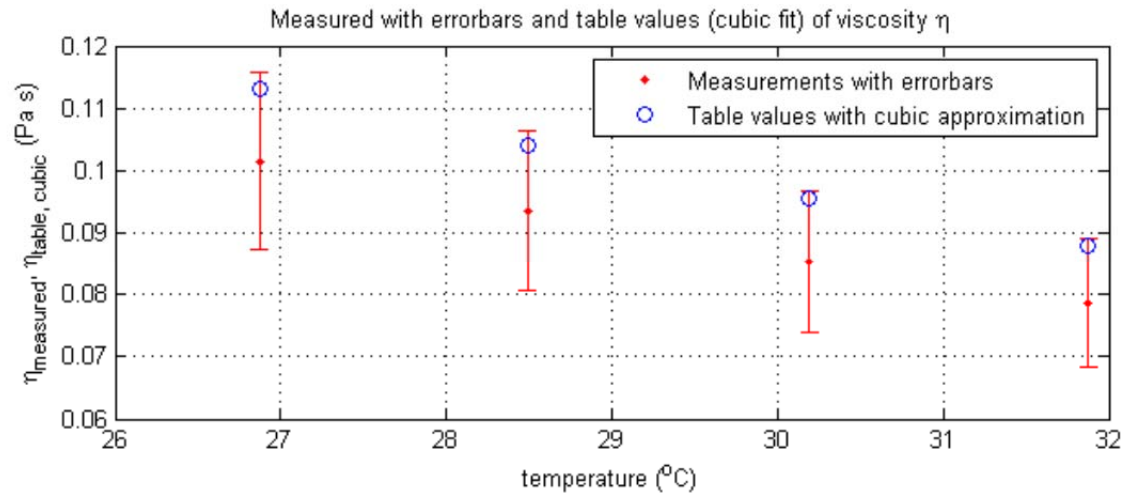
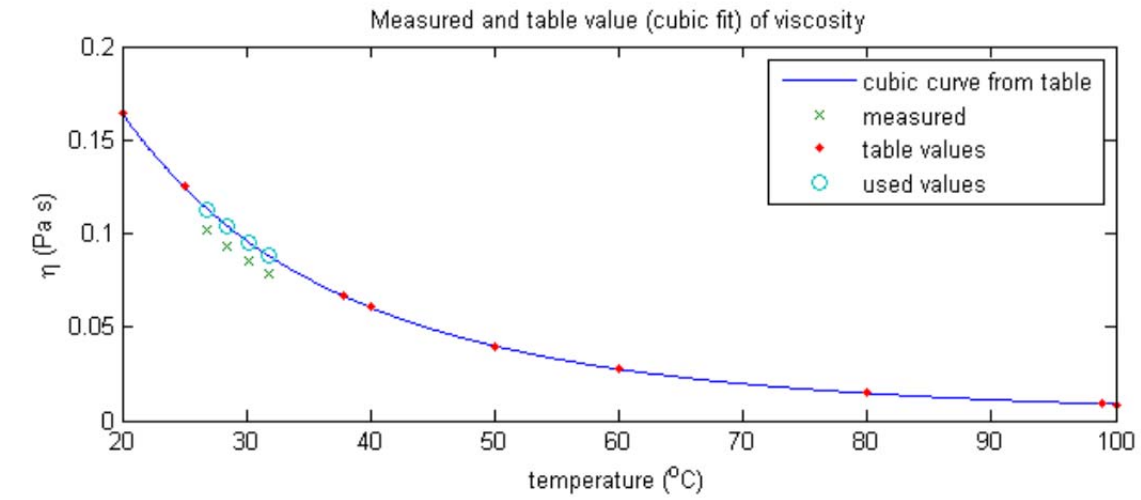
Kuva 22. Kapillaariviskometrin periaatekaavio.



Kuva 23. Näennäinen viskositeetti eri leikkausnopeuksilla mitattuna HaakeRheometrillä ja kapillaariputkella. Havulipeä 73.1 % ja 129 °C.

2.7 Kapillaariviskometrin kalibrointi

Kapillaariviskometri kalibroitiin standardiöljyn ISO 17025 avulla. Liitteessä 7 on esitetty kalibrointiöljyn tiedot tarkemmin. Tarkkuudeksi laboratoriossa saatiin 15 %. Tehtaalla laitetta ei kalibroitu ja mittaukset olivat merkittävästi epätarkempia. Sopivilla massavirroilla laite soveltuu tehdasmittauksiin, mutta laitteen käyttäminen on työlästä ja huolellisuutta vaativaa. Kuvassa 24 on esitetty laboratoriossa suoritetun kalibrointimittauksen tulos eri leikkausnopeuksilla. Kalibrointimittaus on esitetty tarkemmin Jukka Koskenrannan erikoistyössä [16].



Kuva 24. Kapillaariviskometrin kalibrointimittaus laboratoriossa.

3 MUSTALIPEÄN KÄSITTELYN VAIHEET

3.1 Haihduttamo

Jos tarkastellaan mustalipeän elinkaarta tehtaalla haihduttamolta lähtien, viskositeetin vaikutus on suurin haihduttamon väkevässä päässä ja vaikuttaa olennaisesti valuvan nestekalvon käyttäytymiseen sekä lämmön- ja aineensiirron osalta että likaantumisen kannalta. Leikkausnopeudet ovat pieniä, joten mustalipeän ei-Newtonilaisuus voi haihduttamon viimeisissä yksiköissä olla merkitsevää.

3.2 Pumput

Viskositeetti vaikuttaa myös pumppujen ja sekoittimien vaatimaan tehoon sekä virtaukseen putkistoissa. Pumpuissa leikkausnopeudet ovat suuria eikä ei-Newtonilaisuus siten ole oleellista pumpun toiminnalle.

3.3 Putkistot

Putkistot on mitoitettu suuriksi, jota painehäviö olisi alhainen. Esimerkiksi mustalipeää pumpataan soodakattilalle putkissa, joiden sisähalkaisija on 110 mm. Massavirta on esimerkiksi 60 l/s sisältäen takaisinkierätykseen menevän osuuden. Leikkausnopeudeksi saadaan noin 500 l/s. Näennäinen viskositeetti ei muutu merkittävästi ei-Newtonilaisuuden takia.

3.4 Suutinputki

Putkistoissa ja juuri ennen ruiskua mustalipeän paine on korkeampi kuin sen kiehumispaine, eikä kiehumista siis voi tapahtua. Juuri ennen suuttimen ulostuloa aukkoa (0-20 cm) alkaa kiehumisen paineen lasiessa riittävän alas. Tällöin mustalipeän kuiva-ainepitoisuus kohoaa kiehumista vastaavan kuiva-aine muutoksen verran ja samalla mustalipeän viskositeetti kohoaa hiukan.

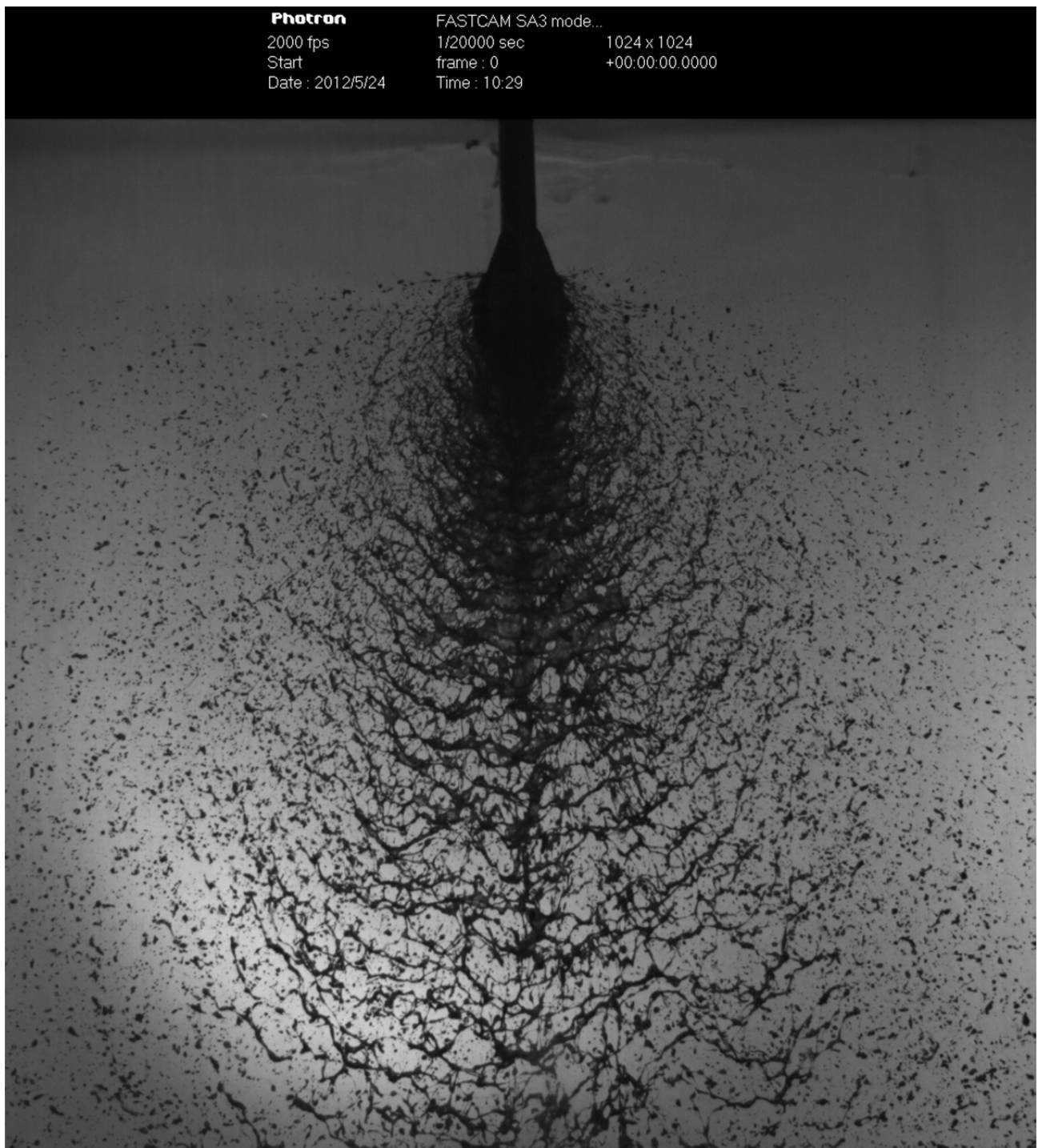
Suutinputkessa virtausnopeudet ovat muutamia metrejä sekunnissa ja vastaavat leikkausnopeudet paljon yli 100 l/s. Suutinputkessa ei-Newtonilaisuus ei siis vaikuta merkittävästi.

3.5 Lusikka

Lusikalla ja juuri ennen lusikkaa virtausnopeudet ja leikkausnopeudet ovat suuria verrattuna virtauksen poikkipinta-alaan. Ei-Newtonilaisuus ei ole oleellista näennäisen viskositeetin arvolle.

3.6 Mustalipeäkalvo, rihmat ja pisarat

Kuvassa 25 on esitetty kalvon muodostuminen heti lusikan jälkeen. Kun mustalipeä kalvo on jättänyt lusikan, pienevät leikkausta aiheuttavat voimat. Samalla viskositeetti kohoaa, jos mustalipeä käyttäytyy ei-Newtonilaisesti, kuten mittaukset osoittivat pienille leikkausnopeuksille.



Kuva 25. Mustalipeäkalvo, rihmat ja pisarat heti suuttimen jälkeen koeruiskutuskammiossa kuvattuna.

Viskositeetin kohoaminen jatkuu suuttimen ulkopuolella tulipesässä. Mustalipeän sisältämä paineistettu höyry pullistaa ja rikkoo syntyvää mustalipeäkalvoa ja siitä muodostuvia rihmoja ja pisaroita. Kuiva-aine pitoisuus etenkin kalvon, rihmojen ja pisaroiden pinnalla laskee. Samanaikaisesti leikkausnopeus pienenee, kun leikkausta aiheuttavat voimat pienenevät ja viskositeetti kasvaa. Tässä tilanteessa mustalipeän ei-Newtonilaiset ominaisuudet ovat voimakkaimmillaan ja vaikuttavat pisaroiden kehittymiseen, kuivumiseen ja palamiseen oleellisesti.

4 PISARAN MUODONMUUTOS

4.1 Simulointi OpenFoam-ohjelmalla

Käytettiin ANSYS FLUENT ohjelmaa pisaroitumisen laskentaan, vapaan pinnan laskenta, 3D kuvaus. Kärnän ja Järvisen [17] laskennassa 1 mm, 3 mm ja 8 mm pisarat venytettiin 8:1 sylintereiksi ja päästettiin vapaaksi ja annettiin pintajännityksen vetää ne kokoon. Ei-Newtonilaisen lipeän viskositeetin oletettiin olevan suurella leikkausnopeudella 300 mPa·s ja Newtonilaisen lipeän 300 mPa·s. Kuvasarjassa 26-28 on esitetty tuloksia muodonmuutosnopeudesta.

Ei-Newtonilaisuus hidastaa esimerkkitapauksessa oleellisesti muodonmuutosta. Tämän seurauksena palaminen olisi nopeampaa ja pisaroiden hidastuvuus suurempi kuin Newtonilaisen nesteen samassa tilanteessa. Ei-Newtonilaisen lipeän pisarat päätyisivät siis eri kohtaan keossa ja niiden hiilipitoisuus poikkeaisi Newtonilaisen lipeän hiilipitoisuudesta keon pinnalla.

Laskennassa on huomioitu pelkästään viskositeetin ja pintajännityksen vaikutus muodon muutokseen. Kuvassa 29 on esitetty lisäksi muodonmuutos eri ajanhetkinä 8 mm:n pisaralle. Ei-Newtonilaisen pisaran muodon muutos on noin 20 % hitaampi kuin Newtonilaisen pisaran. Todellisuudessa pisaran lämpötila, kuiva-ainepitoisuus ja muoto muuttuisivat tulipesässä. Etenkin höyryn vapautuminen rihmoista ja pisaroista sekä pintajännityksen väärä arvo voivat vaikuttaa merkittävästi pisaroiden muotoon, lentorataan ja palamiseen. Ilman huolellista simulointia tai kokeellista mittausta, on vaikea sanoa kuinka suuri vaikutus ei-Newtonilaisuudella on soodakattilan toimintaan.

Newtonian



time: 0.030000



time: 0.060000



time: 0.090000



time: 0.120000



time: 0.150000

Non-Newtonian



time: 0.030000



time: 0.060000



time: 0.090000



time: 0.120000



time: 0.150000

2.2 m

Kuva 26. 1 mm pisarat, 300 mPa·s, 0-0.15 s.

Newtonian



time: 0.080000



time: 0.160000



time: 0.240000



time: 0.320000



time: 0.400000

Non-Newtonian



time: 0.080000



time: 0.160000



time: 0.240000



time: 0.320000



time: 0.400000

4.8 m

Kuva 27. 3 mm pisarat, 300 mPa·s, 0-0.4 s.

Newtonian



time: 0.12000



time: 0.24000



time: 0.36000



time: 0.48000



time: 0.60000

Non-Newtonian



time: 0.120000



time: 0.240000



time: 0.360000



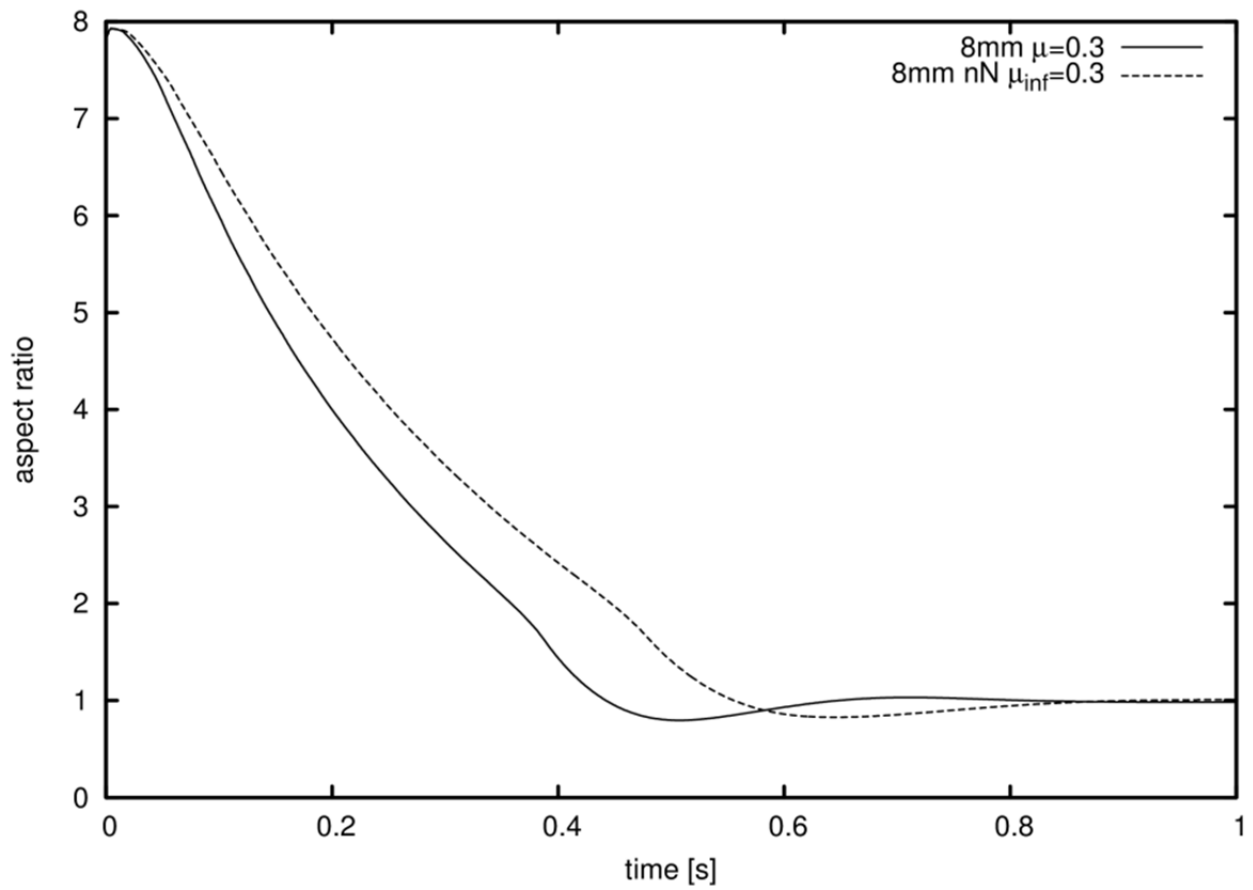
time: 0.480000



time: 0.600000

9 m

Kuva 28. 8 mm pisarat, 300 mPa·s, 0-0.6 s.



Kuva 29. Newtonilaisen ja ei-Newtonilaisen 8 mm:n pisaran muodonmuutos.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

5.1 Ei-Newtonilainen viskositeetti

Pienillä leikkausnopeuksilla, alle 50 1/s, ovat kaikki tutkitut lipeät ei-Newtonilaisia, pseudoplastisia. Viskositeetti kohoaa ja ei-Newtonilaisuus lisääntyy, kun mustalipeän lämpötilaa alennetaan tai kuiva-ainepitoisuutta kohotetaan. Kirjallisuuden perusteella viskoelastisuus ei ole merkittävää mustalipeälle käytetyissä lämpötiloissa ja kuiva-ainepitoisuuksilla.

5.2 Merkitys soodakattilan toimintaan

Alhaisilla kuiva-ainepitoisuuksilla ei-Newtonilaisuus ei vaikuta haihduttamon toimintaan. Haihdutinsarjan loppupäässä korkeilla kuiva-ainepitoisuuksilla ei-Newtonilaisuus voi vaikuttaa haihdutinyksiköiden toimintaan. Pumpuissa leikkausnopeudet ovat korkeita, joten ei-Newtonilaisuuden merkitys on vähäistä. Putkistoissa ei-Newtonilaisuus voi alentaa hiukan näennäistä viskositeettia. Mustalipeän siirtoputket on takaisinkierrätyksineen mitoitettu niin, että leikkausnopeus on tasaisen viskositeetin alueella eikä viskositeetti siis alene. Myös suutinputkessa ja lusikalla leikkausnopeudet ovat suuria, eikä ei-Newtonilaisuutta tarvitse huomioida.

Lusikan jälkeen tilanne on erilainen. Mustalipeäkalvon ja pisaroiden ympärillä leikkausvoimat ja leikkausnopeudet ovat pieniä ja ei-Newtonilaisuus korottaa viskositeettia. Viskositeettia lisää myös kalvon, rihmojen ja pintojen kuivuminen tulipesäolosuhteiden takia. Rihmojen ja pisaroiden muodonmuutokset hidastuvat, jolloin pisaroiden lentoradat lyhenevät ja samalla kuivuminen ja palaminen tehostuvat rihmojen pisaroita suuremman pinta-alan takia. Tämä vaikuttaa keon muotoon ja koostumukseen sekä intensiivisimmän palamisen sijaintiin tulipesässä.

Tutkijoille ja tuotekehittelijöille, jotka kehittävät soodakattilan ruiskutusta tai haihdutinyksiköitä, havainnot mustalipeän ei-Newtonilaisista ominaisuuksista ovat tärkeitä. Näiden tulosten pohjalta voidaan kehittää tarkempia pisaroitumis- ja ruiskunmalleja sekä tehokkaampia haihduttamoja.

5.3 Pohdintaa tulosten hyödyntämideoista

Tulokset ovat uusia ja mielenkiintoisia. Pienillä leikkausnopeuksilla korkeakuiva-aineinen mustalipeä on ei-Newtonilaista jopa käytetyillä korkeilla lämpötiloilla. Suurilla leikkausnopeuksilla mustalipeä käyttäytyy Newtonilaisen nesteen tavoin normaalisti käytetyillä kuiva-ainepitoisuuksilla ja lämpötiloilla.

Pumpuissa, putkistoissa ja suuttimissa mustalipeä käyttäytyy Newtonilaisen nesteen tavoin. Ruiskutuksen jälkeen tulipesässä leikkausnopeudet ovat pieniä ja mustalipeä tämän takia ei-Newtonilaista. Pelkän ei-Newtonilaisuuden huomioiminen pisaran muodonmuutokseen on tehtävissä luvussa neljä esitetyllä tavalla käyttäen Fluent virtauslaskentaohjelmistoa. 8:n millimerin pisaroilla muodon muutos hidastui tässä laskelmassa 20 %. Todellisessa tulipesässä muodostuneiden rihmojen ja pisaroiden muodon muutoksen laskeminen on vaikeaa, koska samanaikaisesti mustalipeä kokee höyrynkuplien laajenemisen ja höyryn vapautumisen, tulipesäsäteilyn kuivattavan vaikutuksen ja tulipesän kuumat kaasuvirtaukset. Mittaus- ja laskentamenetelmiä pisaroiden todelliselle käyttäytymiselle tulipesässä pitäisi kehittää, jotta tulipesän käyttäytymistä voitaisiin luotettavasti ennustaa. Aiempiin laskelmiin nähden pisaroiden muodonmuutos on todellisille ei-Newtonilaisille pisaroille hitaampaa, kuin Newtonilainen viskositeetti antaa olettaa. Oletettavasti viskositeetin kasvaessa lämpötilaa tulisi hiukan kohottaa, jotta ruiskutus- ja polttamisolosuhteet pysyisivät ennallaan. Samanaikaisesti pitäisi huomioida ruiskutuslämpötilan ja kiehumispisteen välinen lämpötilaero, joka vaikuttaa suihkun nopeuteen ja

pisarakokoon. Täydellisessä optimoinnissa huomioitaisiin mm. tarvittava uusi ruikutuskulma ja uudelle tilanteelle optimoitu ilmanjako.

Tutkimuksessa käytetyn on-line viskometrin tarkkuudeksi arvioitiin laboratoriossa huoneenlämpöisellä kalibrointinesteellä 15 %. Tehtaalla tarkkuus on huonompi, koska lämpötilan ja virtauksen säätö ovat vaikeampia. Laitteen asettelu ja virittely vaati paljon etukäteisvalmisteluja. Kapillaariviskometrillä olisi kuitenkin kehitettävissä jatkuvatoiminen mittalaite. Laitetta voitaisiin käyttää esimerkiksi ruiskutuksen ohjaukseen, jolloin voitaisiin reagoida viskositeettimuutoksiin jo ennen keossa tai palamisessa havaittuja muutoksia. Samansuuntaista tietoa syntyy kuiva-ainemittauksella, mutta aina kuiva-ainepitoisuus ei ennusta viskositeettia tarkasti, esimerkiksi suolan lisäyksen, puulaadun, jäännösalkalin muutoksen tai muun prosessimuutoksen yhteydessä. On myös mahdollista, että viskositeetin mittaaminen jälkikäteen laboratoriossa johtaa erilaiseen lopputulokseen, kuin viskositeetin mittaaminen jatkuvatoimisesti tehtaalla. Mustalipeän jäädyttäminen ja laboratoriossa tapahtuva uudelleen lämmittäminen ja näytteenkäsittely voivat vaikuttaa mustalipeän mitattaviin ominaisuuksiin.

Useammasta erikokoisesta putkesta koostuvalla kapillaarityyppisellä viskometrillä voitaisiin tutkia ruiskutettavan mustalipeän ei-Newtonilaisuutta jatkuvatoimisesti. Tällöin välttyttäisiin näytteenkäsittelystä aiheutuvalta viiveeltä ja mahdollisilta muutoksilta mustalipeässä. Toisaalta kapillaariviskometrin tarkkuus huononee pienillä leikkausnopeuksilla, joten pisaroitumisen kannalta mittaamisen tarkkuus on ongelmallista. Ei-Newtonilaisuus liittyy ligniinin ja polysakkaridien pitoisuuksiin, joten mahdollisesti liuosten ei-Newtonilaisuutta voitaisiin käyttää näiden pitoisuuksien määrittämiseen.

Normaalisti näytteenotto tapahtuu paineistamattomaan astiaan, jolloin osa mustalipeän höyrystä pääsee karkaamaan. Nyt testattu paineistettu näytteenotin vangitsi kaiken höyryn näytteen sisään myöhempää kuiva-ainepitoisuuden määrittämistä varten. Havu- ja lehtipuulipeän tapauksessa paineistetun näytteenottotavan kuiva-ainepitoisuus aleni 0.6 ja 1.9 prosenttiyksikköä, kun se olisi voinut alentua teoreettisesti maksimissaan 1.4 ja 0.9 prosenttiyksikköä. Sekalipeällä paineistetun näytteenottotavan kuiva-ainepitoisuus oli kohonnut 0,9 prosenttiyksikköä, kun se olisi voinut alentua maksimissaan 1.5 prosenttiyksikköä. Osa tuloksista viittaa virheeseen näytteenoton tai käsittelyn jossain vaiheessa. Kuten aiemmin on jo mainittu, käytetyn kuiva-ainemenetelmän (SCAN-N 22:77, ns. hiekkamenetelmä) mittausepävarmuus (95 % luottamustasolla) on ± 1 %.

Mustalipeän kuiva-ainepitoisuus on tärkeä suure, koska monet muut mustalipeän ominaisuudet, kuten kiehumapisteennousu ja viskositeetti esitetään kuiva-aineen funktiona. Yhden prosenttiyksikön virhe vaikuttaa kuiva-aineeltaan 80 % olevan mustalipeän kiehumapisteeseen 1 °C ja viskositeettiin enimmillään jopa yli 30 %. Ruiskutuksen ja pisaroitumisen kannalta erot ovat merkityksellisiä. Kuiva-aineen ollessa tätä korkeampi, yhden prosenttiyksikön epätarkkuus vaikuttaa vielä enemmän. Koska kaikki aiemmat kuiva-aineen määritykset on tehty normaalilla menettelyllä, jossa osa höyrystä karkaa, on jatkossakin perusteltua käyttää vanhaa näytteenottomenetelmää. Samalla vältetään uuden paineistetun menetelmän aiheuttamat lisäkustannukset.

5.4 Jatkotutkimus

Varmistetaan Haake RheoStress 6000 viskometrin toiminta mustalipeälle soveltuvissa lämpötiloissa. Kalibroinnin yhteydessä mitattu viskositeetti etenkin korkeissa lämpötiloissa vaikutti seuraavan huonosti kalibrointiöljyn viskositeettia. Toisaalta korkeassa lämpötilassa kalibrointiöljyn viskositeetti oli melko alhainen (n. 100 mPas), sillä nykyisin tyypillisten mustalipeiden merkittävä mittausalue on 200-1000 mPas.

Pisaroitumiseen ja haihduttamon viimeisissä yksiköissä leikkausnopeudet ovat pieniä ja ei-Newtonilaisuus vaikuttaa merkittävästi. Viskositeettia ei mitattu alle 5 1/s leikkausnopeuksille. Ei tiedetä, kasvaisiko viskositeetti äärettömiin pienillä leikkausnopeuksilla vai olisiko viskositeetille olemassa vakioarvo pienillä leikkausnopeuksilla. Tällainen vakioarvo (eli nollaviskositeetti) esiintyy polymeereillä pienillä leikkausnopeuksilla. Mustalipeän käyttäytyminen erittäin pienillä leikkausnopeuksilla pitäisi selvittää.

Ligniinin molekyylipaino olisi hyvä mitata liittyen tutkittaviin mustalipeisiin. Molekyylipaino, varsinkin ligniinin suurimolekyylinen osuus (HMML), liittyy olennaisesti viskositeettiin ja etenkin ei-Newtonilaiseen viskositeettiin.

Viskoelastisuutta ei tämän tutkimuksen yhteydessä tutkittu. Kirjallisuuden perusteella viskoelastisuutta esiintyy Zaman ja Fricke [13] mukaan alle 85 °C lämpötiloissa, mutta ei yli 120 °C lämpötiloissa. Mustalipeälle aihetta ei ole tutkittu merkittävästi, vaikka esimerkiksi polymeereilla viskoelastisuus on tärkeä suure.

Pisaran muodonmuutoksen mallinnusta on jatkettava OpenFoam-ohjelmalla. Mallia voidaan validoida kokeellisesti esimerkiksi ei-Newtonilaisen ksanttaaniseoksen avulla. Viritetään ksanttaanirihma pysty- tai vaakasuuntaisesti, jolloin voidaan kuvata rihman kasaan vetäytyminen hallitusti katkaistulle rihmalle. Vaikka tilanne ei kuvaa mustalipeäpisaraa tulipesässä, on mallin validointi yksi askel mustalipeäpisanan tulipesäkäyttäytymisen ymmärtämisessä. Pisaroitumisen, kuivumisen ja palamisen todellinen eteneminen tulipesäolosuhteissa on selvitettävä. Yhdistämällä pisanan käyttäytymisen mallintaminen ja kuvaukset tulipesässä hallituissa olosuhteissa mahdollistavat tulevaisuudessa entistä paremman pisaroiden palamisen, keon muodostumisen ja likaantumisen hallinnan tulipesässä.

LÄHDELUETTELO

1. Chhabra, R.P. Richardson, J.F. (2008). Non-Newtonian Flow and Applied Rheology - Engineering Applications (2nd Edition). Elsevier.
2. Fricke, A., L., Zaman, A., A., A Comprehensive Program to Develop Correlations for Physical Properties of Kraft Black Liquor, Final Report, The University of Florida, May 1998.
3. Söderhjelm, Liva, Factors Affecting the Viscosity of Strong Black Liquor, Appita Journal 41(1988):5, 389-392.
4. Söderhjelm, L., Viscosity of Strong Black Liquor from Birch, Paper and Timber, vol 70, 1988, 348-355.
5. Zaman A. A., Fricke A. L., Viscosity of Black Liquor up to 130°C and 84% Solids, AIChE Proceedings, 1991Forest Products Symp., pp. 59-77 (1991).
6. Yang R., Chen K., Liu Y. Chen Q., Shear-Thinning Properties of Non-Wood Kraft Pulping Waste Liquor, J. Cent. South Univ. Technol. (2007) s1-0522-04.
7. Söderhjelm, L., Characterization of Kraft Black Liquor with Respect to Evaporation and Combustion, Dissertation, Helsinki University of Technology, Laboratory of Pulping Technology, Helsinki, 1998.
8. Wight, M., Co, A., Fricke, A.L., Viscosity of Black Liquor by Cone and Plate and Parallel Disk Viscometry, AIChE Symposium Series: 77(207), 9-12 (1981).
9. Haavisto, S., Salmela, J., Järvinen, M., Kankkunen, A., Koponen, A., Application Of Ultrasound Velocity Profiling For Measuring Flow Behavior Inside Black Liquor Nozzles, International Chemical Recovery Conference, Tampere, Tampere-Talo, Finland, 8-13 June, 2014. Helsinki 2014, Finnish Recovery Boiler Committee, 2014, pp. 271-278.
10. Zaman A. A., Fricke A. L., Correlations for Viscosity of Kraft Black Liquors at Low Solids Concentrations. AIChE Journal, Vol. 40, No. 1, 1994, 187-192.
11. Miikkulainen, P., Spray Formation of High Dry Solids Black Liquor in Recovery Boiler Furnaces, Dissertation, Department of Mechanical Engineering, Helsinki University of Technology, 2006.
12. Söderhjelm, L., Viscosity of Strong Black Liquor, Paperi ja Puu, 68 (1986):9, 642-652.
13. Zaman, A. A., Fricke, A. L., Viscoelastic Properties of High Solids Softwood Kraft Black Liquors, Ind. Eng. Chem. Res., 1995, 34 (1), pp 382-391.
14. Järvinen, M., Kankkunen, A., Virtanen, R., Miikkulainen, P., Heikkilä, V.P, A One-Dimensional 2-Phase Flow Model and Experimental Validation for a Flashing Viscous Liquid in a Splash Plate Nozzle, Atomization and Sprays, to be published 2015.

15. Adams, T.N, Frederick, J.M., Grace, T.M., Hupa, M., Iisa, K., Jones, A.K, Tran, H., Kraft Recovery Boilers, Tappi Press, Atlanta, 1997.
16. Koskenranta J., Calibration of Black Liquor Viscometer, 15 June, 2014, Aalto University, School of Engineering, Department of Energy.
17. Kärnä, A., Järvinen, M., Kankkunen, A., CFD Modeling and Experiments of Droplet Formation of Non-Newtonian Liquids, to be submitted 2015

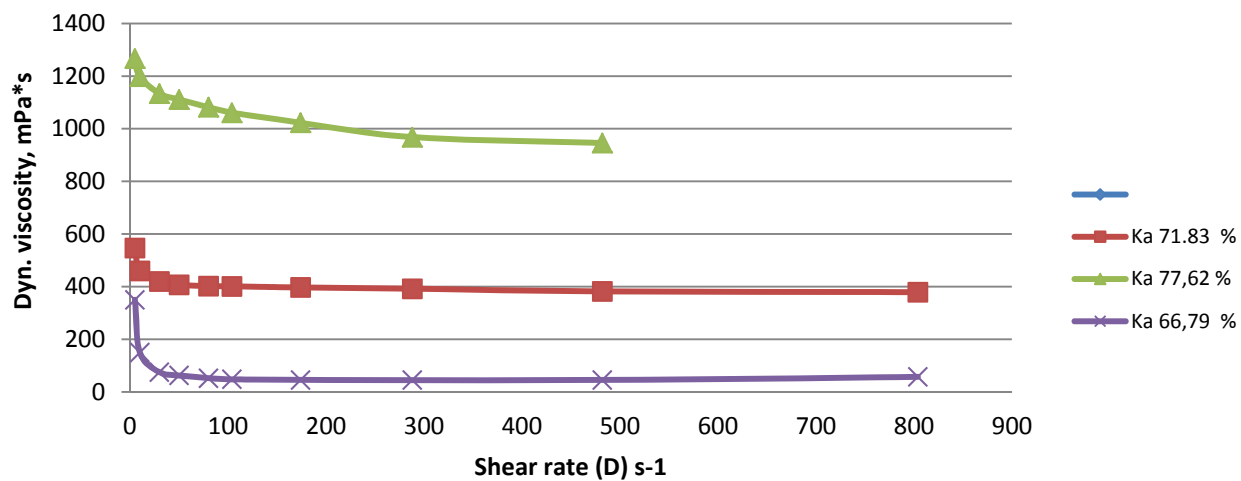
LIITE 1

Havulipeän viskositeettikäyrät

Rauma A 22.02.2014 klo 12:55

120°C

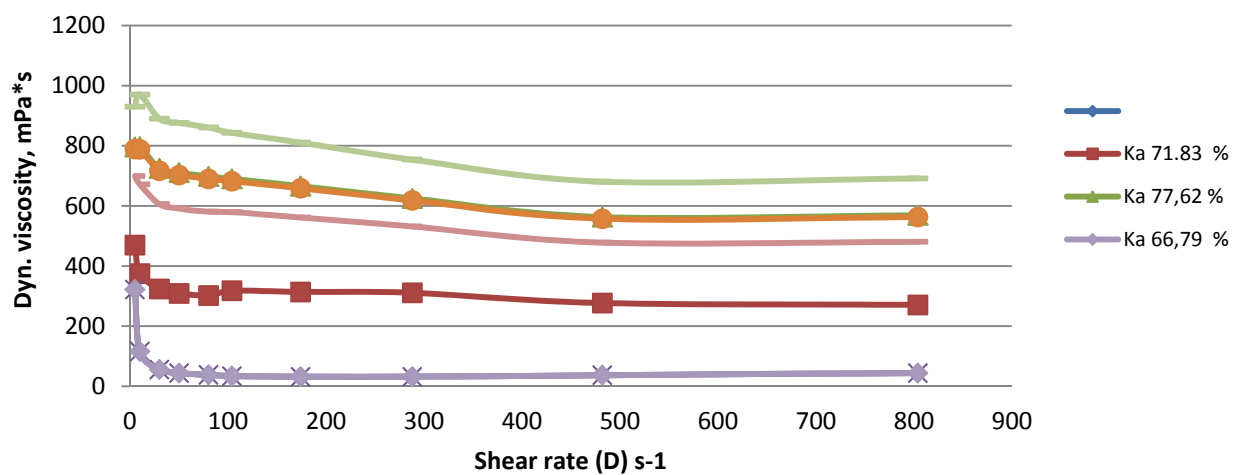
Viscosity vs. shear rate



Rauma A 22.02.2014 klo 12:55

132°C

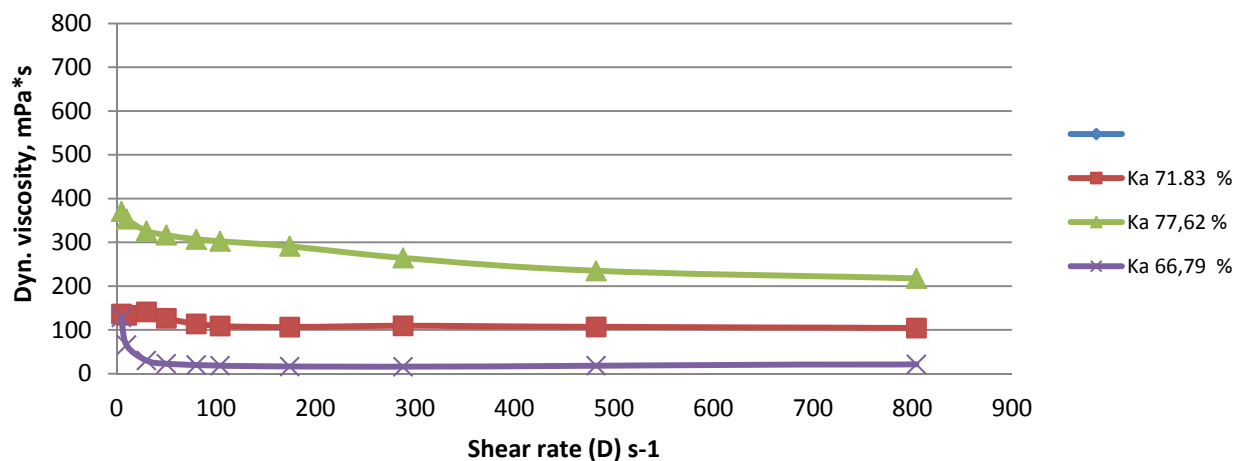
Viscosity vs. shear rate



Rauma A 22.02.2014 klo 12:55

135°C Corrected

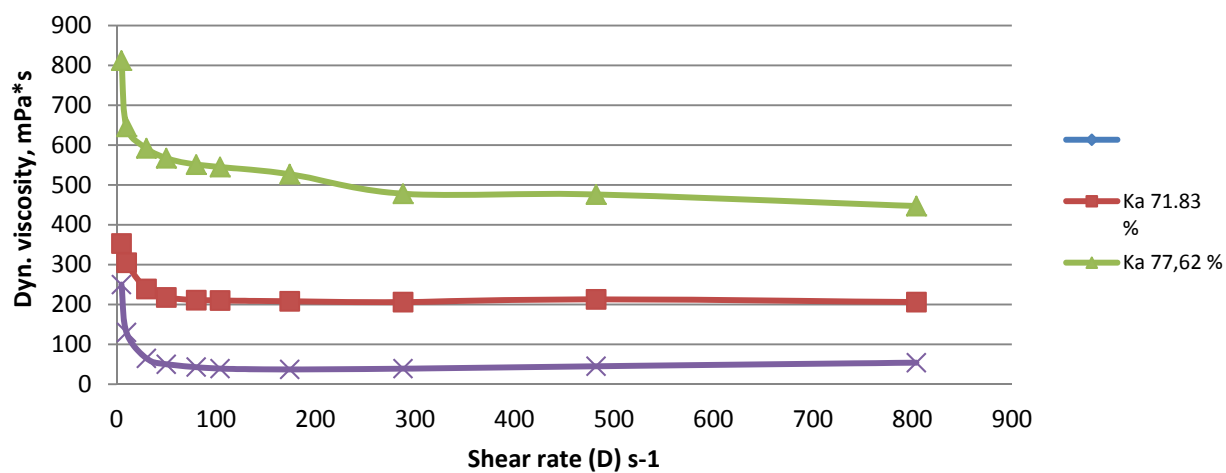
Viscosity vs. shear rate



Rauma A 22.02.2014 klo 12:55

140°C

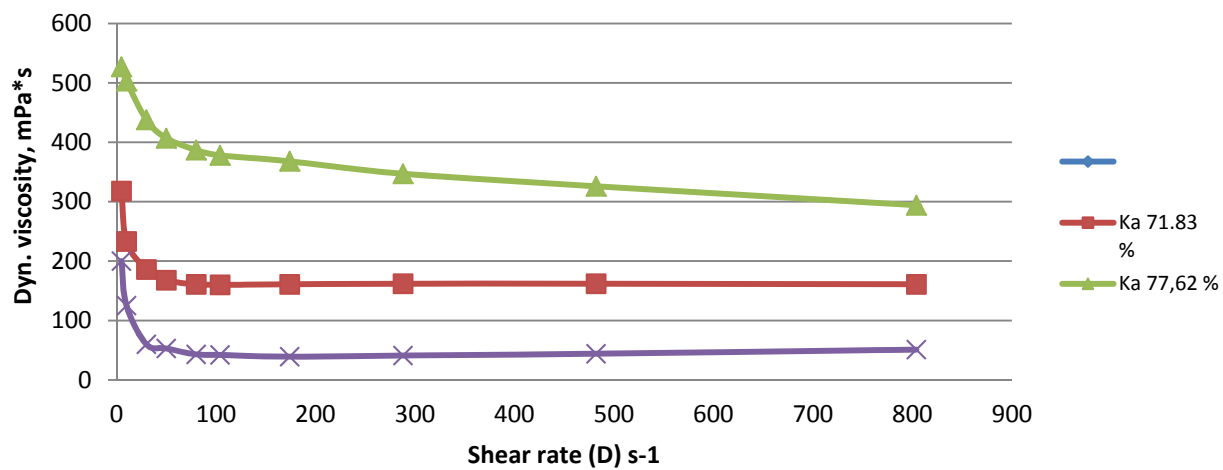
Viscosity vs. shear rate



Rauma A 22.02.2014 klo 12:55

150°C

Viscosity vs. shear rate

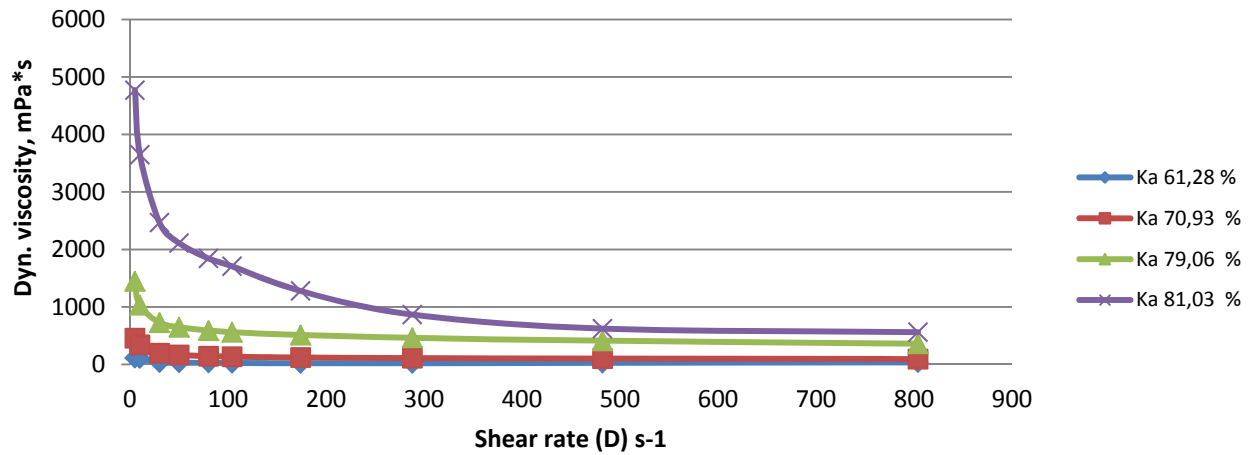


LIITE 2

Lehtipuulipeän viskositeettikäyrät

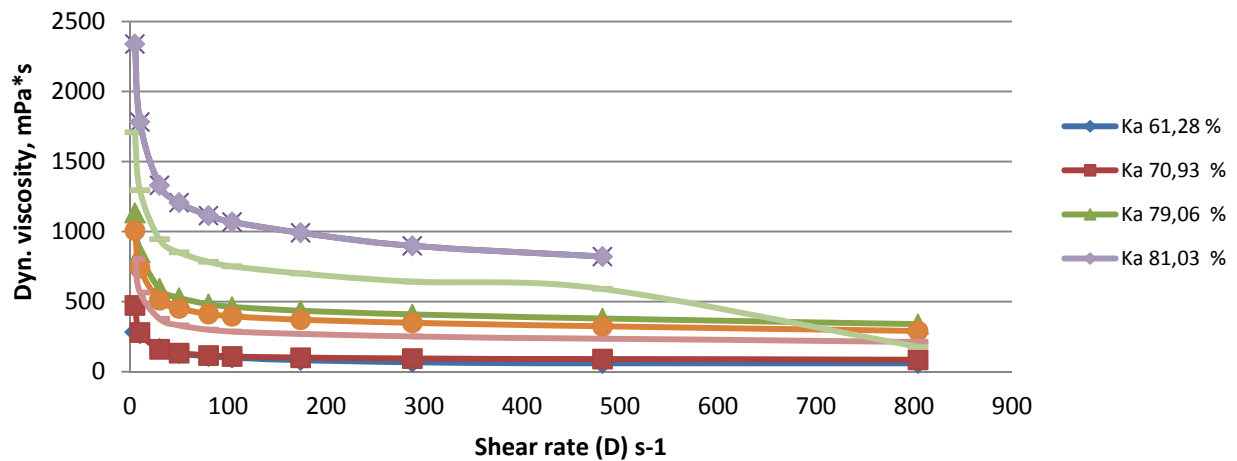
ÄKI 24.4.2014 Klo 12:00
120°C

Viscosity vs. shear rate



ÄKI 24.4.2014 klo 12:00
132°C

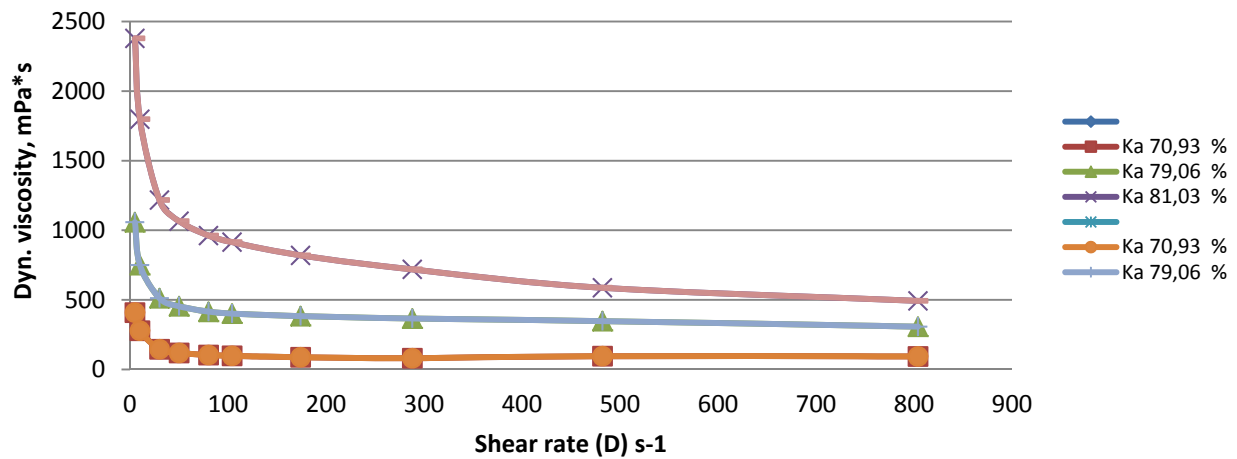
Viscosity vs. shear rate



ÄKI 24.4.2014 Klo 12:00

135°C

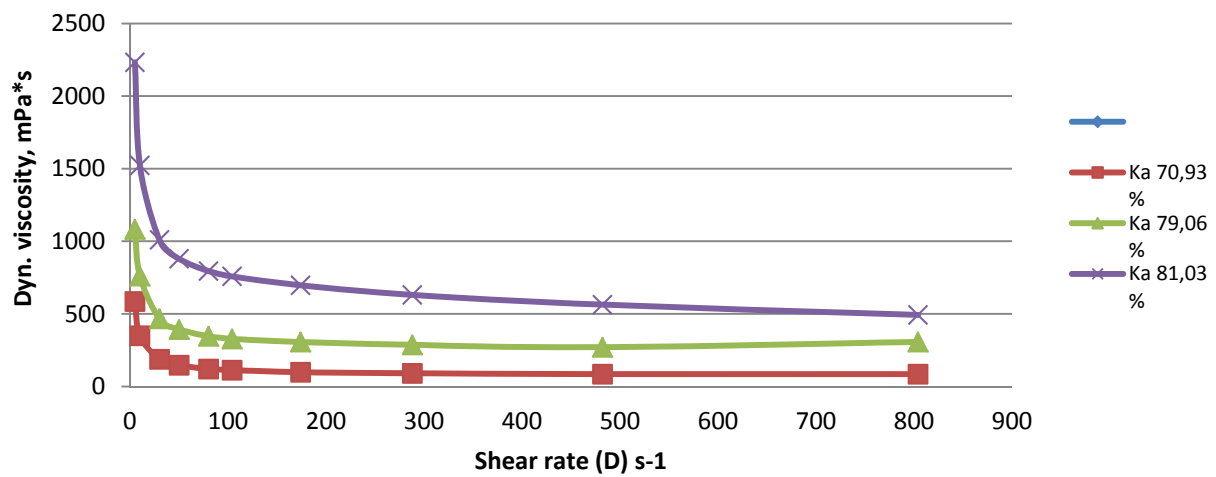
Viscosity vs. shear rate



ÄKI 24.4.2014 klo 12:00

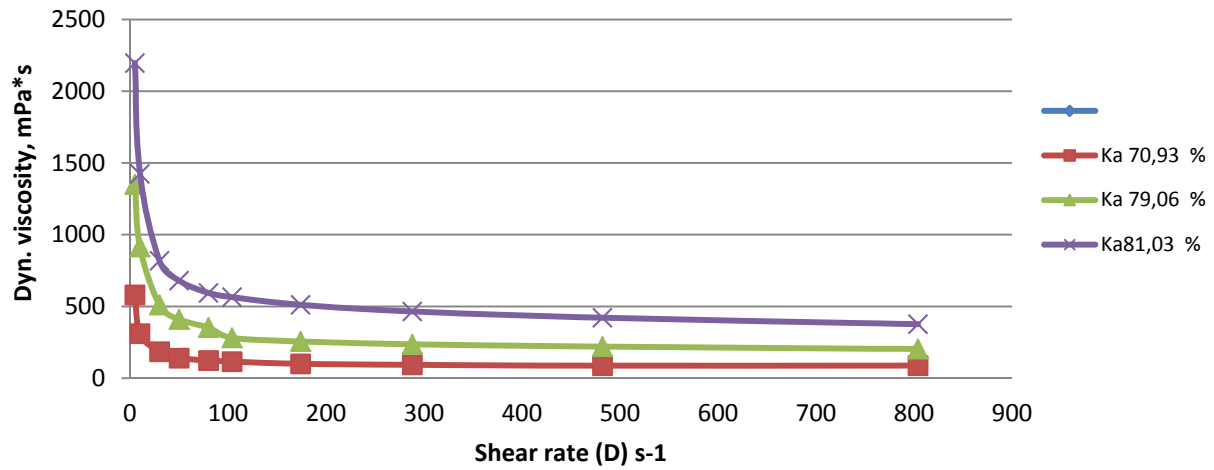
140°C

Viscosity vs. shear rate



ÄKI 24.4.2014 klo 12:00
150°C

Viscosity vs. shear rate



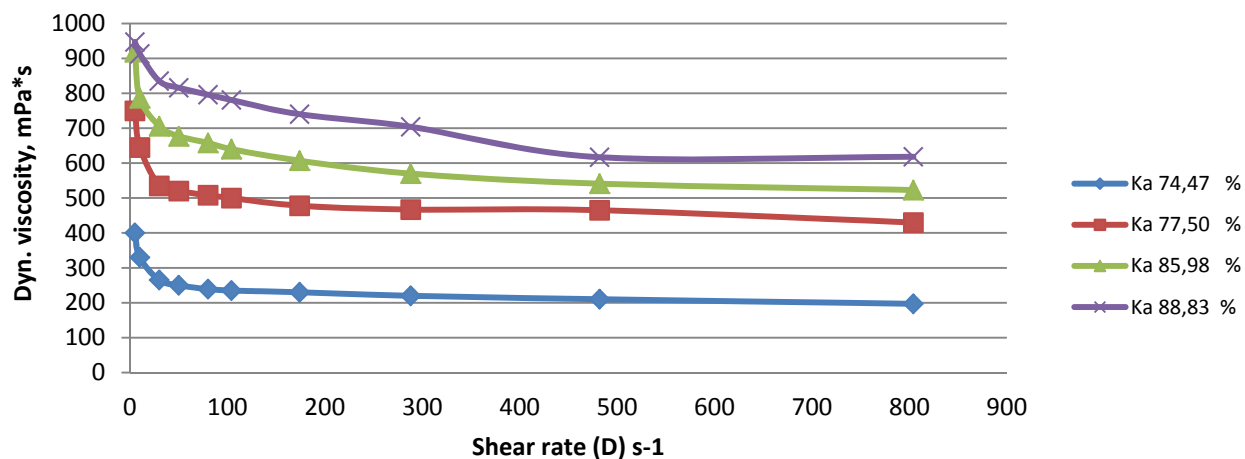
LIITE 3

Sekalipeän viskositeettikäyrät

Kymi 26.3.14 klo 10:30

120°C

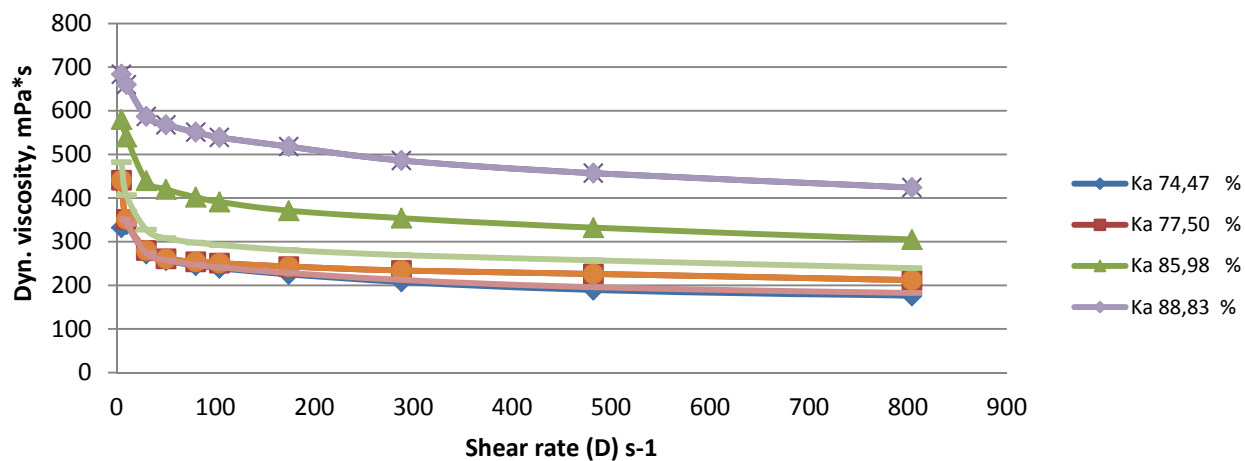
Viscosity vs. shear rate



Kymi 26.3.2014 klo 10:30

135°C

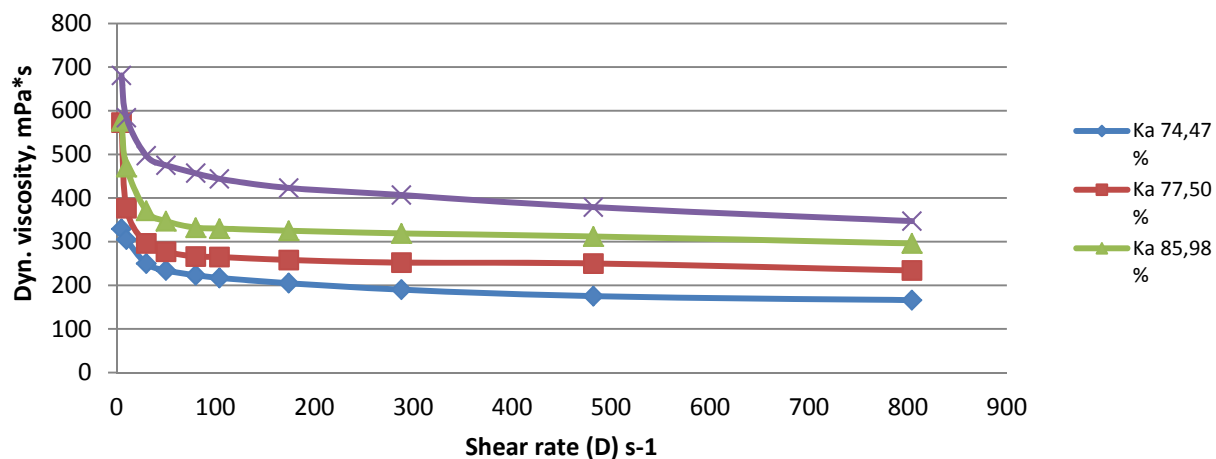
Viscosity vs. shear rate



Kymi 26.3.2014 klo 10:30

140°C

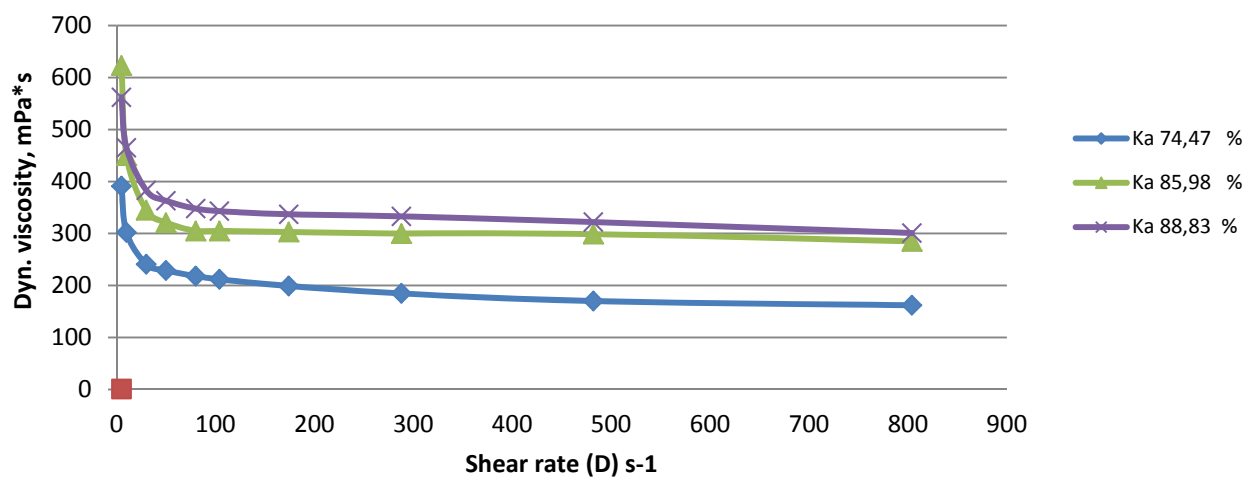
Viscosity vs. shear rate



Kymi 26.3.2014 klo 10:30

143°C

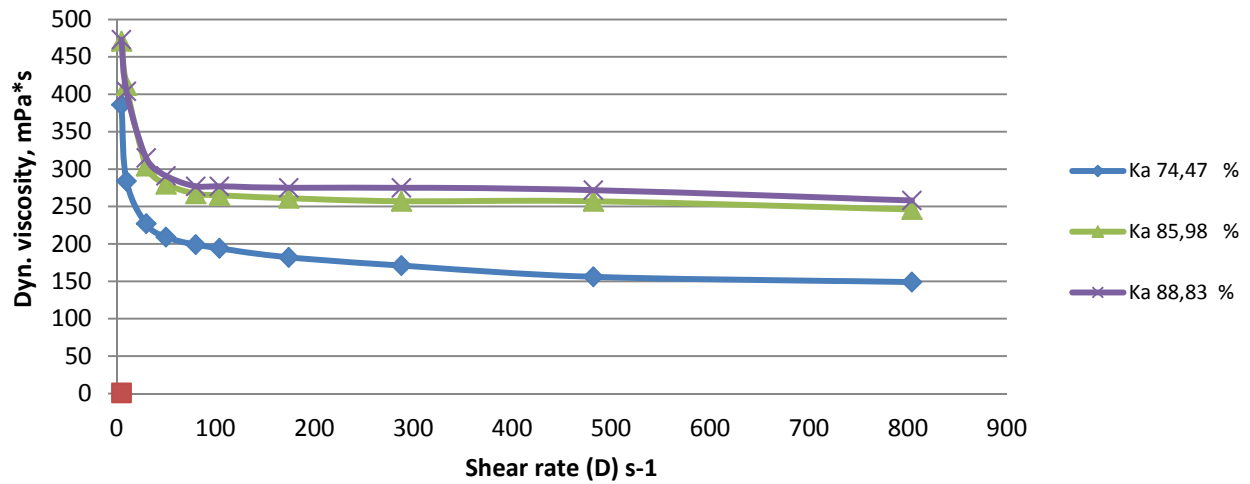
Viscosity vs. shear rate



Kymi 26.3.2014 klo 10:30

150°C

Viscosity vs. shear rate

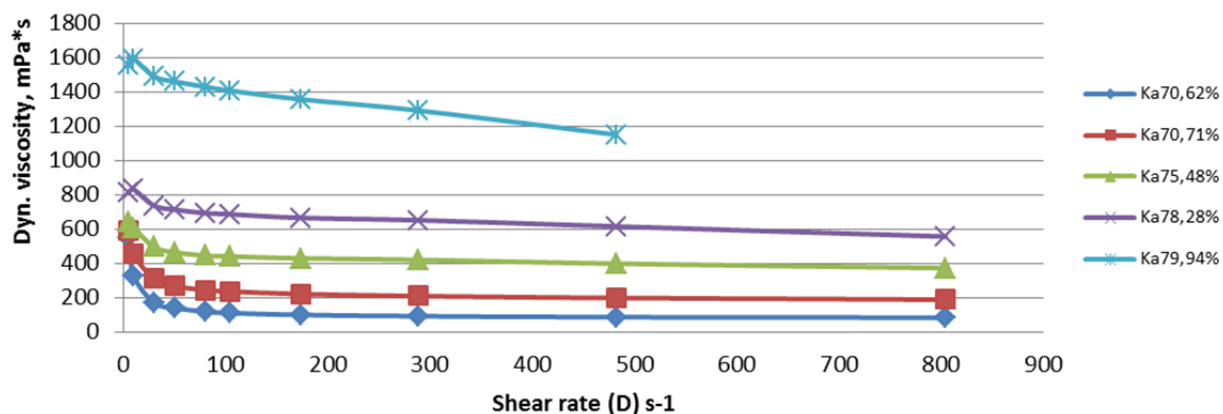


LIITE 4

Eukalyptuslipeän viskositeettikäyrät

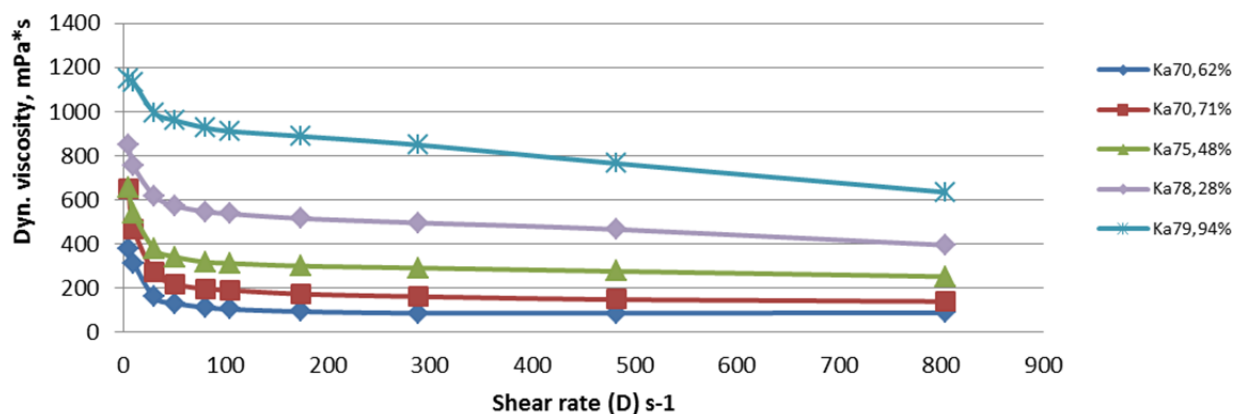
**UPM S.A. Uruquay Firing Liquor
142A6572
120°C**

Viscosity vs. shear rate



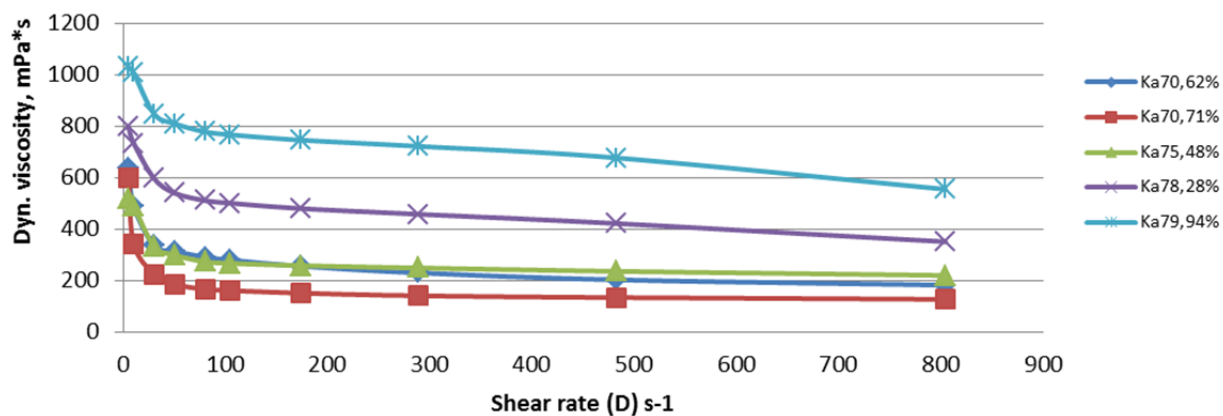
**UPM S.A. Uruquay Firing Liquor
142A6572
135°C**

Viscosity vs. shear rate



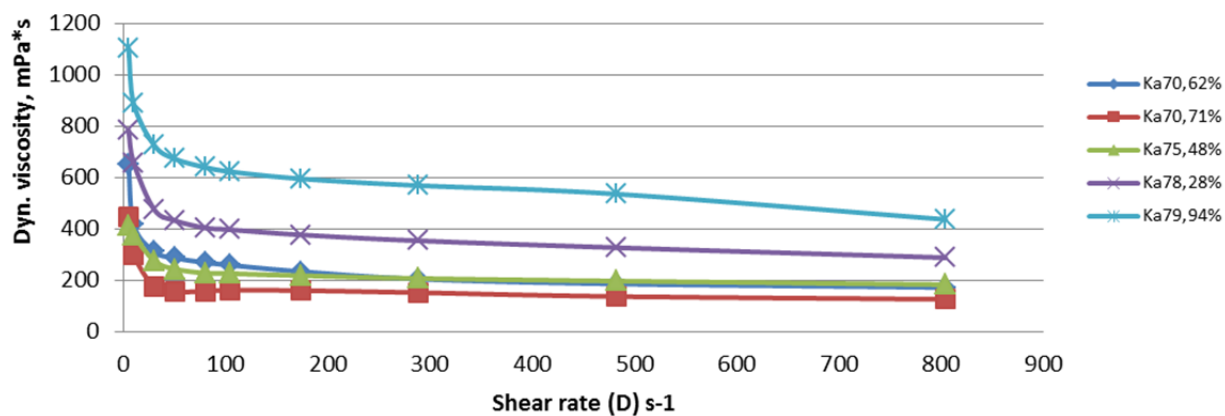
**UPM S.A. Uruquay Firing Liquor
142A6572
140°C**

Viscosity vs. shear rate



**UPM S.A. Uruquay Firing Liquor
142A6572
150°C**

Viscosity vs. shear rate



LIITE 5

Kemialliset analyysit

				<i>Havulipeä</i>	<i>Koivulipeä</i>	<i>Sekalipeä</i>	<i>Eukalyptus</i>
Kuiva-aine		%	SCAN-N 22:77	73,1	82,7	71,2	77,8
Kuiva-aineen							
tuhka		%	KCL 59:83	56,3	58,2	56,3	52,4
hiili	C	%	ASTM D 5373	31,1	28,9	30,5	33,1
vety	H	%	ASTM D 5373	4,4	3,4	3,7	3,3
typpi (Kjeldahl)	N	%	SFS 5505 modif.	0,062	0,073	0,116	0,093
natrium	Na	%	SCAN-N 37:98	21,7	22,1	21,6	21,2
kalium	K	%	SCAN-N 37:98	2,7	3,4	2,8	1,7
alumiini	Al	mg/kg	SCAN-N 38:10	32	23	22	64
barium	Ba	mg/kg	SCAN-N 38:10	4,4	8,0	5,6	15
kalsium	Ca	mg/kg	SCAN-N 38:10	360	230	120	690
kupari	Cu	mg/kg	SCAN-N 38:10	2,5	< 1	< 1	1,6
rauta	Fe	mg/kg	SCAN-N 38:10	17	12	8,7	33
magnesium	Mg	mg/kg	SCAN-N 38:10	390	160	190	300
mangaani	Mn	mg/kg	SCAN-N 38:10	63	60	66	48
fosfori	P	mg/kg	SCAN-N 38:10	89	120	130	170
pii	Si	mg/kg	SCAN-N 38:10	290	260	180	500
vanadiini	V	mg/kg	SCAN-N 38:10	15	< 5	15	20
sinkki	Zn	mg/kg	SCAN-N 38:10	15	29	24	2,7
rikki	S	%	SCAN-N 38:10	8,2	7,2	5,9	7,8
kloori	Cl	%	AOX-laite	0,2	0,2	0,2	0,4
karbonaatti	CO ₃ ⁼	%	SCAN-N 32:98	5,2	6,2	6,1	5,3
sulfaatti	SO ₄ ⁼	%	KCL 71:81	7,2	7,0	6,3	5,4
sulfidi	S ⁼	%	SCAN-N 31:94	3,6	2,7	2,3	2,6
jäännösalkali	NaOH	%	SCAN-N 33:94	4,6	4,3	3,2	2,3
polysakkaridit		%	HPAEC-PAD	1,2	1,6	4,0	2,6
oksalaatti	C ₂ O ₄ ⁼	g/kg	SCAN-N 39:05	2,5	2,6	2,4	5,9
epäorg. / org.-suhde			KCL 61:83	0,67	0,71	0,64	0,56
kalorimetrinen lämpöarvo		MJ/kg	Autom. kalorimetri	13,2	12,2	12,7	13,2
tehollinen lämpöarvo		MJ/kg		9,6	9,2	10,1	10,0
Näytteen tehollinen lämpöarvo		MJ/kg		6,4	7,1	6,5	7,2

LIITE 6

Kalibrointiöljyjen N4000 ja N75 ominaisuudet

CERTIFICATE OF CALIBRATION

ISSUED BY PARAGON SCIENTIFIC LIMITED

Date of Issue: 23-Jul-13

Certificate No. UHD1322

Paragon Scientific Ltd



0649

4589

Page 1 of 1 pages

Approved Signatory

Name

Mr. J. Morris

Signature

UKAS-accredited calibration laboratory No. 0649 accredited to ISO/IEC 17025
UKAS accredited reference material producer No. 4589 accredited to ISO Guide 34

2 Kelvin Park, Dock Road, Birkenhead, Wirral, CH41 1LT, England

Telephone: +44 (0) 151 649 9955 Fax: +44 (0) 151 649 9977

e-mail: sales@paragon-sci.com Web Site: www.paragon-sci.com

ISO 17025 / ISO Guide 34 VISCOSITY AND DENSITY REFERENCE STANDARD

Standard type: N4000

Lot No: 110401

Expiry Date: 23-Jul-15

Temperature		Viscosity				Density
(°C)	(°F)	mm ² /s (cSt)	mPa's (cP)	SUS	SFS	(g/mL)
		Kinematic	Dynamic			
20.00	68.00	17952	15852			0.8830
25.00	77.00	11395	10030			0.8802
37.78	100.00	3965	3461			0.8729
40.00	104.00	3351	2921			0.8718
50.00	122.00	1643	1423			0.8661
60.00	140.00	865.2	744.7			0.8607
80.00	176.00	291.5	247.6			0.8494
98.89	210.00	127.2	106.7			0.8389
100.00	212.00	121.8	102.1			0.8384

Paragon Scientific Ltd. certifies that the kinematic viscosity measurements have been made in accordance with ASTM D 2162 using long capillary Master Viscometers at all temperatures. See also ASTM D 445, D 446, D 2171, ISO 3104, ISO 3105, IP 71 Sections 1 and 2 and IP 222. The viscosity data reported is based on the primary standard of pure water at 20°C (ITS-90) having a value of 1.0034 mm²/s (cSt) $\pm$ 0.17%, as adopted by NIST, ASTM, IP and ISO (ISO 3666). Density measurements were made in accordance with ASTM D 1480. Temperature measurements were made using thermometers specified in ASTM D 2162 which have a current calibration traceable to the National Physical Laboratory (NPL), National Institute Standards and Technology (NIST) and other recognised national standards laboratories. SUS and SFS values have been calculated in accordance with ASTM D 2161 where stated. The calibrations of this product are traceable to NIST.

Uncertainties:

Viscosity Range	Expanded Uncertainty	
	Kinematic Viscosity	Dynamic Viscosity
	mm ² /s (cSt)	mPa's (cP)
0.3 to 7.4	$\pm$ 0.07 %	$\pm$ 0.07 %
7.4 to 10	$\pm$ 0.09 %	$\pm$ 0.09 %
10 to 30	$\pm$ 0.12 %	$\pm$ 0.12 %
30 to 72	$\pm$ 0.14 %	$\pm$ 0.14 %
72 to 180	$\pm$ 0.15 %	$\pm$ 0.15 %
180 to 520	$\pm$ 0.17 %	$\pm$ 0.17 %
520 to 1000	$\pm$ 0.19 %	$\pm$ 0.19 %
1000 to 2700	$\pm$ 0.20 %	$\pm$ 0.20 %
2700 to 8000	$\pm$ 0.22 %	$\pm$ 0.22 %
8000 to 82 500	$\pm$ 0.23 %	$\pm$ 0.23 %

Uncertainties stated on this certificate do not include the uncertainty for the value of the viscosity of water at 20°C (ITS-90) having a value of 1.0034 mm²/s (cSt) $\pm$ 0.17%.

Density Uncertainties: Expanded Uncertainty $\pm$ 0.01 %

The reported expanded uncertainty is based on a combined standard uncertainty multiplied by a coverage factor of $k=2$, providing a level of confidence of approximately 95%.

The evaluation has been carried out in accordance with UKAS requirements.

Notes: The shelf life of this product is guaranteed until the expiry date, provided the bottle is unopened and stored at ambient temperature (15 to 30°C). The guarantee is void if the bottle seal is broken but the product should remain stable for 3 months after opening if stored correctly. Filtration of product before use is not necessary. No minimum volume is required to guarantee homogeneity.

Units: Kinematic Viscosity: 1 cSt = 10⁻² St = 10⁻⁶ m²/s = 1 mm²/s
Dynamic Viscosity: 1 mPa s = 10⁻³ Pa s = 1 cP = 10⁻² P
Dynamic Viscosity = Kinematic Viscosity x Density (at the same temperature)

This certificate is issued in accordance with the laboratory accreditation requirements of the United Kingdom Accreditation Service (UKAS). It provides traceability of measurement to recognised national standards, and to units of measurement realised at the National Physical Laboratory (NPL) or other recognised national standards laboratories. This certificate may not be reproduced other than in full, except with the prior written approval of the issuing laboratory. UKAS is one of the signatories to the Multilateral Agreement of European co-operation for Accreditation (EA) for the mutual recognition of calibration certificates issued by accredited laboratories.



CERTIFICATE OF CALIBRATION

ISSUED BY PARAGON SCIENTIFIC LIMITED

Date of Issue: 25-Apr-14

Certificate No. U1713



UKAS accredited calibration laboratory No. 0649 accredited to ISO/IEC 17025
UKAS accredited reference material producer No. 4589 accredited to ISO Guide 34
6 Prenton Way, North Cheshire Trading Estate, Prenton, Wirral, UK. CH43 3DU.
Telephone: +44 (0) 151 649 9955 Fax: +44 (0) 151 649 9977
e-mail: sales@paragon-sci.com Web Site: www.paragon-sci.com



Page 1 of 1 pages
Approved Signatory

Name Mr. J. Morris

Signature

ISO 17025 / ISO Guide 34 VISCOSITY AND DENSITY REFERENCE STANDARD

Standard type: N75 Lot No: 1123110 Expiry Date: 24-Apr-16

Temperature		Viscosity				Density
(°C)	(°F)	mm ² /s (cSt)	mPa's (cP)	SUS	SFS	(g/mL)
20.00	68.00	196.9	164.0			0.8327
25.00	77.00	150.5	124.9			0.8297
37.78	100.00	81.33	66.84			0.8218
40.00	104.00	73.78	60.53			0.8204
50.00	122.00	49.03	39.93			0.8144
60.00	140.00	34.09	27.55			0.8083
80.00	176.00	18.41	14.66			0.7961
98.89	210.00	11.46	8.992			0.7846
100.00	212.00	11.18	8.764			0.7839

Paragon Scientific Ltd. certifies that the kinematic viscosity measurements have been made in accordance with ASTM D2162 using long capillary Master Viscometers at all temperatures. See also ASTM D445, D446, D2171, ISO 3104, ISO 3105, IP 71 Sections 1 and 2 and IP 222. The viscosity data reported is based on the primary standard of pure water at 20°C (ITS-90) having a value of 1.0034 mm²/s (cSt) ± 0.17%, as adopted by NIST, ASTM, IP and ISO (ISO 3666). Density measurements were made in accordance with ASTM D1480. Temperature measurements were made using thermometers specified in ASTM D2162 which have a current calibration traceable to the National Physical Laboratory (NPL), National Institute Standards and Technology (NIST) and other recognised national standards laboratories. SUS and SFS values have been calculated in accordance with ASTM D2161 where stated. The calibrations of this product are traceable to NIST.

Uncertainties:

Viscosity Range	Expanded Uncertainty	
	Kinematic Viscosity mm ² /s (cSt)	Dynamic Viscosity mPa's (cP)
0.3 to 7.4	± 0.07 %	± 0.07 %
7.4 to 10	± 0.09 %	± 0.09 %
10 to 30	± 0.12 %	± 0.12 %
30 to 72	± 0.14 %	± 0.14 %
72 to 180	± 0.15 %	± 0.15 %
180 to 520	± 0.17 %	± 0.17 %
520 to 1000	± 0.19 %	± 0.19 %
1000 to 2700	± 0.20 %	± 0.20 %
2700 to 8000	± 0.22 %	± 0.22 %
8000 to 82 500	± 0.23 %	± 0.23 %

Uncertainties stated on this certificate do not include the uncertainty for the value of the viscosity of water at 20°C (ITS-90) having a value of 1.0034 mm²/s (cSt) ± 0.17%.

Density Uncertainties: Expanded Uncertainty ± 0.01 %

The reported expanded uncertainty is based on a combined standard uncertainty multiplied by a coverage factor of $k=2$, providing a level of confidence of approximately 95%.

The evaluation has been carried out in accordance with UKAS requirements.

Notes: The shelf life of this product is guaranteed until the expiry date, provided the bottle is unopened and stored at ambient temperature (15 to 30°C). The guarantee is void if the bottle seal is broken but the product should remain stable for 3 months after opening if stored correctly. Filtration of product before use is not necessary. No minimum volume is required to guarantee homogeneity.

Units: Kinematic Viscosity: 1 cSt = 10⁻² St = 10⁻⁶ m²/s = 1 mm²/s
Dynamic Viscosity: 1 mPa's = 10⁻³ Pa's = 1 cP = 10⁻² P
Dynamic Viscosity = Kinematic Viscosity x Density (at the same temperature)

This certificate is issued in accordance with the laboratory accreditation requirements of the United Kingdom Accreditation Service (UKAS). It provides traceability of measurement to recognised national standards, and to units of measurement realised at the National Physical Laboratory (NPL) or other recognised national standards laboratories. This certificate may not be reproduced other than in full, except with the prior written approval of the issuing laboratory. UKAS is one of the signatories to the Multilateral Agreement of European co-operation for Accreditation (EA) for the mutual recognition of calibration certificates issued by accredited laboratories.



LIITE 4

**LTR: ÅA, CFD Modeling of Reduced Lignin Black Liquor Combustion,
Phase 2 – yhteenveto 14.12.2015**

Reduced Lignin CFD phase 2 – Executive Summary

Prepared by: Markus Engblom and Nikolai Demartini

CFD modelling was carried out with the objective to investigate what operational changes may be needed when burning reduced lignin black liquor in a Kraft recovery boiler.

The main activities of this work consisted of

- experimental determination of the split of black liquor organic carbon between volatile and char carbon for the original liquor as well as for three levels of lignin removal from the liquor;
- CFD modelling of Wisaforest recovery boiler at 100% MCR (solids basis) as reference case;
- altogether 8 additional cases to study the effects of lignin removal (10% and 20% lignin removed) as function of liquor spraying (liquor temperature), air distribution (prim/sec/tert), and boiler load.

The main findings of the study are:

- With lignin removal, there is less char carbon in the liquor;
- Split of organic carbon between volatile and char carbon does not change with lignin removal as previously thought; the organic carbon is split 50/50 between volatiles and char (see **Figure 1**);
- Less char carbon is delivered to the lower furnace if spray droplet size stays the same as in the reference case;
- Changes in operation are needed to compensate for the changed furnace char carbon amount and distribution;
- For up to 20% lignin removal (see **Figure 2**)
 - o If air distribution is unchanged (p22%/s43%/t35%) a decrease in liquor firing temperature by approximately 1 °C is needed;
 - o To compensate for the decrease in liquor heating value due to lignin removal, one potential strategy is to increase lower furnace temperature by delivering more air and liquor to the lower furnace. In case air delivery to lower furnace is increased to (p28%/s40%/t32%) a decrease in liquor temperature by approximately 3.6 °C is needed;
 - o These changes are not minor but can be considered to be applicable with existing equipment.

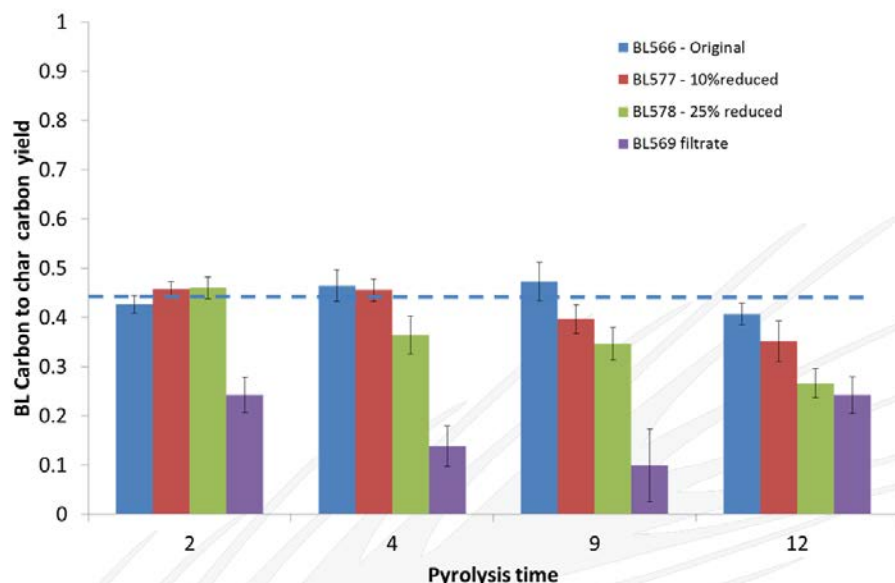


Figure 1. Share of black liquor carbon found in char after different pyrolysis times for different levels of lignin removal (note: filtrate corresponds to about 65% lignin removed). For the original liquor as well as for 10% and 25% lignin removed it was concluded that about 10% of the liquor carbon forms carbonate, and the remaining 90% is split equally between volatiles and char.

Liquor feed and combustion air (Runs 1, 6&7, 10&11, 14&15)

	Original Black Liquor	10% lower lignin Run 6	20% lower lignin Run 7	10% lower lignin Run 10	20% lower lignin Run 11	10% lower lignin Run 14	20% lower lignin Run 15
Liquor feed (tds/d)	5320	5160	5000	5160	5000	5160	5000
Of MCR (%)	100	97	94	97	94	97	94
Air (kg/s)	272	256	232	256	232	256	232
Air (Nm ³ /s)	211	199	180	199	180	199	180
Primary	22%	22%	22%	25% *	28% *	22%	22%
Secondary	43%	43%	43%	40%	40%	43%	43%
Tertiary	35%	35%	35%	35%	32%	35%	35%
Target flue gas O ₂ (% wet)	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	Phase 1	Phase 1	Phase 1	Phase 2	Phase 2	Phase 2	Phase 2
Vol-C/char-C	50/50	62/38	70/30	50/50	50/50	50/50	50/50
Dp average (mm)	5.7	12.5	23.0	6.5	11	6.3	7.2
ΔT spray (°C)	0	-4.7	-11.9	-0.6	-3.6	-0.4	-1.0

Air distribution changed after which average droplet size "optimized" for carbon balanced situation.
Air change based on discussion with industry: "with a lower HV/quality liquor, more of the combustion (air+liquor) to lower furnace".
*) these percentages give ~same mass flow (kg/s) primary

Figure 2. CFD simulation results showing required changes in liquor firing temperature with and without simultaneous change in air distribution (runs 10-11 and runs 14-15); shown also model sensitivity to carbon split "Vol-C/char-C" (runs 6-7).

LIITE 5

**LTR: ÅA, Understanding Low Temperature Corrosion in BL
Combustion, Phase 2
– yhteenveto 14.12.2015**

Executive Summary - Understanding Low Temperature Corrosion in BL Combustion – Phase 2

Nikolai DeMartini; Henri Holmblad; Emil Vainio; Patrik Yrjas & Leena Hupa

14 December 2015

In our earlier studies for SKY we have established that there is no H_2SO_4 in Kraft Recovery boilers firing black liquor. Instead SO_3 and H_2SO_4 react with fume to form Na_2SO_4 and/or NaHSO_4 . Dew point and corrosion probe measurements after the ESP in a Kraft recovery boiler (Rauma) and a sulfite recovery boiler (Heinola) indicated that the dew point is determined by hygroscopic salts and it is this that sets the lowest temperature steel surfaces can be held at to avoid low temperature corrosion. In phase one of this study, a method was established for testing steel coupons under salts in a flowing gas atmosphere containing steam, Figure 1. One important aspect to note about these tests is that they are isothermal (steel and gases are at the same temperature).

In this phase a larger matrix was tested by a diploma student (Henri Holmblad). The minimum temperature tested at which no corrosion was visually detected for a given salt and vol-% H_2O tested is given in Table 1. The full matrix tested is given in Table 2. The main findings of this work are:

- o The minimum temperature for no corrosion to be detected for the precipitator ashes from a Kraft recovery boiler was between 100 and 110 °C up to 60 vol-% H_2O and between 110 and 120 °C at 80% H_2O .
- o The salts only need to absorb a little bit of water. This phenomena appears to be less sensitive to the vol-% of H_2O than the temperature of deliquescence which is the point where the salt absorbs enough water to fully dissolve.
- o Absorption of water by NaHSO_4 was seen still at 150 C, which was the highest temperature tested.
- o Salt mixtures do not necessarily behave in predictable ways given the behavior of the individual salts. Precipitator ashes from older mills with SO_2 emissions are needed as the ash from these mills likely contains some NaHSO_4 which may necessitate higher temperatures due to the extremely hygroscopic nature of NaHSO_4 .

Additional work is needed and a phase 3 study is being proposed.

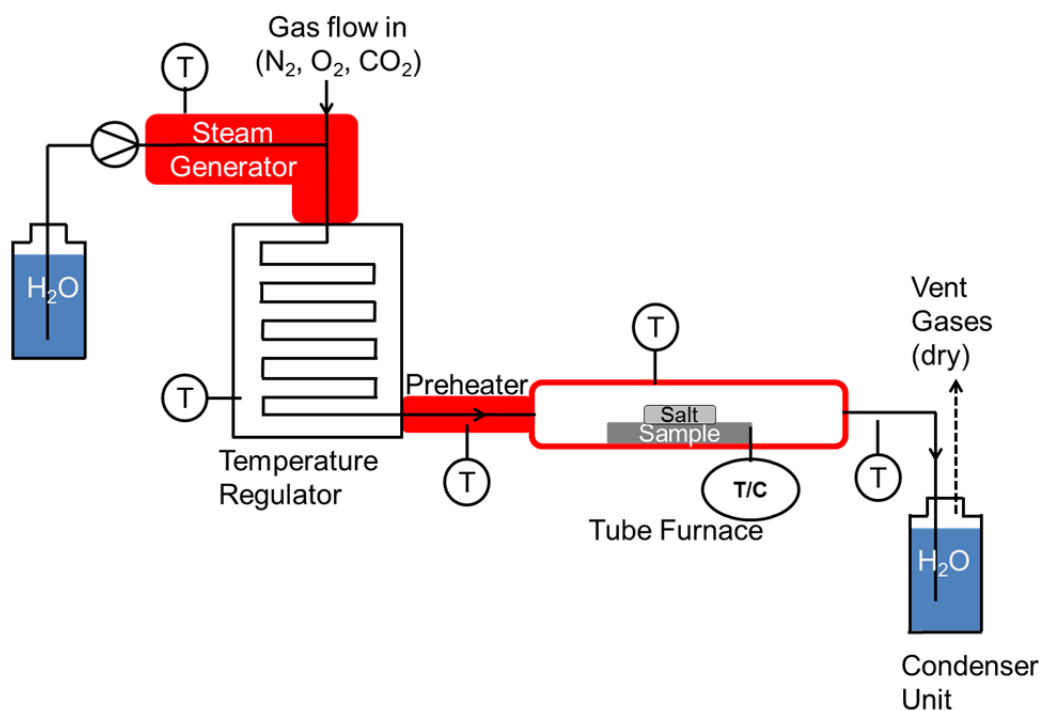


Figure 1. Diagram of the experimental set-up used in this work.

Table 1. Temperatures at which no corrosion was visually present on carbon steel coupons after 4 or 24h under the salt at the given temperature and vol-% H_2O

	27% H_2O	60% H_2O	80% H_2O
Na_2SO_4	90 °C	110 °C	
Na_2CO_3			^a -
NaCl			120 °C
KCl			120 °C
$NaHSO_4$		>150 °C	
PA1	110 °C	110 °C	^b 120 °C (?)
PA2	100 °C	110 °C	

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 6

**YTR: Sirra, Viherlipeäsakan syrjäytyspesu
– alustavat tulokset 14.12.2015**

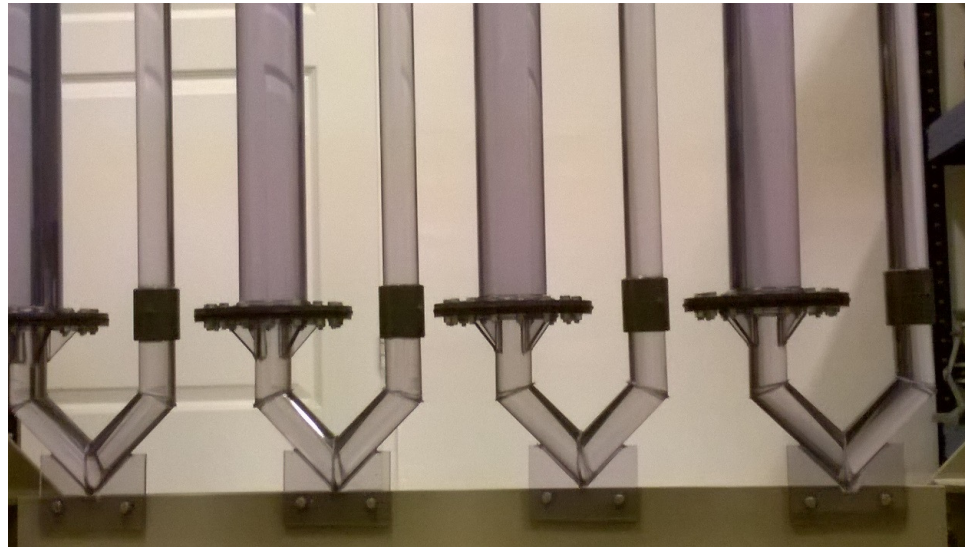


Viherlipeäsakan syrjäytyspesu

Kurt Sirén
Oy Sirra Ab

Ympäristötyöryhmä 14.12.2015

Tavoite: selvittää, voidaanko syrjäytyspesulla vähentää kaatopaikalle vietävän viherlipeäsakkajätteen määrää.



Tausta

Lainsäädäntö: pyritään vähentämään jätettä, lisäämään kierrätystä ja edistämään hyötykäyttöä

Suomessa viherlipeäsakkaa 80 000 t/vuosi, 85 % menee kaatopaikoille

Osuus sellutehtaan kiintojätteestä noin 44 %

Toistaiseksi vältetty 55 €/t jätevero (poikkeus)

Käsittelyvaihtoehtona tutkittu erityisesti flotaatoita

Loogista: metsästä tuodut hivenaineet pitäisi palauttaa metsään!
Pitkällä tähtäimellä sakan täydellinen käsittely hyötyaineiksi ja
harmittomiksi komponenteiksi

Syrjäytyspesu

Pesu tapahtuu ilman pre-coat meesaa.

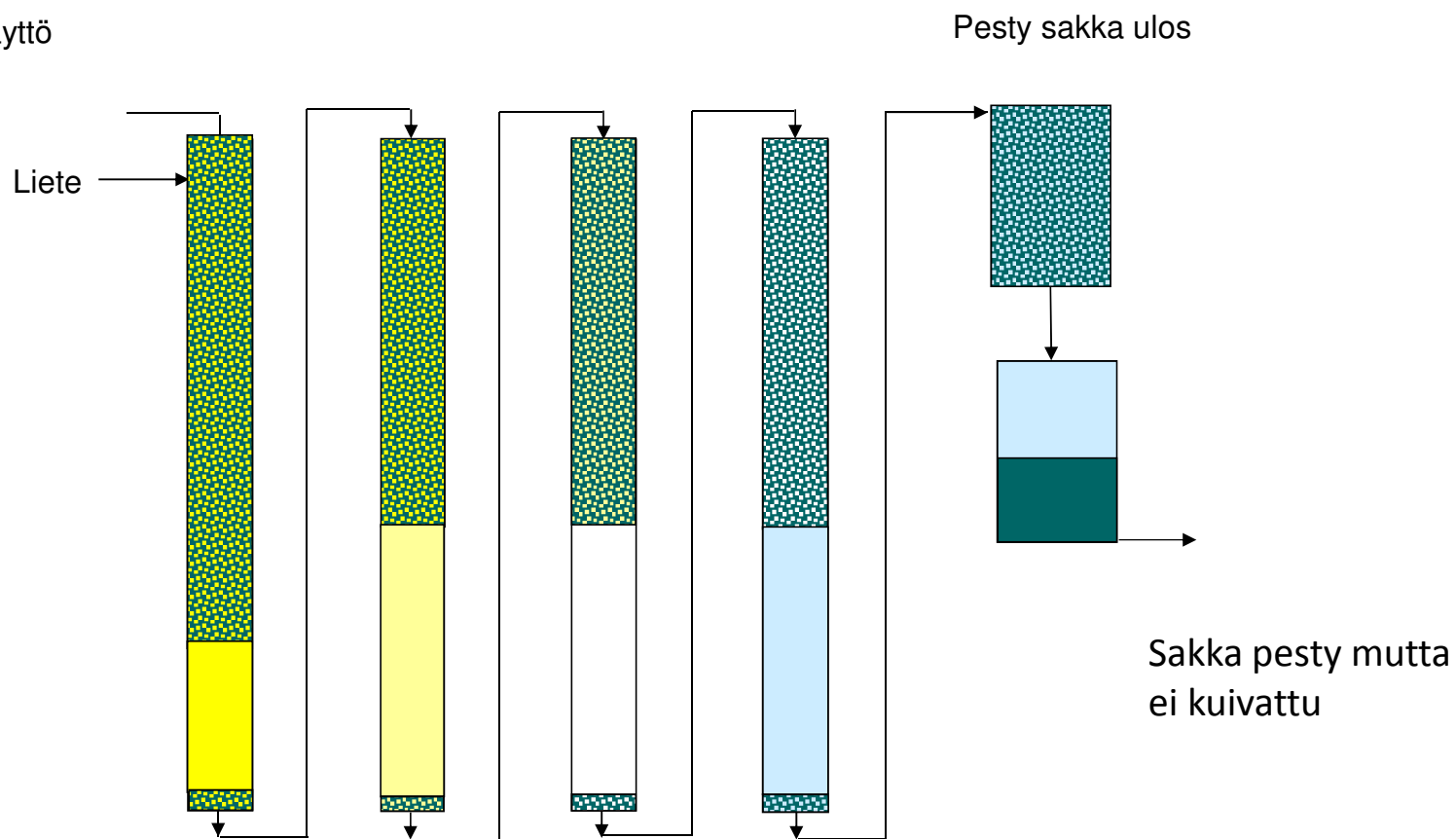
- sakan määrä vähenee lähes puoleen

Tavoiteltuja muita etuja:

- parempi lähtökohta jatkokäsittelylle kuin rumpusuotimella
- mahdollisesti parempi pirssoniitin liukeneminen $(\text{Na}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$
→ Na_2CO_3 (aq) ja CaCO_3 (s)
- laitteistossa ei ole liikkuvia osia venttiilejä ja pumppuja lukuun ottamatta

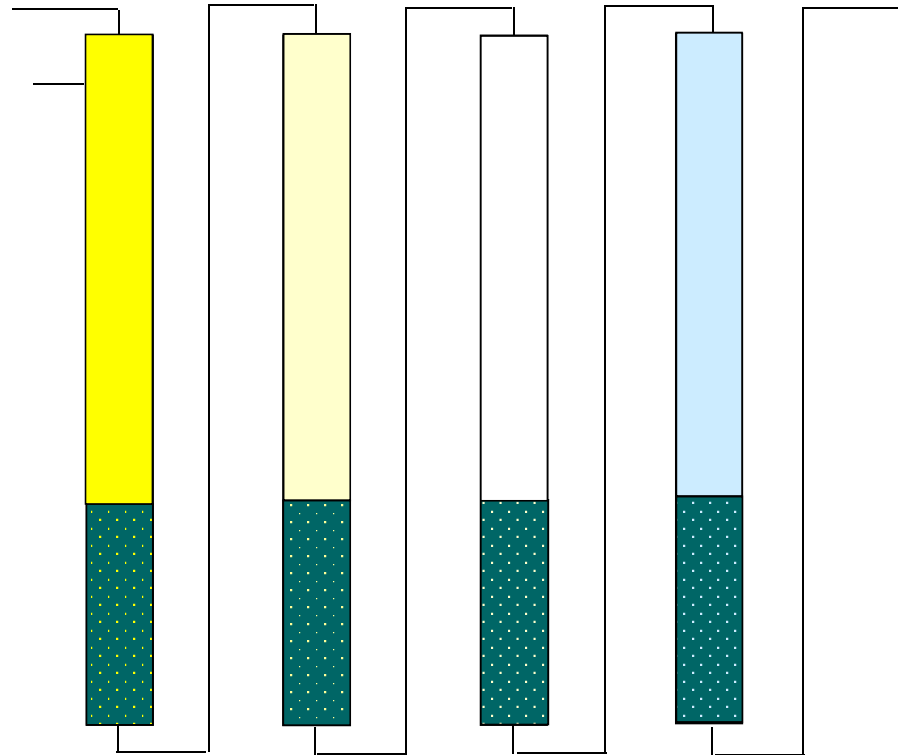
Toimintaperiaate

1. Lietetäyttö



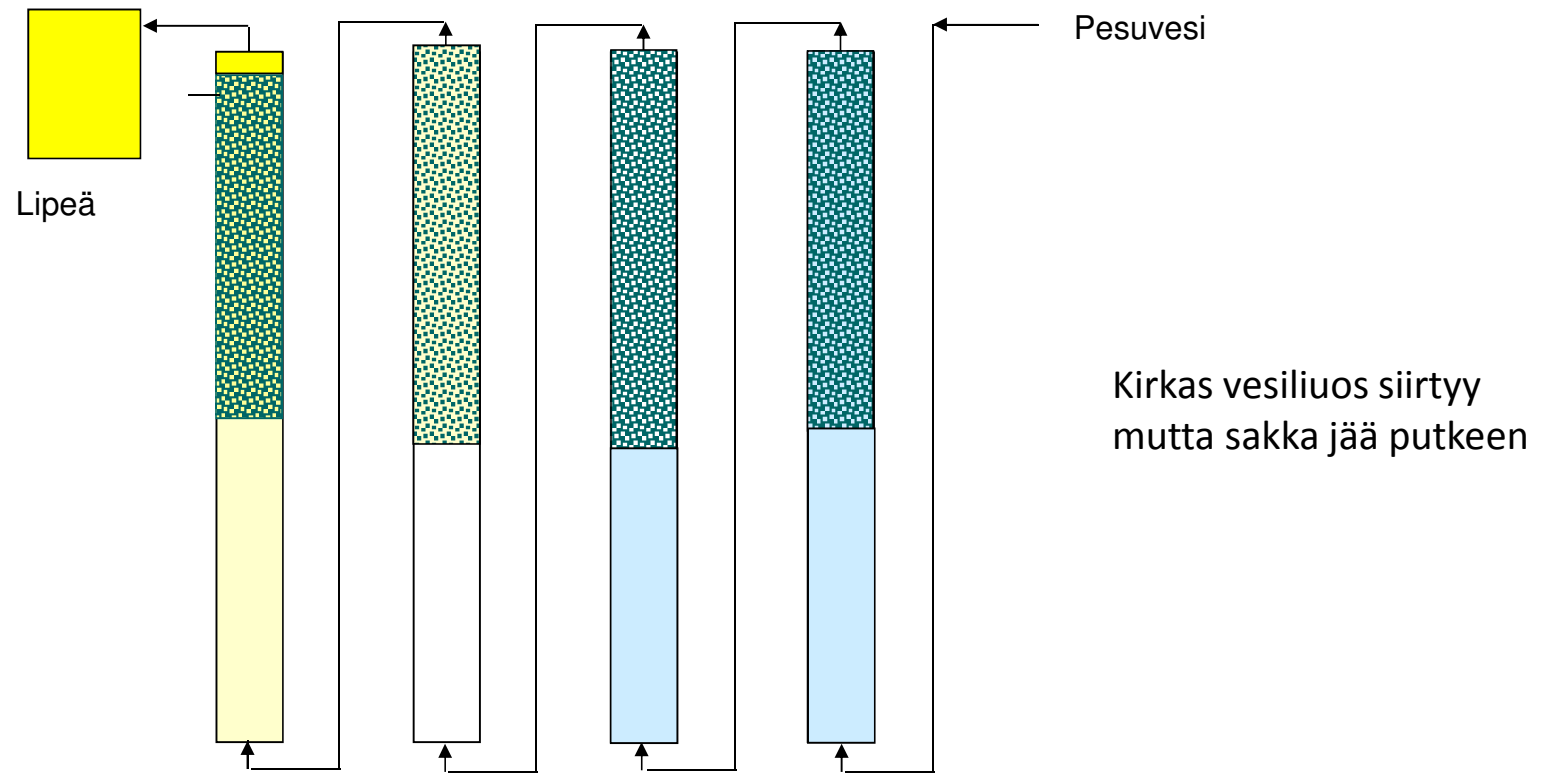
Toimintaperiaate

2. Sakeutus



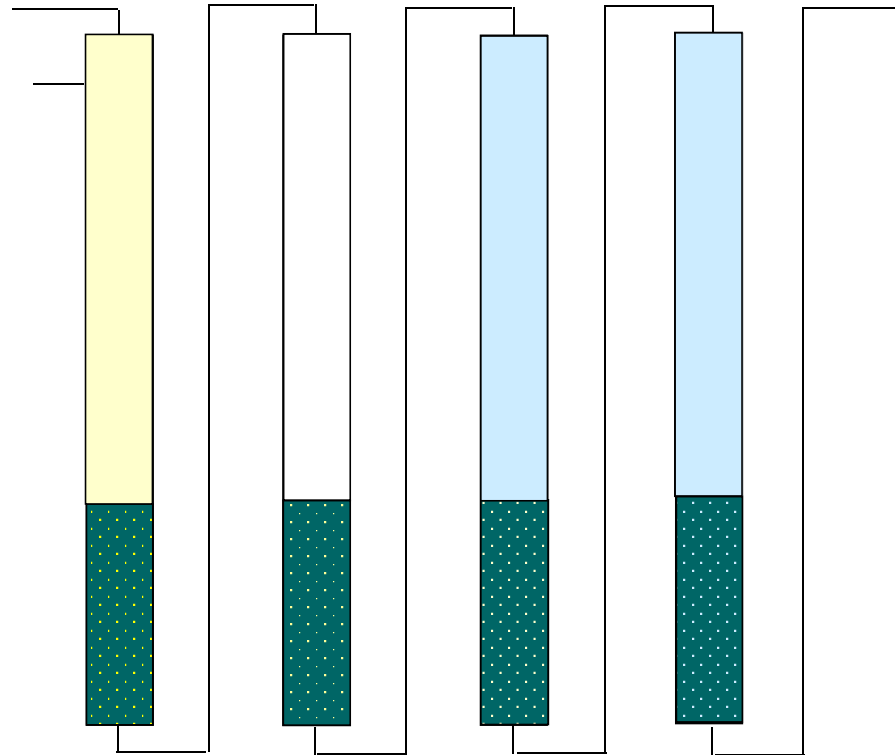
Toimintaperiaate

3. Syrjäytys



Toimintaperiaate

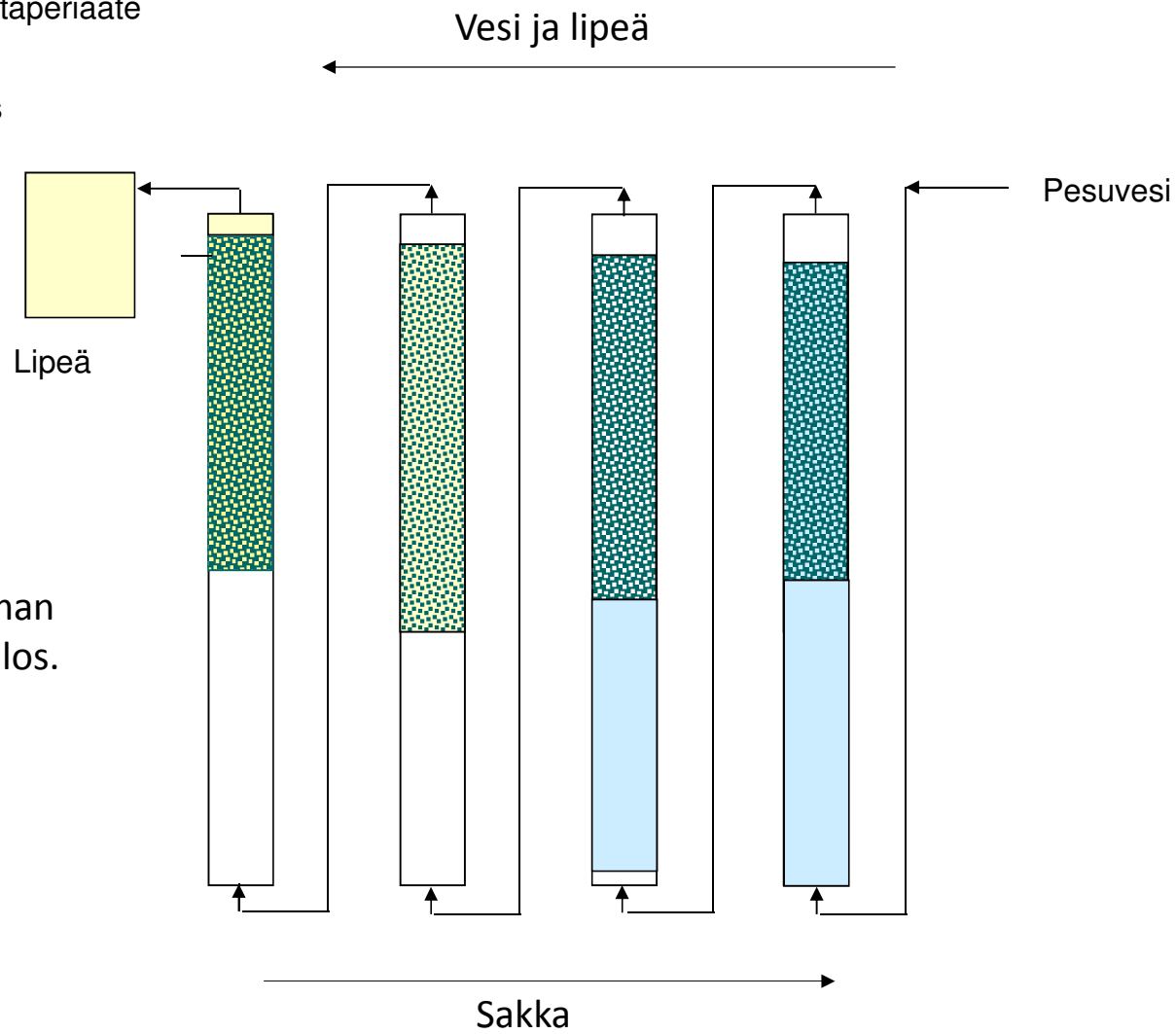
4. Uusi sakeutus



Toimintaperiaate

5. Uusi syrjäytys

Pesuveden syöttö
toistetaan → hieman
laimeampi lipeä ulos.



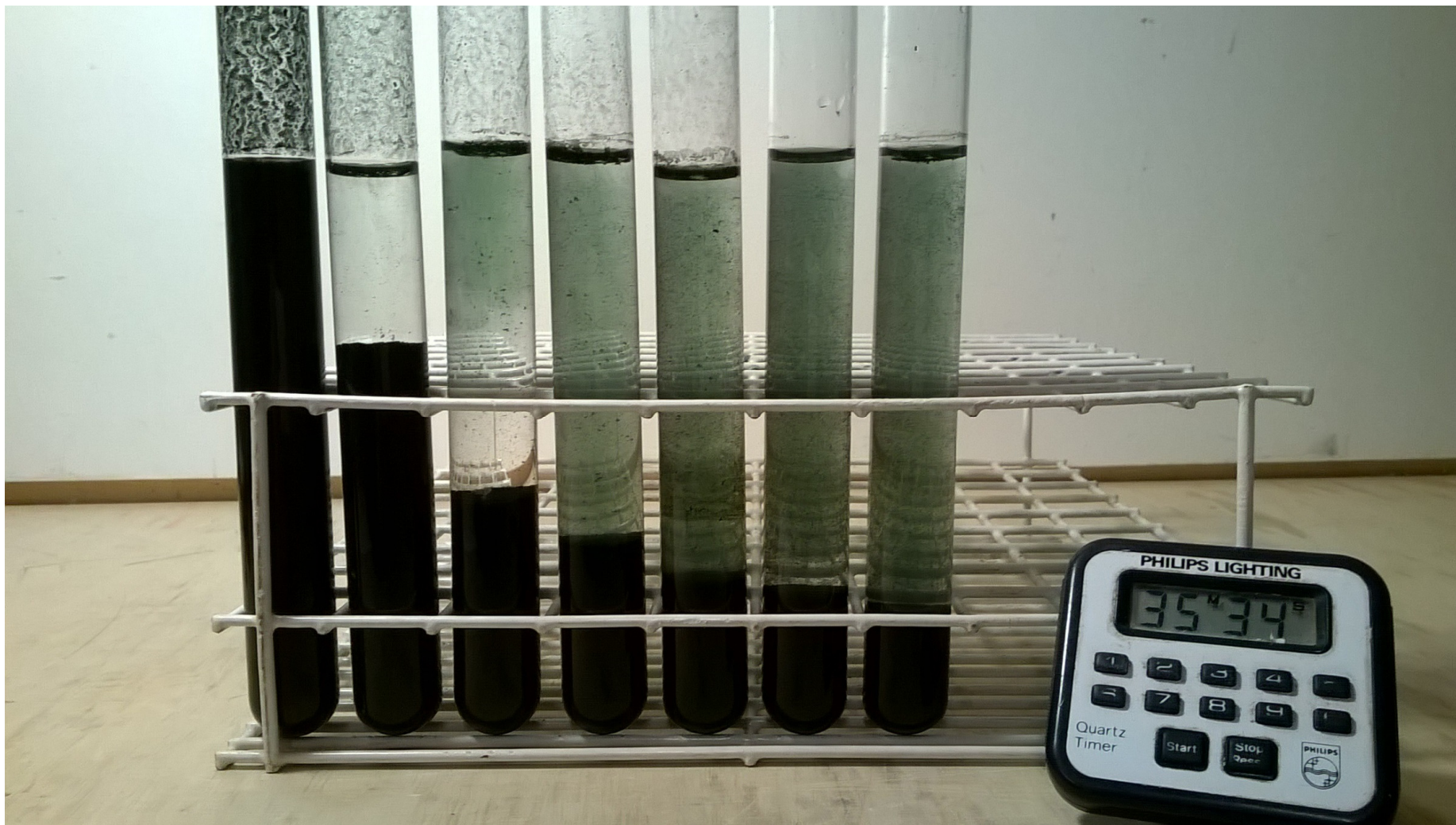
Selkeytyksen olosuhteet

Mittalasi- ja koeputkiteksteillä todettiin että liete sellaisenaan laskeutuu hyvin hitaasti → laimennus välttämätön

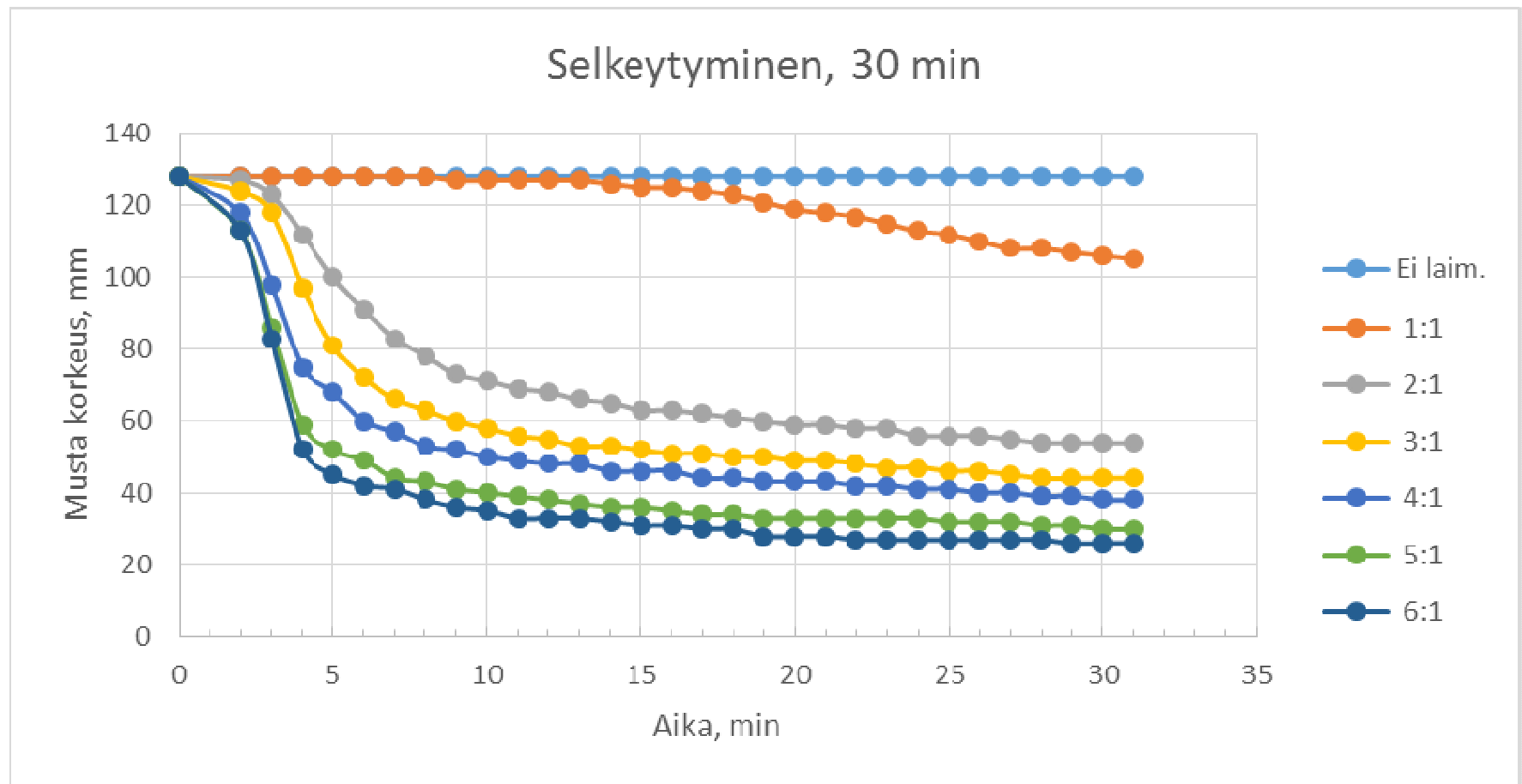
Tehtaalta saadun selkeyttimen alitteen kuiva-aine n. 22-23 %

Merkittävin tekijä ei tiheys vaan sakeus!

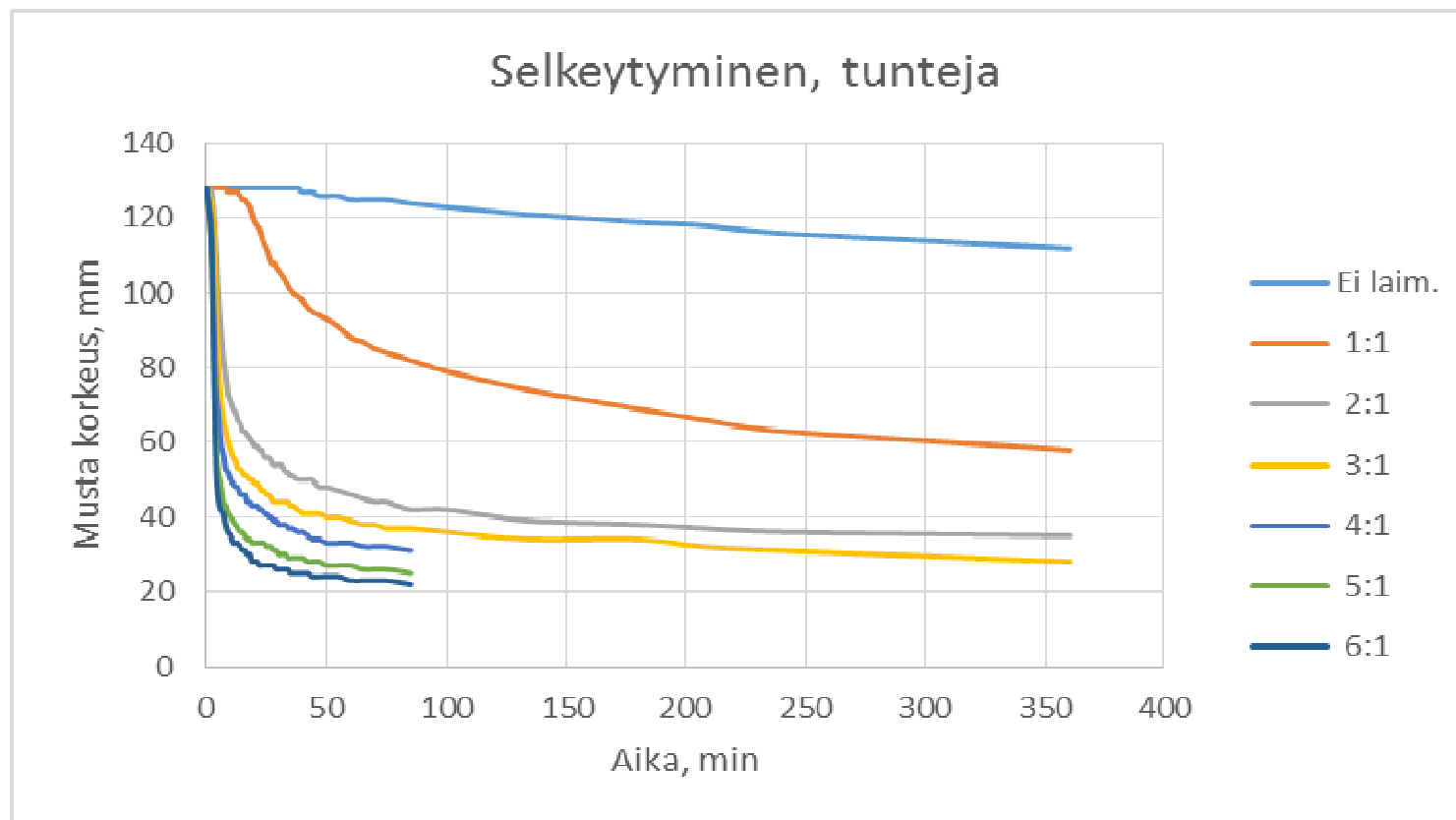
Veden käytön minimoimiseksi lienee mahdollista kierrättää lipeä



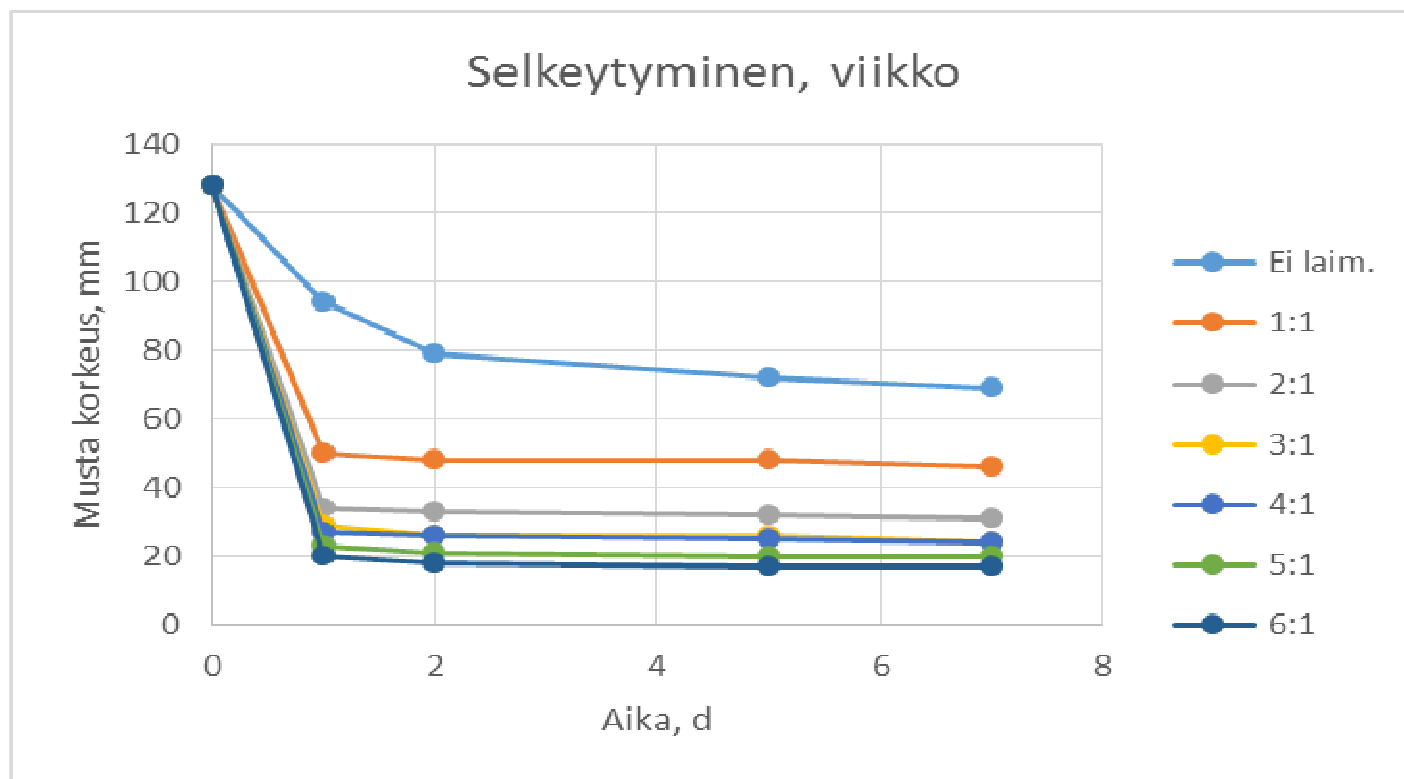
Selkeytyskoe koepatkissa, eri laimennoksia



Erittäin nopea selkeytyminen laimennoksissa. Laimennuksen oltava vähintään 4:1.
Vedenkäyttö minimoitava?



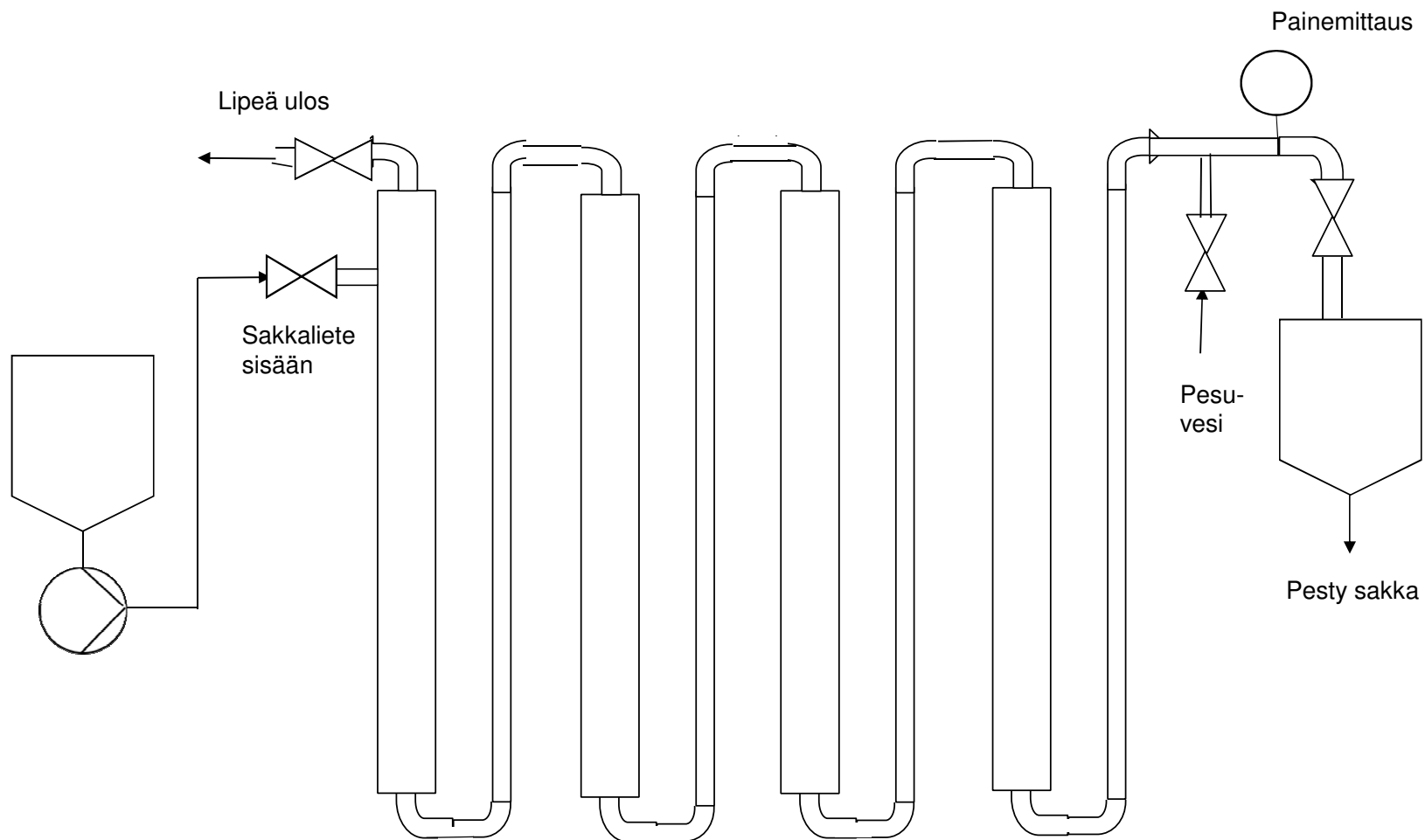
Pidempi aika: alkuperäinen liete selkeytynyt hyvin vähän!



Laimentamaton liete on muutostilassa vielä viikon jälkeen!

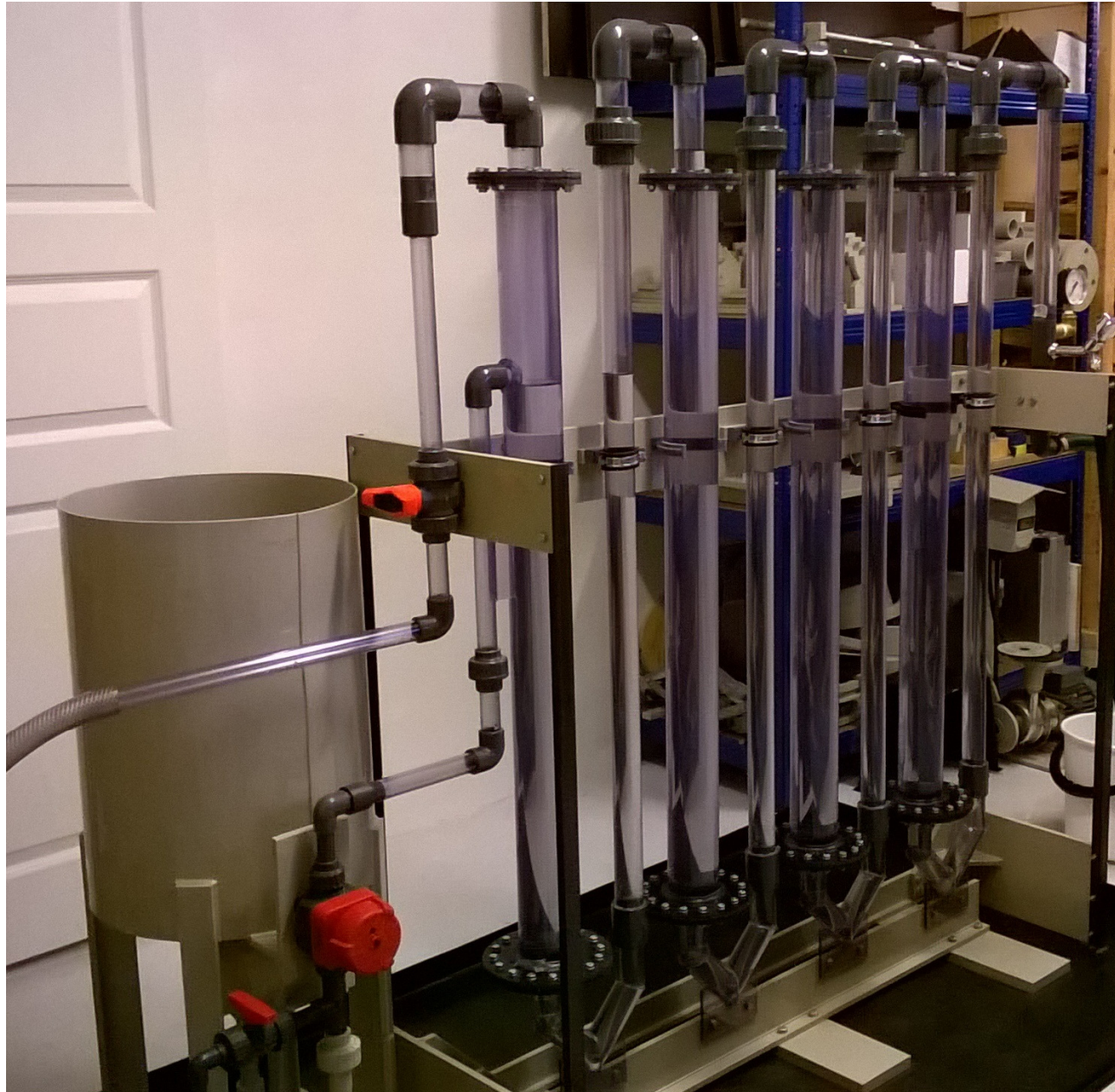
Laitteisto

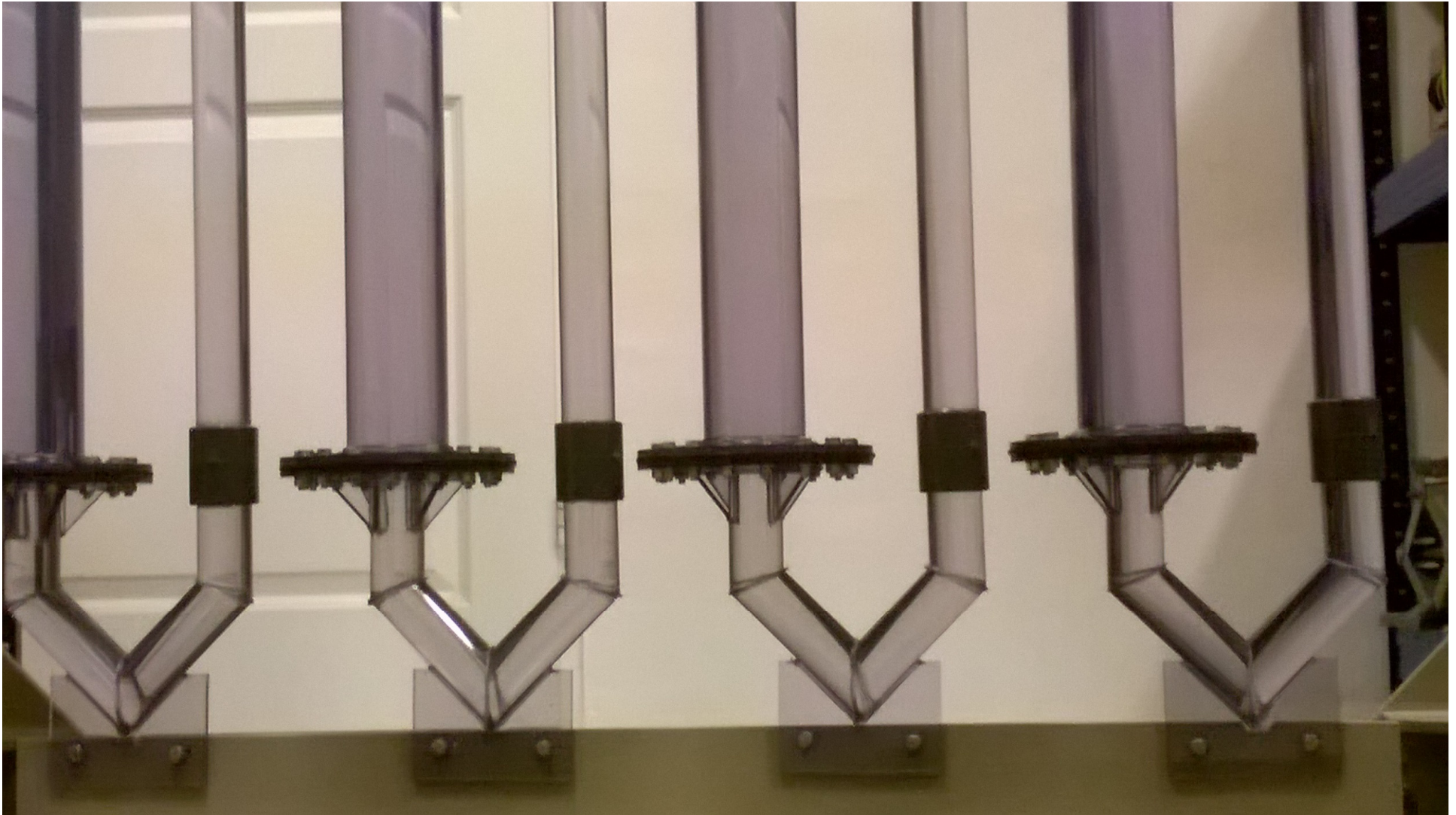
Nelivaiheinen pesu



Laitteisto







Lietetäytön jälkeen



Selkeytyminen





Syrjäytys

Rajapinta kohoaa
ja lipeä syrjäytyy



Tulokset putkilaitteessa

Ajettiin laimennoksilla 4:1 ja 3:1

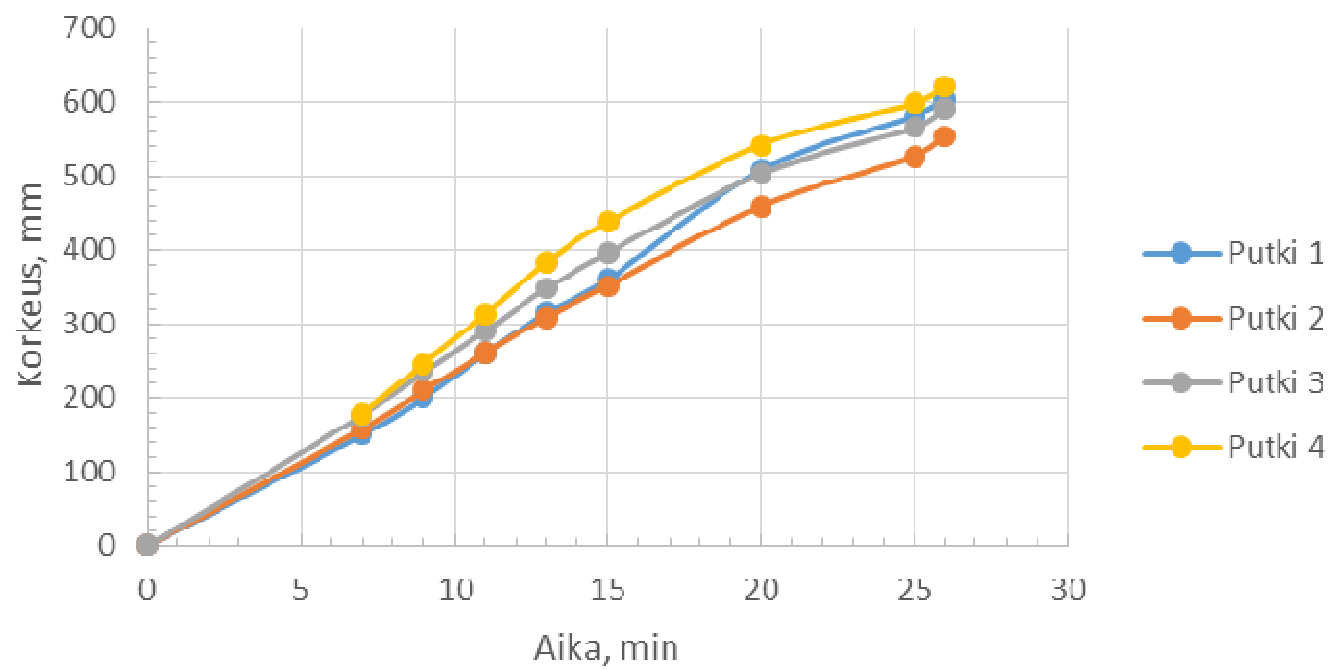
- priorisoitava vedenkäytön minimointia?

Toistettiin kunnes tila vakiintui

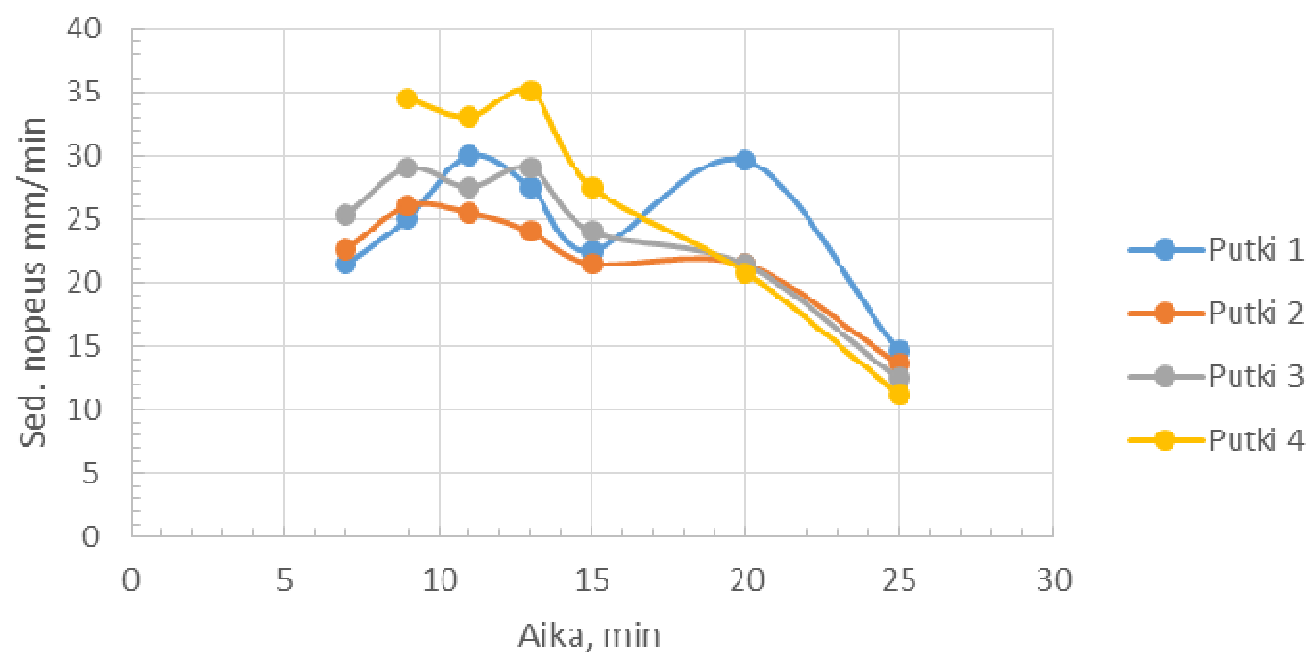
Otettiin näytteitä lipeästä ja pestystä sakasta

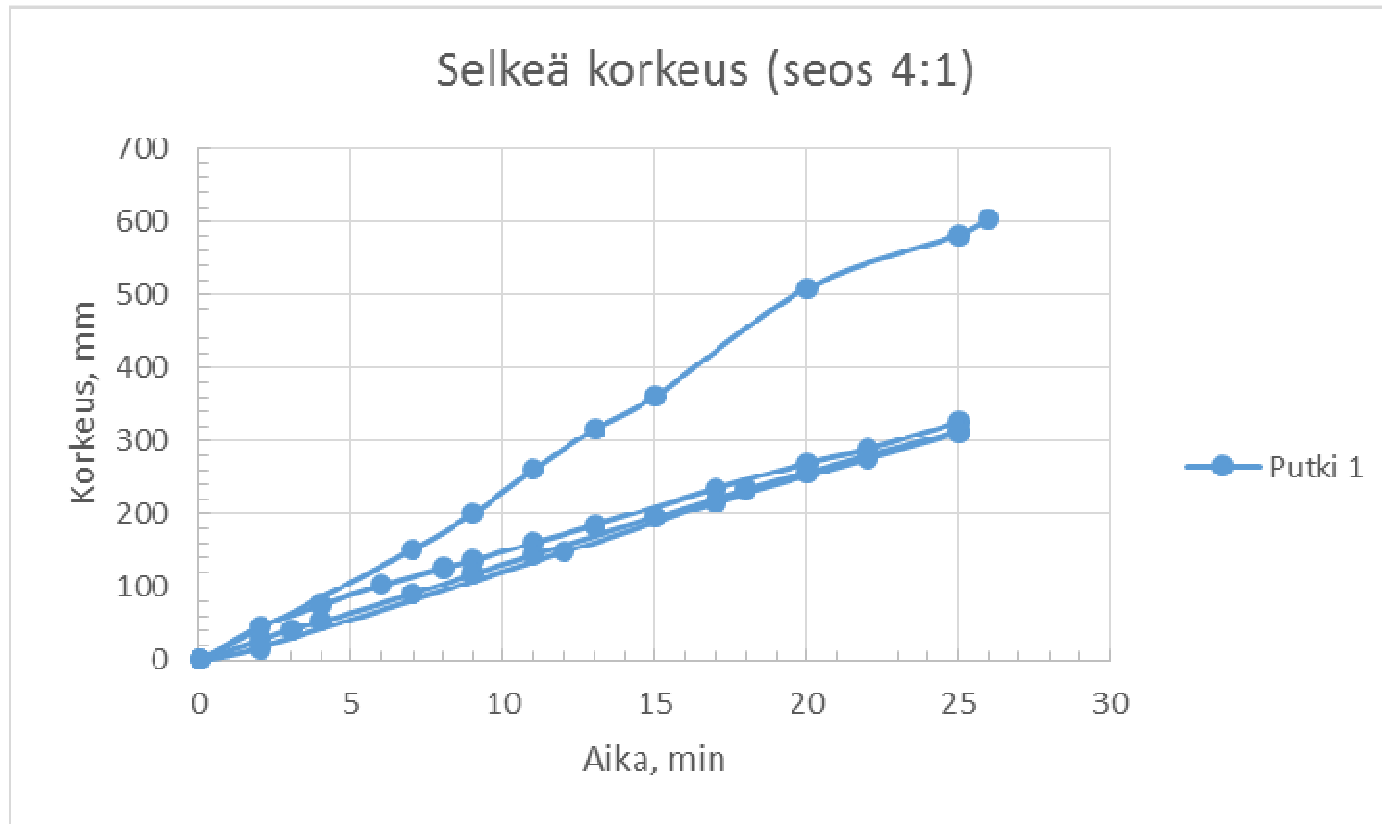
Labtiumissa tehtävät analyysit Na, Ca, ka.
(työn alla)

Selkeä korkeus (seos 4:1)



Selkeytymisnopeus (seos 4:1)





Ensimmäinen selkeytys lietteen syötön jälkeen nopeampi kuin muut. Syy?
Sama toistuu kaikissa putkissa.

Pylvään korkeuden vaikutus

2 m korkea ”mittalasi”

Laimennus 4:1

Täytettiin korkeuksiin

2,0 m

1,5 m

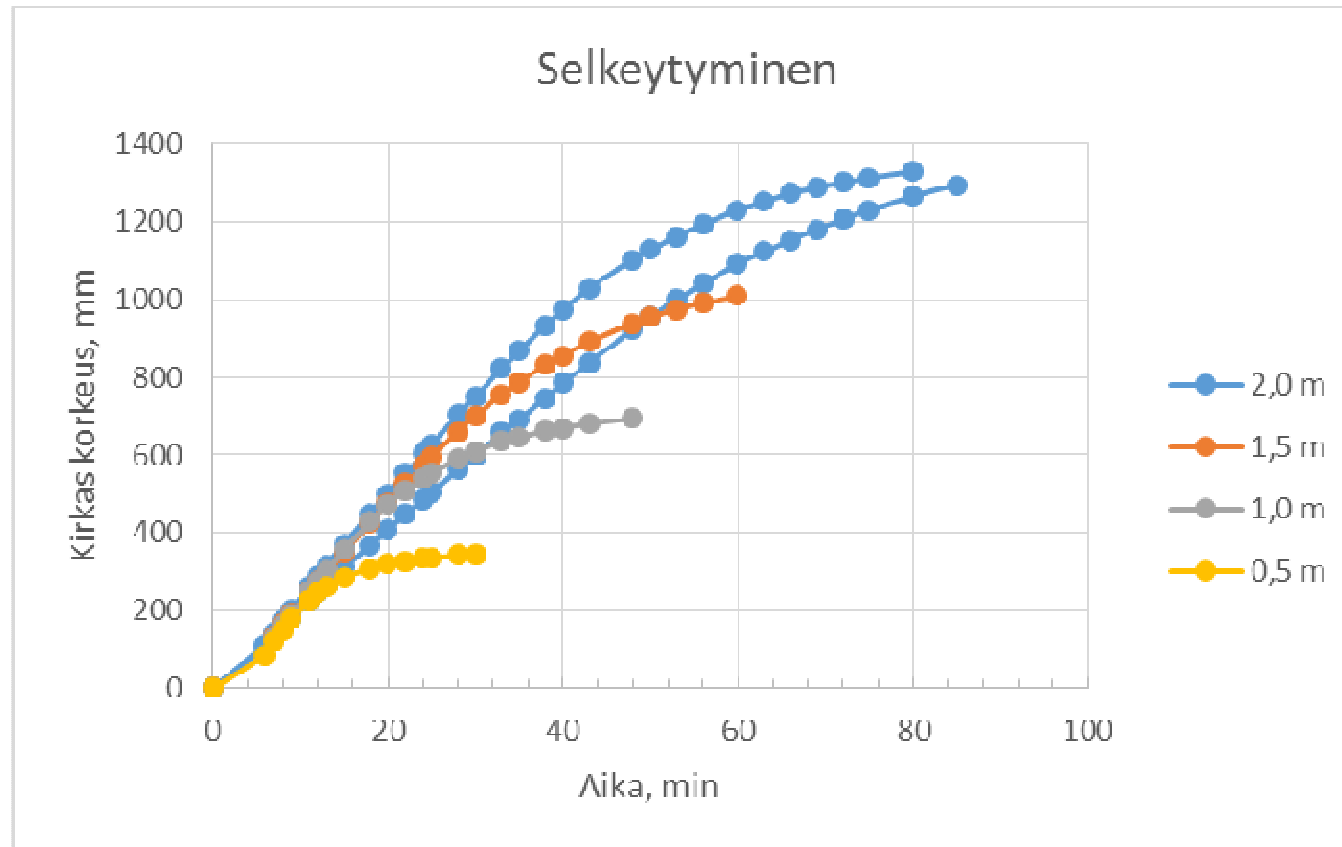
1,0 m

0,5 m

Mitattiin selkeytymisnopeutta

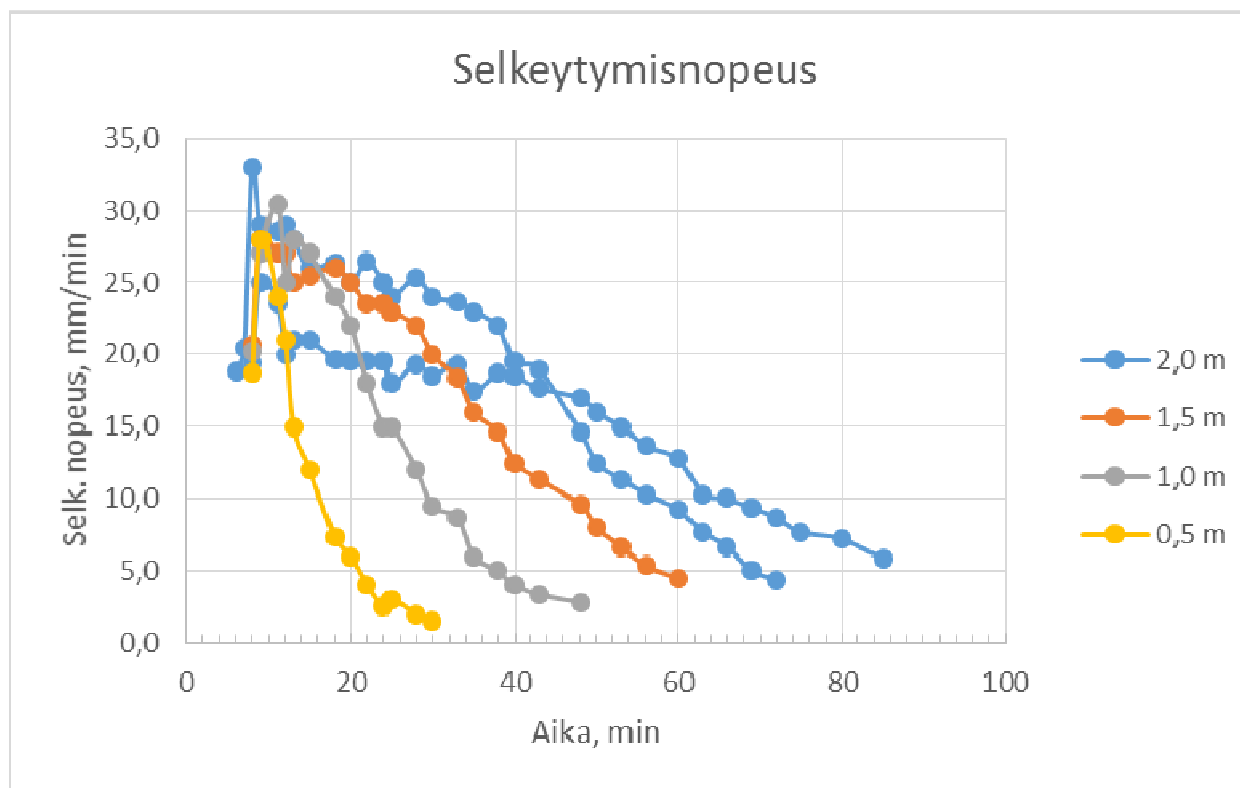
Tulokset tarkasti ja hyvin hallituissa olosuhteissa





2,0 m mitattu
ensimmäisenä
ja viimeisenä.
Liukenemista?

Korkeassa lietepylväässä selkeytyminen on lineaarista kauemmin
Sakeus kasvaa hitaammin. Päinvastoin kuin putkilaitteessa ensimmäinen
sedimentointi oli hitaampi kuin viimeinen!



Nopeus pysyy korkeana kauemmin kun pylväs on korkea. Edullista käyttää tätä aluetta. 2,0 m korkeudella sykli voisi olla 30 – 40 min.

Jatko

- Laktiumin tulokset
- Jättemäärän vähenemisen arviointi
- Raportti (vuoden loppuun mennessä)

Aikataulu: tiukka mutta mahdollinen

Johtopäätökset (tähän mennessä)

Prosessi on täysin toimiva

On operoitava laimennetulla lietteellä

- voidaan kuitenkin kierrättää lipeä jos halutaan välttää liiallista laimenemista

Merkitsevin muuttuja on sakeus, ei tiheys

Lienee edullista käyttää suurempia ja korkeampia putkia

Kaatopaikkajätteen vähentäminen menetelmällä on täysin mahdollista

LIITE 7

Kronologinen historiikki, 13.12.2015

Sisällysluettelo

Tutkimustoiminta käynnisti soodakattilayhteistyön	2
Höyrynpaineiden nousu koetteli yllättävän kovasti kattiloita	2
Soodakattilan syöpymistutkimus 1965-1968.....	3
Syöpymisen tietomateriaalia kerättiin ja jaettiin kattavasti	4
Sulfidikorroosio aiheutti syöpymisen.....	5
Soodakattila-alan ensimmäinen yhteistoimintajakso 1969-1971	6
Tehtaat päärahoittajina, kattilavalmistajat mukaan	7
Alakomiteoita perustettiin	7
Yhteistyö laajeni ohjattavuustutkimukseen vuosina 1970-1972	8
Ensimmäisen yhteistoimintakauden tuloksia.....	9
Soodakattilaohje päivitetään.....	10
Compound-putket havaittiin parhaiksi	10
Toiminta jatkuvuusperiaatteelle	11
Kolmivuotiskausi 1975-1977	12
Vaurioutilastointi aloitetaan	12
Emissiotyöryhmä selvitti päästöjä.....	13
Ilmansuojelulaki eteni verkkaisesti	13
Päätoimikunta hoiti hallinnollisen ohjauksen.....	14
Arto Aaltonen: Yhteistyö alkuun taloudellisesti pienimuotoista.....	14

Tutkimustoiminta käynnisti soodakattilayhteistyön

Hälyttävästi lisääntynyt soodakattiloiden tulipesän puoleinen syöpyminen erityisesti Suomessa 1960-luvun alussa johti ajatukseen yhteistoimin rahoitetusta tutkimuksesta ongelmien ratkaisemiseksi. Tutkimus alkoi virallisesti pitkien esivalmisteluiden jälkeen periaatteellisella päätöksellä, joka tehtiin Kaukaalla 20. marraskuussa vuonna 1964.

Kaikki soodakattiloita omistavat yritykset näkivät edut joita kaavailtuun yhteistutkimukseen sisältyi, joten kokouksessa kaikki sulfaattiselutehtaiden sekä Heinolan ja Rauman sulfiittitehtaiden edustajat kannattivat tutkimuksen aloittamista syöpymisen syiden selvittämiseksi sekä tulipesän suojauskeinojen löytämiseksi.

Ryhtymällä yhteistutkimukseen saatiin yhteistoiminnalle kokemuksia ja samalla saavutettiin laaja koekenttä. Näin vältettiin samojen asioiden tutkiminen useissa paikoissa ja päästiin mahdollisimman pieniin kokonaiskustannuksiin, jotka lisäksi jakaantuivat kaikkien asiasta kiinnostuneiden yhteisesti kannettaviksi.

Höyrynpaineiden nousu koetteli yllättävän kovasti kattiloita

Soodakattiloiden tulipesissä on aina esiintynyt syöpymistä, mutta ensimmäiset vakavat syöpymishavainnot tehtiin vuonna 1961 Kaukopäässä kahdessa CE-tyyppisessä, silein seinätuubein varustetussa höyrynpaineeltaan 63 barin kattilassa. Syöpymistä pidettiin aluksi, varsinkin kattiloiden valmistajien taholta, putkien sisäpuolisten kerrostumien aiheuttamana. Lukuisten vastaavien tapausten perusteella tultiin pian johtopäätökseen, että pääsyy syöpymiseen täytyy olla jokin muu. Syöpymisilmiö esiintyi voimakkaimpana sularajassa ja siitä ylöspäin primääri-ilma-aukkojen korkeudella asti. Edellä mainittuja ilmiöitä havaittiin myöhemmin kaikissa suojaamattomin silein putkin tehdyissä kattiloissa joiden höyrynpaine oli 63 baaria tai sitä korkeampi.

Vuonna 1964 Pietarsaaren tapitetuilla tangenttituubeilla varustetussa soodakattilassa todettiin uuden tyyppinen syöpymisilmiö, joka esiintyi tulipesän seinän ulkopuolella. Myöhemmin sama ilmiö todettiin kaikissa uusissa saman seinärakenteen omaavissa B&W-kattiloissa sekä eräissä Tampella-kattiloissa.

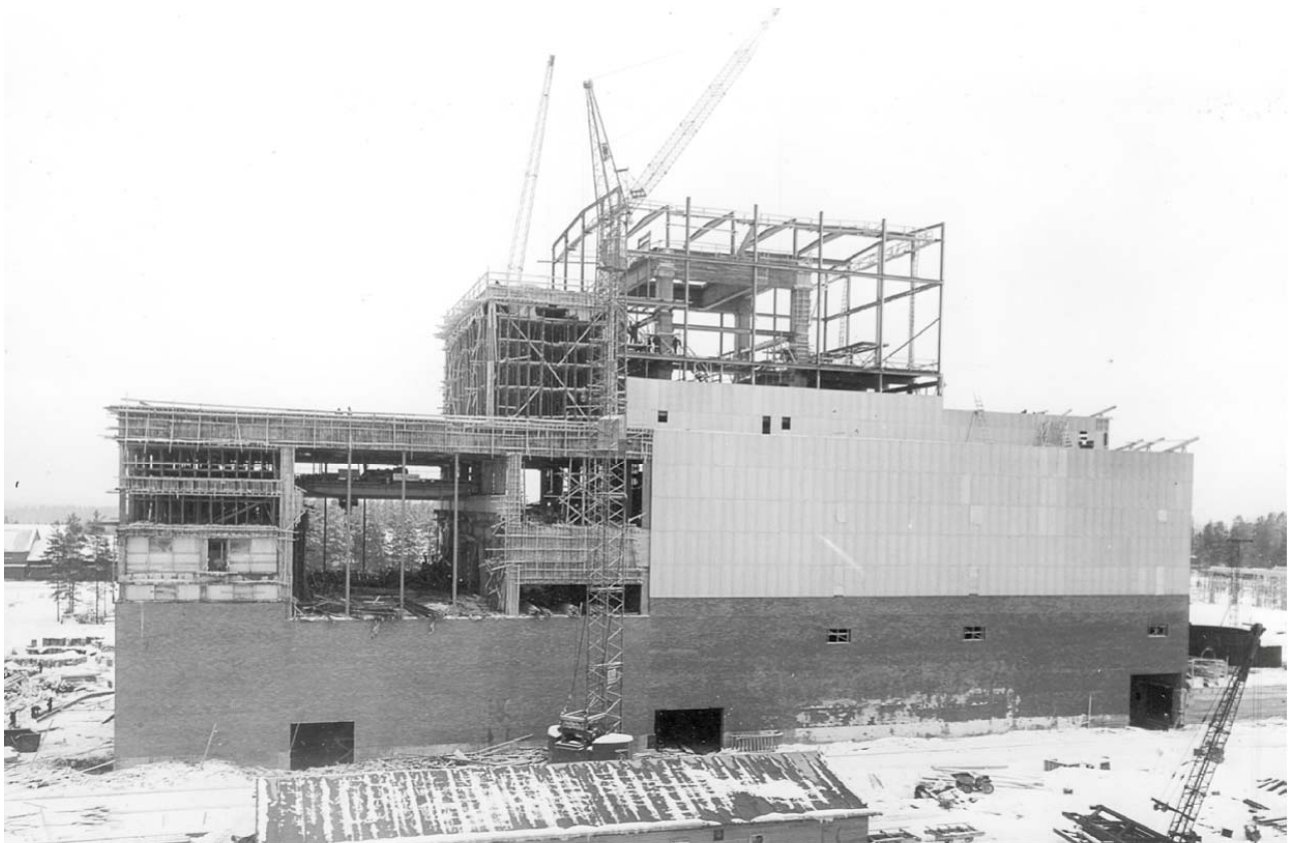
Tulipesän sisäpuolisesta syöpymisestä oli ulkomailla tehty havaintoja, mutta poikkeuksetta ne oli voitu selittää syöttöveden huonosta laadusta aiheutuneesta putken sisäpuolisen kerrostumasta johtuneiksi. Sisäpuolinen kerrostuma aiheuttaa putken pintalämpötilan epänormaalin nousun ja syöpymisen tiedettiin johtuvan

metallin lämpötilasta. Tämä olikin käytännössä katsoen ainoa luotettava syöpymistä koskeva tieto.

Koska Suomen soodakattilat oli yleensä rakennettu vastaavia ulkomaisia kattiloita korkeammille höyrynpaineille ja siten myös tulipesän putkien lämpötila oli korkeampi, oli maassamme tietyt yhteiset erityisolosuhteet. Suomeen rakennettujen soodakattiloiden höyrynpaine oli 1950-luvun puolessa välissä noussut tasolta 35 baaria tasolle 63 baaria. 1960-luvulle tullessa kattilat suunniteltiin jo 84 barin höyrynpaineelle. Tulistetun höyryn lämpötilassa tavoiteltiin 480°C, mikä merkitsi noin 50°C lämpötilan nousua aikaisempaan verrattuna. Myös tulistimien kanssa törmättiin syöpymis- ja likaantumisongelmiin johtuen korkeammista lämpötiloista ja uusista rakenteista.

Syöpymisilmiöt aiheuttivat huomattavia korjaus- ja seisokkikustannuksia. Seinäputkissa normaalista käytetty 1 mm syöpymävara kului loppuun 2-4 vuodessa. Suoritetut tulipesien alaosien vaihdot sekä korjaukset olivat vuoteen 1968 mennessä maksaneet noin 5 miljoonaa markkaa (7,5 miljoonaa vuoden 2014 euroa), eli kattilaa kohden noin puoli miljoonaa markkaa, ja ne olivat vaatineet keskimäärin 46 vuorokauden seisokin.

Nämä tosiseikat tekivät välttämättömäksi kansallisen yhteistutkimuksen aloittamisen. Muissa tärkeimmissä soodakattiloiden käyttäjämaissa Ruotsissa, Yhdysvalloissa ja Kanadassa ei tuolloin vielä havaittu näin nopeaa kattilan syöpymistä, lähinnä siksi että muualla selluntekijät olivat energiatehokkuuden tavoittelussa suomalaisia konservatiivisempia.



|||| Kaukaalla pidettiin 20. marraskuuta 1964 yhteistoimintaneuvottelu, johon osallistuivat keskeiset soodakattiloiden käyttäjät. Kaukas rakensi 1960-luvun alussa uuden sulfaattiselluloosa-tehtaan, joka valmistui vuonna 1964. 1970-luvulla sulfiittisellun valmistus Kaukaalla päättyi ja sulfaattiselluloosa-tehdasta laajennettiin uudella tuotantolinjalla, jolta valmistui pitkäkuituista mäntyselluloosaa.

Soodakattilan syöpymistutkimus 1965-1968

Kaukaan kokouksen jälkeen Ekono pyysi 12.3.1965 kirjallista vahvistusta kaikilta Suomen soodakattiloiden omistajilta, ja kaikki vahvistivat osallistumisensa yhteistutkimukseen. Vuosina 1965-1968 suoritetun tutkimuksen kokonaiskustannukset olivat 450 000 silloista Suomen markkaa (900 000 vuoden 2014 euroa).

Tutkimuksen rahoittajina olivat kaikki Suomen soodakattiloita käyttävät tehtaat: Enso-Gutzeit Osakeyhtiö, Joutseno-Pulp Osakeyhtiö, Oy Kaukas Ab, Kemi Oy, Kemijärvi Oy, Kymin Osakeyhtiö, Lohja-Kotka Oy, Metsäliiton Selluloosa Oy, Oulu Osakeyhtiö, Rauma Repola Oy, W. Rosenlew & Co. Oy., Oy Wilh. Schauman Ab, Sunila Osakeyhtiö, Oy Tampella Ab ja Yhtyneet Paperitehtaat Osakeyhtiö. Kustannukset jaettiin tehtaiden vuosituotantojen perusteella. Myös Keskeytysvakuutusyhtiö Otso osakasyhtiöineen osallistui rahoitukseen.

Tutkimustoimintaa johti sulfaattisellutehtaiden edustajien valitsema 7-miehinen tutkimustoimikunta,

jonka puheenjohtajana toimi dipl.ins. Kauko Seppälä Oulu Osakeyhtiöstä ja varapuheenjohtajana dipl.ins. Lauri Puhakka Enso-Gutzeit Oy:stä. Jäseninä olivat dipl.ins. Esko Ahonen Rauma Repola Oy:stä, filosofian tohtori Eero Avela Oy Kaukas Ab:stä, dipl.ins. Kaarlo Kirvelä Ekonosta ja tekniikan lisensiaatti Erkki Rissanen Sunila Osakeyhtiöstä. Avela erosi vuoden 1966 alussa ja tilalle tuli dipl.ins. Voitto Suomivuori Yhtyneet Paperitehtaat Osakeyhtiöstä.

Toimikunnan työskentelyyn osallistuivat myös dipl.ins. Erkki Karjalainen ja Pertti Valkamo Enso-Gutzeit Oy:stä sekä dipl.ins. Tom Roos Ekonosta.

Tutkimustoimikunta nimesi tutkimuksen eri osien läpiviemiseksi seuraavat alakomiteat: tilasto-, tulipesä-, kestoisuus-, vedenkierto-, ja tulipesän ulkopuolisten syöpymien komitean. Tilastokomiteaa johti tekniikan lisensiaatti S. Kurronen Oulun yliopistosta, tulipesäkomiteaa Ekonon Kaarlo Kirvelä, kestoisuuskomiteaa Lauri Puhakka Enso-Gutzeit Oy:stä, vedenkiertokomiteaa K. Pelkonen Kemi Oy:stä ja tulipesän ulkopuolisen syöpymisen komiteaa dipl.ins. Renne Orsa Ekonosta.

Komiteatyöskentelyyn osallistuivat myös dipl.ins. Juha Alhojärvi ja Reino Soukka Oulu Osakeyhtiöstä, tekniikan



Kuva. Koe-paneelia Tainionkosken kattilassa.

lisensiaatti Kaapo Passinen Keskuslaboratoriosta, filosofian maisteri Alpo Ora Rauma-Repola Oy:sta, sekä insinööri K. Vanttilä Oy Wilh. Schauman Ab:sta, professori M. Tikkanen ja tekniikan lisensiaatti S. Yläsaari Cormet Oy:stä.

Varsinainen tutkimustyö tehtiin näiden komiteoiden ohjeiden mukaan ja valvonnan alaisena eri insinööritoimistoissa, tutkimuslaboratorioissa sekä monilla tutkimukseen osallistuneiden tehtaiden soodakattilalaitoksilla. Tutkimuksen kirjanpito, laskutus ja yhteistyö hoidettiin Ekonon toimesta.

Syöpymisen tietomateriaalia kerättiin ja jaettiin kattavasti

Toimikunta aloitti tutkimukset keräämällä kaiken saatavissa olevan materiaalin kattiloiden rakenteesta, käyttöarvoista, syöpymisestä ja korjauksista kiertokyselyn ja haastattelujen avulla ja analysoimalla tämän aineiston.

Tutkimusohjelma ja tutkimusmenetelmien kehittäminen, mittaus- ja tarkastusstandardien laatiminen sekä ulkopuolisten tutkijoiden valinta ja kiinnittäminen tutkimuksen piiriin olivat myös ensimmäisiä toimenpiteitä. Tutkimuksessa pyrittiin selvittämään tulipesäolosuhteet, syöpymän nopeus ja sen esiintymispaikat, syöpymiseen vaikuttavat tekijät sekä syöpymismekanismi ja erilaisten materiaalien kestoisuus.

Tulipesän olosuhteita selvitettiin mm. kaasukoostumusmittauksien, kerrostuma-analyyysien ja

lämpömittausten avulla. Hiiliteräksen korroosiomekanismia selvitettiin kattiloista otetuista putkinäytteistä ja koeputkista.

Soodakattilalaitokset suorittivat itse tulipesäputkien seinämävahvuuden tarkkailumittauksia toimikunnan laatimien ohjeiden mukaan ja luovuttivat tulokset toimikunnan käyttöön. Toimikunta teetti mittauksien käsittelyä varten tietokoneohjelman, joka oli tehtaiden käytettävissä.

Suurimman tutkimusalueen olivat muodostaneet eri materiaalien kestoisuustutkimukset laboratorioissa, soodakattiloiden yhteyteen rakennetuissa koeuuneissa sekä todellisissa käyttöolosuhteissa soodakattilan paineenalaisina seinäputkina. Tuolloin etsittiin kestävämpiä kattilaputkimateriaaleja, sekä päällystettiin hiiliteräspanputkia hitsaamalla, levyttämällä ja ruiskuttamalla niiden päälle kestävämpiä materiaaleja.

Koko tutkimuksen ajan oltiin yhteydessä koti- ja ulkomaisiin kattilanvalmistajiin ja muihin soodakattilalan asiantuntijoihin. Mahdollisimman laajaa kansainvälistä yhteistyötä pidettiin myös alusta pitäen erittäin tärkeänä. Ruotsalaiset sulfaattitehtaat aloittivat samoihin aikoihin oman yhteistutkimuksensa. Suomalaisten laajamittainen lähestyminen asiassa oli ehkä herätellyt myös ruotsalaisia. Ruotsin kanssa päästiinkin ajateltuun yhteistyöhön, jossa ruotsalaiset rikkaine rahastoineen ja vähempine käytännön korroosio-ongelmineen keskittyivät laboratoriotutkimukseen.

Ruotsalaisen tutkimusryhmän toimesta professori Stellingin johdolla selvitettiin muun muassa miten syöpyminen etenee täsmällisesti määritellyissä laboratorio-olosuhteissa kaasukoostumuksen, lämpötilan, ja osittain myös sulakerrostuman vaihdellessa tulipesässä.

Yhdysvaltojen puolella yhteistyö tapahtui lähinnä kattilavalmistaja CE:n kanssa tapahtuneena yhteistyönä. Erityisesti Enso-Gutzeit Oy oli yhteistyössä CE:n kanssa suorittanut aihepiiriin liittyvää tutkimustyötä ja näin ollen Suomessa saavutetut tutkimustulokset olivat CE:n käytettävissä ja vastaavasti CE:n muualla suorittamien tutkimusten tulokset olivat tutkimustoimikunnan käytössä. Yhteistyön syvyyttä kuvaa se että CE:n tohtori A.L. Plumley oli jäsenenä kestoisuustutkimuksia suorittavassa alakomiteassa.

Toinen yhteys Pohjois-Amerikkaan saatiin aikaan kattilavalmistaja B&W Companyn kanssa. Yhteistyön tuloksena saatiin käyttöön B&W:n ulkopuolista syöpymää koskeva raportti, joka antoi huomattavan panoksen tutkimustoimikunnan vuonna 1968 julkaisemaan loppuraporttiin.

Myös japanilaisiin soodakattila-alan tutkijoihin saatiin kontakti Helsingissä vuonna 1968 järjestetyssä Recovery Symposiumissa, jonne oli kokoontunut yli 300 alan asiantuntijaa. Japanista saatiin käyttöön lähinnä kromiterästen syöpymistä koskevia tutkimuksia.

Sulfidikorroosio aiheutti syöpymisen

Tulipesän puoleisen syöpymisen todettiin johtuvan sulfidikorroosiosta. Teräsputkien pinnalle muodostui tavanomaisen putkea suojaavan oksidikerroksen asemasta rautasulfidikerros, joka epätäydellisestä

kiderakenteesta johtuen läpäisee rautaioneja niin, että reaktio pääsee jatkumaan. Reaktionopeuteen ja laajuuteen vaikutti ennen kaikkea putkimateriaalin lämpötila, joka on riippuvainen kattilan käyttöpainesta ja mahdollisista sisäpuolisista kerrostumista. Muita tekijöitä olivat sulfidikerrostuman paksuus ja tiheys sekä kaasufaasin ja sulatekerroksen koostumus.

Syöpymiseen alttiit kohdat kartoitettiin, ja syöpymisnopeus eri paikoissa selvitettiin. Nopeinta syöpyminen oli reduktiovyöhykkeessä, erityisesti sularajassa. Lievempi syöpymisalue todettiin polttovyöhykkeessä, ja se saattoi ulottua aina tulipesän kattoon asti.

Tulipesän seinien ulkopuolisen syöpymisen vaikeimmat tapaukset olivat ilmeisesti sulan natriumhydroksidin (NaOH) aiheuttamia. Natriumhydroksidi liuottaa muodostuvat korroosiotuotteet päästäten reaktion jatkumaan. Natriumhydroksidi siirtyy tulipesän seinärakenteen läpi todennäköisesti kaasumuodossa. Ulkopuoliset syöpymät esiintyvät primääri-ilma-aukkojen ympärillä sekä polttovyöhykkeessä.

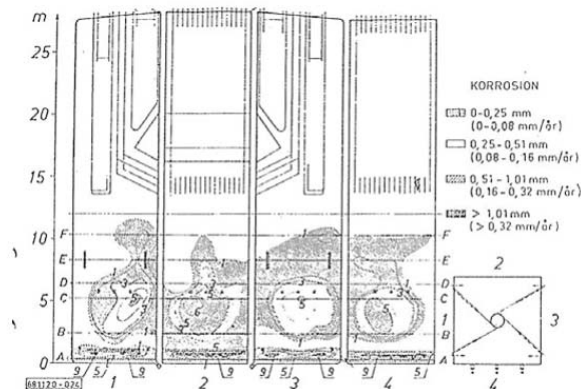
Seinien tiiviiksi hitsaaminen estää tulipesän ulkopuolisen syöpymisen, kun taas kaikki muut suojausmenetelmät on tarkoitettu tulipesän puoleisen syöpymisen estämiseksi.

Syöpymistutkimuksen tärkeimpiin kuuluvana tuloksena voidaan pitää toimikunnan vuonna 1968 ilmestyneessä loppuraportissaan julkaisemaa tulipesän seinäputkien suojaussuosituksia.

Myöhemmin suojaussuosituksista on lisäkokemusten perusteella päivitetty useita kertoja.



Kuva. Kuusi_Cormet Oyn päällystämää evällistä tuubia asennettuna Kaukopään kattilan oikean seinän alaosaan primääri-ilma-aukkojen alapuolelle



Kuva 1. Esimerkki seismänsuunnittelun perusteella laaditusta syöpymäkartasta (17).

Soodakattila-alan ensimmäinen yhteistoimintajakso 1969-1971

Soodakattiloiden syöpymätutkimuksesta alkunsa saanut yhteistoiminta soodakattila-alalla sai jo tutkimuksen kestäessä järjestäytyneemmän luonteen, kun tehtaiden aloitteesta Kotkassa 6.5.1966 pidetyillä soodakattilaneuvottelupäivillä päätettiin perustaa Teollisuuden lämpöteknillisen kerhon (TLK) yhteyteen soodakattilajaosto. Aikaisempina vuosina soodakattilakysymykset ovat täyttäneet suurilta osin TLK:n kokousten ohjelman ja edellisenä vuotena on täytynyt järjestää ylimääräinen päivä soodakattilakysymyksiä varten. Soodakattilajaoston tehtävänä oli edistää alan teknistä kehitystä ja toimia kotimaisten soodakattilan käyttäjien ja valmistajien sekä heidän yhteisöjensä keskeisenä yhdyselimenä, jossa voidaan käsitellä ajankohtaisia ja selvitystä vaativia alan erikoiskysymyksiä.

Vuoden syyskuussa 1965 tapahtunut soodakattilaräjähdyksen Metsäliiton Selluloosa Oy:n Äänekosken tehtaalla vauhditti varmaakin osaltaan soodakattilakäyttäjien tietojenvaihtotarvetta. Onnettomuus vaati neljän ihmisen hengen.

Myös muiden soodakattiloiden käyttäjämäiden vastaavat elimet toimivat esimerkkinä. Vuodesta 1958 lähtien on Ruotsissa järjestetty Ångpanneföreningens toimista sodahuskonferenssin-nimistä tilaisuutta, jossa pidetään esitelmää soodakattiloita koskevista asioista. Tuohon aikaan tilaisuuteen osallistui vuosittain toistakymmentä suomalaista soodakattilakäyttäjää. Vuonna 1965 Ruotsiin perustettiin Nedeldningskommittén (alasajokomitea) jonka tarkoituksena oli laatia ruotsalaisille sellutehtaille yhteinen ohje soodakattilan alasajoa varten. Vuonna 1972 komitean

nimeksi tuli Sodahuskommittén ja ohjeiden laadinta laajeni koskemaan koko soodakattilaitoksen turvallisuutta, ei pelkästään alasajoa.

Pohjois-Amerikassa on vuodesta 1962 toiminut komitea nimeltään BLRBAC, joka on lyhenne sanoista black liquor recovery boiler advisory committee. Komitean perustajina toimivat vakuutusyhtiöt ja toiminta käsitti tuolloin kaksi kertaa vuodessa järjestetyn kokouksen jossa käsiteltiin tapahtuneita soodakattilaräjähdyksiä ja siihen johtaneita syitä. Ekono liittyi BLRBACin jäseneksi vuonna 1966.

Soodakattilajaoksen toiminnalle ei aluksi vahvistettu erityistä muotoa eikä rahoitusta. Toiminta rajoittui pääasiallisesti kerran vuodessa pidettyihin jaoksen kokouksiin, joissa raportoitiin syöpymistutkimuksen tuloksista, pidettiin esitelmää ja ennen kaikkea keskusteltiin ajankohtaisista kysymyksistä.

Jaoksen toimesta järjestettiin vuonna 1967 Oulussa ensimmäinen soodakattilalaitosten ylikonemestareille tarkoitettu keskustelu- ja informaatiotilaisuus. Tilaisuus järjestetään edelleen vuosittain Konemestaripäivä nimellä.

Koska syöpymistutkimuksen päättyessä vuonna 1968 ei ollut vielä saatu riittävän pitkäaikaisia kokemuksia suositelluista suojausmenetelmistä, syöpymistutkimustoimikunta suosittelee loppuraportissaan, että syöpymis- ja suojaustutkimuksia jatkettaisiin ja ehdotti samalla vastaavan yhteistoiminnan laajentamista koskemaan kaikkia soodakattila-alalla esiintyviä ajankohtaisia asioita.

Raumalla 6.11.1968 pidetyssä soodakattilajaoksen kokouksessa tehtiin periaatepäätös syöpymistutkimuksen jatkamisesta sekä yhteistoiminnan laajentamisesta koko soodakattila-alaa koskevaksi. Samassa kokouksessa valittiin myös uusi 9-jäseninen toimikunta, päätoimikunta ohjaamaan suunniteltua yhteistoimintaa. Sen puheenjohtajaksi valittiin Enso Gutzeit Osakeyhtiöstä professori Lauri Puhakka, jonka tilalle tuli myöhemmin vuonna 1969 dipl.ins .Mikko Platan Joutseno-Pulp Osakeyhtiöstä. Päätoimikunnan jäsenet puheenjohtajan jälkeen valittiin siten että 2 edustajaa tuli soodakattilavalmistajilta, 4 käyttäjiltä, yksi Keskuslaboratoriosta ja yksi Ekonosta. Päätoimikunnan tehtäviksi asetettiin muun muassa tutkimuskohteiden valinta ja valvonta, jäsenistöä hyödyttävän käyttötietojen kokoaminen ja käsittely, soodakattila-alan kansanvälisen kehityksen seuraaminen ja jaoksen jäsenten informointi toimikunnan toiminnasta. Päätoimikunta valitsi tehtäviä suorittamaan kolme alakomiteaa: yleiskomitean, kestoisuuskomitean ja tulistinkomitean. Yhteys teollisuuteen hoidettiin jokaisen tehtaan nimeämän soodakattilajaoksen yhdysmiehen kautta. Tutkimustyö tehtiin kuten aikaisemminkin komiteoitten laatimien suunnitelmien mukaan eri konsulttien, tutkimuslaboratorioiden ja kuhunkin tutkimustehtävään halukkaan ja parhaiten soveltuvan

kattilalaitoksen toimesta. Yhteistoiminnan kirjanpito, laskutus, koordinointi, informointi sekä sihteerintyöt suoritettiin Ekonossa.

Ensimmäinen yhteistoimintajakso pääsi alkuun vuoden 1969 alussa Suomen kaikkien soodakattilaoimistajien ja -valmistajien päätettyä osallistua siihen.

Tehtaat päärahoittajina, kattilavalmistajat mukaan

Yhteistoimintajakson pituudeksi määriteltiin kolme vuotta ja vuotuiseksi määrärahaksi 100 000 markkaa (145 000 vuoden 2014 euroa) Yhteistoiminnan päärahoittajina olivat edelleen kaikki soodakattiloita omistavat tehtaat, suurimpana Kaukopään tehtaat 8 050 markan vuosierällä. Kustannukset jaettiin niiden kesken samassa suhteessa kuin Ekonon jäsenmaksut soodakattiloiden osalta. Soodakattiloiden kotimaiset valmistajat A. Ahlström Oy Varkaudesta ja Oy Tampella Ab Tampereelta osallistuivat kustannuksiin kumpikin 10 000 markalla vuodessa, Toimintaa tuki apurahan muodossa vakuutusyhtiö OTSO osakasyhtiöineen. Vuosiksi 1969–1971 yhteistoimintaan myönnetty rahasumma oli kaikkiaan 315 000 mk (460 000 vuoden 2014 euroa).

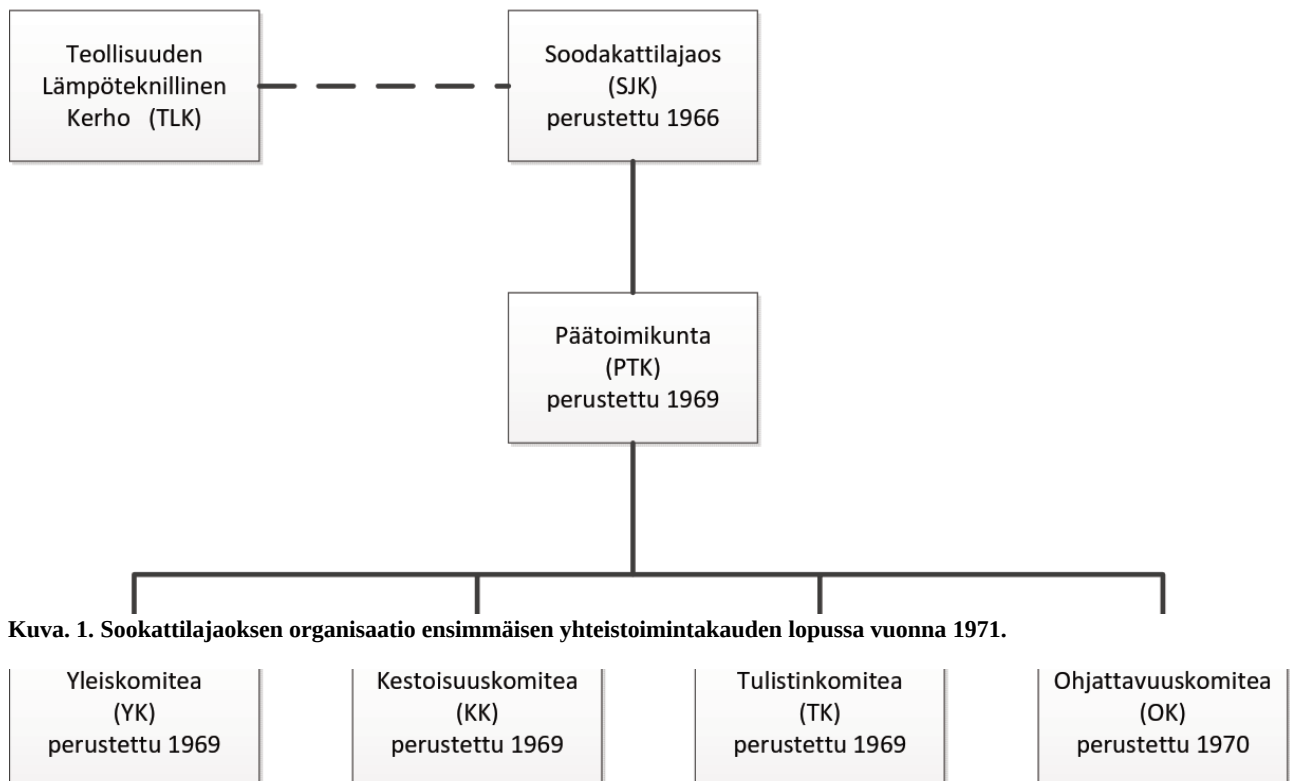
Oy Keskuslaboratorio liittyi yhteistoimintaan mukaan Suomen Selluloosayhdistyksen teknikkokomitean alaisen korroosiokomitean toimesta vuonna 1969. Vuosina 1970–1972 Keskuslaboratorion korroosio- ja kestoisuustutkimuksiin varattiin omana summanaan 180 000 mk (260 000 vuoden 2014 euroa)

Alakomiteoita perustettiin

Yhteistoimintakauden alussa päätoimikunta nimitti kolme alakomiteaa hoitamaan tutkimus- ja kehitystoimintaa: yleiskomitean, kestoisuuskomitean ja tulistinkomitean.

Yleiskomitean toimialueeseen kuului polttotapaan, hajuntorjuntaan, sekä kattiloiden instrumentointiin ja käyttöturvallisuuteen liittyviä asioita. Vuosina 1969–1971 yleiskomitea kartoitti käytössä olevat lipeän polttotavat ja järjesti kokeita kiinteitä ruiskuja käyttäen. Komitea teetti diplomityönä tutkimuksen soodakattiloiden rikkihävitiöiden ja hajukaasujen määrään vaikuttavista tekijöistä, joka valmistui vuonna 1971.. Komitea järjesti mustalipeän jatkuvatoimisten kuiva-ainemittareiden kokeiluja. Tutkimuksesta kehittyi pitkäaikainen tekijä. Komitean toimesta selvitettiin kokemuksia alumiinikuulien käytöstä ekonomaiserin kuulanuohouksessa pyrkimyksenä vähentää putkien kulumista. Samoin selvitettiin kiertokyselyllä öljypoltinten liekinvalvontalaitteita. Tälläkin tutkimuksella oli jatkuvuutta.

Yleiskomitea täydensi ja kehitti ”Kattilalaitoksen räjähdyskiä tutkivan komitean” (KRTK) laatimia turvallisuus- ja alasajo-ohjeita. Se keräsi ja jakoi yhteistoimintaan osallistuville soodakattiloiden käyttötietoja, tietoja ja selosteita vuodoista ja muista vaaratilanteista. Komitea laati kirjallisuuskatsauksia soodakattila-alalta, järjesti vuosittain jaoksen kokouksia ja konemestarien koulutuspäiviä. Yleiskomitea jakoi informaatiota sekä omasta että ulkomaisesta toiminnasta

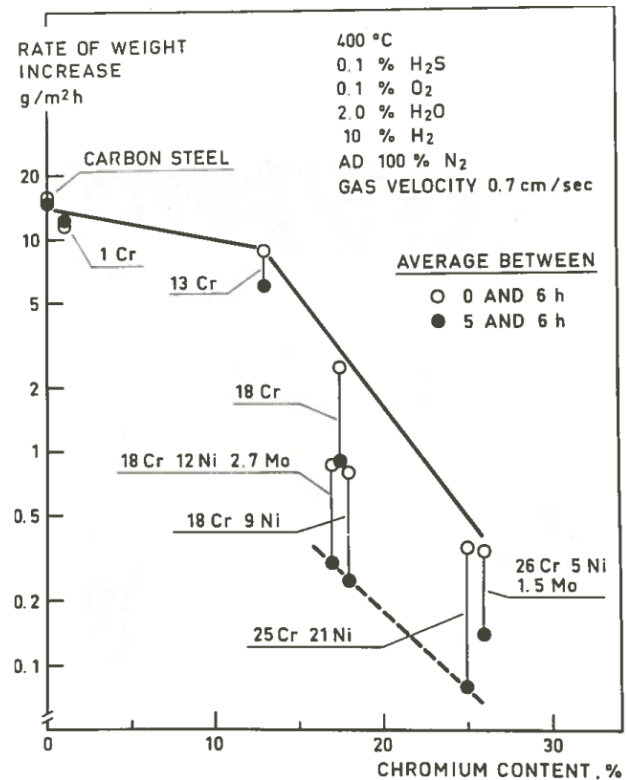


mm. BLRBAC:n työstä.

Kestoisuuskomitea toimintaan kuuluivat kattilan syöpymäilmiöiden tutkiminen, suojauskeinojen kehittäminen ja eri tavoilla saatavan suojauksen kestoisuuden selvittäminen sekä suojaussuosituksen antaminen. Ensimmäisellä yhteistoimintakaudella kestoisuuskomitea ohjasi ja seurasi Keskuslaboratoriossa suoritettavaa perusteellista laboratoriotutkimusta kromi- ja alumiiniseosteiden terästen kestoisuuden selvittämiseksi. Keskuslaboratorio teki tutkimusta osaksi yhteistyössä ruotsalaisen korroosiokomitean kanssa. Tutkimusta koordinoitiin yhdessä, Keskuslaboratorio vastasi 6 tunnin lyhytaikaisista korroosiokokeista ja ruotsalaiset pidempiaikaisista 3-4 viikkoa kestävästä kokeista tietyssä kaasutilassa paljailla ja sulan peittämällä koepaloilla. Kokeissa selvisi että kromiteräksillä on laadusta riippuen ns. kriittinen lämpötila, jonka yläpuolella korroosionopeus kasvaa nopeasti lämpötilan mukana. Korroosionopeus on suurin kun kaasuseoksessa on tietyssä suhteessa H_2S :ää ja O_2 :a, lisättäessä H_2S -pitoisuutta maksimikorroosio lisääntyy hidastuvasti. Erät epäjalot metallit kuten alumiini ja kromi parantavat teräksen korroosiokestävyyttä, kun niitä on riittävä määrä. Kromin lisäyksen todettiin olevan merkityksellisin, positiivinen vaikutus korroosiokestävyyteen syntyy ylitettäessä 13 %:n pitoisuus.

Kestoisuuskomitea järjesti kokeiluja uusien laboratoriotutkimusten perusteella löydettyjen putkimateriaalien kestoisuuden toteamiseksi kenttäolosuhteissa. Komitea selvitti kiertokyselyllä tulipesän tarkastus-, korjaus- ja suojausmenetelmiä. Se täydensi ja korjasi tulipesän putkien suojaussuositusta. Lisäksi se jakoi tutkimusmateriaalia sekä selostuksia tehdyistä kokeiluista ja korjauksista yhteistoimintaan osallistuville.

Tulistinkomitea tutki nimensä mukaisesti tulistimiin liittyviä ongelmia kuten syöpymistä, mekaanisia vaurioita ja likaantumiseen liittyviä kysymyksiä. Tulistinkomitea aloitti toimintansa selvittämällä kiertokyselyllä pahimmat tulistimiin liittyvät ongelmat ja teetti sen perusteella diplomityönä tulistinten rakennetta koskevan tutkimuksen.



Kuva. Kromipitoisuuden vaikutus korroosionopeuteen

Yhteistyö laajeni ohjattavuustutkimukseen vuosina 1970-1972

Kaksi sulfaattitehdasta päätti vuonna 1970 lähteä yhteistyönä tutkimaan soodakattilassa tapahtuvaa kemikaalien talteenoton parantamista dynaamisen mallin avulla. Tavoitteena oli laatia sellainen malli, että sen pohjalta voitaisiin kehittää soodakattilalle ohjausstrategia, jonka avulla päästäisiin seuraaviin päämääriin: ensinnäkin sulan reduktio pyritään saamaan mahdollisimman suureksi, toiseksi kemikaalihäviöt pyritään saamaan mahdollisimman pieniksi ja kolmanneksi pyritään maksimoimaan hyötysuhde. Työn alkuvaiheessa osoittautui, että riittävän perusteellisen tutkimuksen suorittaminen uudella alueella olisi erittäin kallista. Lisäksi katsottiin, että tutkimus antoi runsaasti yleistä tietoa soodakattilaprosessista. Tältä perustalta tehtiin aloite ohjattavuustutkimuksen suorittamisesta yhteistyön puitteissa.

Yhteistutkimuksen käytännön toteutusta koskeva kokous pidettiin Helsingissä 12.11.1970. Kokouksen tuloksena kaikki Suomen sulfaattiselutehtaat, soodakattiloiden valmistajat, Ekono sekä Sitra saatiin mukaan yhteistutkimukseen, johon varattiin vuosina 1970-1972 410 000 markkaa (600 000 vuoden 2014 euroa).

Samassa kokouksessa pyydettiin yhteistoimintaa soodakattila-alalla johtavaa päätoimikuntaa ottamaan valvontaansa tutkimuksen suorittaminen. Tutkimusta hoitamaan nimettiin erillinen ohjattavuuskomitea.

Tutkimuksen alkuvaiheessa soodakattilaprosessin

osaprosesseille pyrittiin laatimaan teoreettiset matemaattiset mallit muun muassa ruiskutusmalli, palamismalli ja höyrymalli. Kaikissa malleissa oli kuitenkin suureita ja riippuvuuksia joita ei voitu teoreettisesti määrittää vaan päämäärään pääseminen vaati erityisten mittalaitteiden ja menetelmien kehittämistä ja useita tehdaskokeita. Tutkimuksen kuluessa todettiin, että soodakattilan palamistapahtuman ohjaaminen annettujen tavoitteiden mukaisesti vaatii lipeän ja ilman syötön seinäkohtaista säätöä ja tarkkailua. Käytännössä tämä edellytti että lipeälinjalla tuli olla seuraavat mittaukset: lipeän kuiva-ainepitoisuus, lipeän lämpötila, lipeän tilavuusvirtaus ja ruiskun paine. Primääri-ilman ohjaus taas edellytti seinäkohtaista määrän ja paineen toisistaan riippumatonta säätöä. Myös savukaasujen happi-, pöly- ja rikkidioksidipitoisuus mittausten todettiin olevan tärkeitä prosessin hallinnan kannalta. Tavoitteiden saavuttamiseksi tutkimus jatkui vielä vuoden 1973 puolelle ja kustannukset nousivat 610 000 markkaan (880 000 vuoden 2014 euroa). Ekono otti hoitaakseen budjettilytyksen ja pyrki kaupallistamaan tutkimuksen tulokset saadakseen sijoitettuja rahoja takaisin. Ekonon toimintaperiaatteeseen ei kuulunut laitteistojen myyntiä joten se sai pitkien neuvottelujen jälkeen kumppaniksi Oy Nokia Ab, Elektroniikan soodakattilan tietokoneohjauspaketin luomiseksi ja markkinointiseksi. Samalla sovittiin myös jaoksen jäsenten ja Ekonon kesken periaatteista, miten tutkimuksen yhteydessä syntynyt budjetin ylitys korvataan. Myös tehtaat ryhtyivät tutkimaan mahdollisuuksia toteuttaa ohjausjärjestelmä käytännössä.

Ensimmäisen yhteistoimintakauden tuloksia

Yhteistoiminnan katsottiin ensimmäisen jakson aikana pyrkineen lisäämään laitosten käytettävyyttä, käyttöturvallisuutta ja käyttöhenkilökunnan koulutusta.

Konkreettisia tuloksia olivat syöpymis- ja kestoisuustutkimuksiin perustuvat tulipesäputkien suojaussuositus sekä tarkastus- ja korjaussuosituksot. Samoin oli saatu aikaan vilkas informaatiotiedotus ja tehostunut kokemusten vaihto niin kotimaan kuin ulkomaidenkin piirissä. Monilla yhteistoimintamuodoilla oli alan ja laitteiden tulevaa kehitystä ohjaava merkitys, joka oli nähtävissä vain pitkällä tähtäimellä.

Suomessa soodakattilakysymysten tutkimiseen uhratut varat olivat vähäiset verrattuna USA:n ja Ruotsin vastaavan ajan tutkimustoiminnan miljoonabudjetteihin. Kuitenkin suomalaiset olivat tulosten vaihdolla päässeet osalliseksi merkittävään kansainväliseen tutkimustulosten ja kokemusten vaihtoon, joka ilman yhteistoimintatutkimuksia ei olisi ollut mahdollista.

Soodakattila-alan toinen

yhteistoimintajakso 1972–1974

Ensimmäisen yhteistoimintajakson lopuksi todettiin, että on mahdotonta arvioida yhteistoiminnan tulosten antamaa taloudellista hyötyä osakkaille. Teollisuuden piirissä katsottiin kuitenkin, etteivät yhteistoimintaan uhratut varat ainakaan menneet hukkaan. Tästä oli selvänä osoituksena Tampereella 12.5.1971 pidetyssä kokouksessa tehty yksimielinen päätös ehdottaa yhteistoiminnan jatkamista seuraavaksi kolmivuotiskaudeksi vuosille 1972–1974. Sekä suomalaiset soodakattilanomistajat että -valmistajat hyväksyivät ehdotuksen. Metsäliitto päätti osallistua vain osittain toimintaan ja sen rahoitukseen.

Toisen yhteistoimintajakson rahoitus järjestettiin samalla perusteella kuin ensimmäinen. Toimintaan oli vuosille 1972–1974 käytettävissä noin 480 000 markkaa (570 000 vuoden 2014 euroa). Myös organisaatio säilyi samanlaisena kuin ensimmäisellä yhteistoimintajaksolla, lisäksi uutena tutkimuskomiteana perustettiin emissiokomitea.

Päätoimikunnan puheenjohtajana jatkoi dipl.ins. Mikko Platan ja sihteerinä dipl.ins. Tom Roos. Yleiskomitean puheenjohtajana toimi dipl.ins. Pauli Virtanen, kestoisuuskomitean puheenjohtajana toimi dipl.ins. P. Valkamo, Tulistinkomitean puheenjohtajana toimi insinööri P. Nokelainen ja emissiokomitean dipl.ins. Nils-Christian Berg.

Pauli Virtanen oli aktiivinen itsenäinen insinööri. Hän perusti oman yhden miehen toimistonsa Enerplanin. Pauli Virtasta on luonnehdittu yritysarkomaaniksi, jolla nortti paloi, ja perhe jäi soodakattilan jälkeen toiseksi. Viikot menivät soodakattiloiden vireyksissä ja viikonloput firman paperihommissa. Pauli Virtasesta on sanottu, että ilman häntä soodakattilayhdistyksellä ei olisi historiaa. Mies oli tulisieluinen soodakattilamies.

Päätoimikunnan tavoitteena oli edelleen saada jatketuksi ja tehostetuksi yhteistoimintaa ulkomaisiin järjestöihin. Tutkimustoiminnan tavoitteiksi määriteltiin soodakattiloiden kehittäminen mahdollisimman tehokkaiksi, taloudellisiksi, käyttövarmoiksi, turvallisiksi ja ympäristöystävällisiksi. Soodakattilan tehokkuutta ja taloudellisuutta parantaviksi toimiksi katsottiin muun muassa kattiloiden höyryn paineen ja koon kasvattaminen sekä ohjattavuusmahdollisuuksien kehitys. Käyttövarmuudessa pyrittiin putkiseinämien syöpymisen seuraamiseen, sen hidastamiseen oikealla materiaalivalinnalla ja likaantumisen vähentämiseen. Soodakattiloiden turvallisuuden ylläpitämiseksi ja parantamiseksi kehitettiin keinoja torjua kaas- ja sulavesiräjähdyksiä. Ympäristöystävällisyys nousi tuolloin ensimmäistä kertaa esille ja sitä varten perustettiin emissiokomitea, jonka päämääränä oli soodakattilan

päästöjen pienentäminen.

Soodakattilaohje päivitetään

Yleiskomitean tärkein toimintasektori oli soodakattilan käyttöturvallisuuskysymykset ja käyttövarmuus. Se käsitteli useissa kokouksissa työn alla olevia kattilaitosten turvallisuuskomitean KLT:n soodakattilaohjeita sekä muita samankaltaisia turvallisuusohjeita ja SFS-standardiluonnoksia niiltä osin, kuin ne liittyivät soodakattiloihin. Ohjeita kommentoidessaan yleiskomitea seurasi Ruotsissa julkaistuja vastaavia ohjeita ja pyrki omissa kannanotoissaan huomioimaan myös nämä ohjeet. Päivitetyt KLT:n soodakattilaohjeet julkaistiin maaliskuussa 1974 Ekono-sarjassa. Ohjeet eivät olleet pakollisia, mutta tarkastuslaitokset käyttivät niitä valvonnassa ja vakuutuslaitokset edellyttivät niiden noudattamista. Ohjeessa käsiteltiin muun muassa soodakattiloiden varustelua, käyttöä, tarkastusta ja valvontaa, tarkoituksena varmistaa soodakattilan turvallinen käyttö.

Komitea selvitti myös kyselyllä tietoja pika- tai hätäalasajoista, joiden suorittamistavasta oli soodakattilapiireissä kiistelty useita vuosia. Suurin keskustelua aiheuttanut asia oli koskenut lähinnä sitä, miten saadaan palaminen ja sulankehittyminen nopeimmin loppumaan, kun tarkoituksena on tehdä pikatyhjennys aiheuttamatta samalla muita riskitekijöitä kuten kaasuräjähdyks. Pikatyhjennysjärjestelmän käyttöönotto sai alkunsa vuonna 1966 USA:sta, missä eräs kattila vuodon sattuessa tyhjennettiin manuaalisesti ilman pikatyhjennyslaitteita ja mahdollisesti estettiin sulavesiräjähdyks. Tämän tapahtuman innostaman aloitettiin BLRBAC:n toimesta tarkemmat tutkimukset ja lokakuussa 1967 lisättiin BLRBAC:n seuraava kohta hätäalasajosuositukseen: kattila on tyhjennettävä vedestä mahdollisimman nopeasti kattilan valmistajan ohjeiden mukaan 8" korkeudelle pohjaputkien alimmasta kohdasta. Lokakuussa 1972 samaisiin ohjeisiin tehtiin seuraava lisäys: kun kattila on tyhjentynyt 8" korkeudelle, on se tehtävä paineettomaksi mahdollisimman nopeasti. Vastaava suositus on julkaistu Ruotsissa Sodahuskommittén toimesta vuonna 1973, jossa on tehty myös asiaan liittyviä kontrolloituja kokeita. Tarkoitus oli myös tehdä vastaavia kokeiluja myös Suomessa, mutta kokeilujen suorittamista vastustettiin yleiskomiteassa kokeisiin liittyvien riskien vuoksi, joten kokeiluohjelmasta päätettiin luopua ajatellussa laajuudessa.

Sularännitutkimuksen tavoitteeksi määriteltiin ohjeen ja suosituksen laatiminen turvallisesta ja kestävästä rännistä. Tavoite ajateltiin saavuttaa yhteenvedon laatimisella tehtaille tehdyn kyselyn vastauksista. Kyselyllä kartoitettiin sularännien käyttöarvoja, ominaisuuksia ja käyttökokemuksia. Sularännien kestävyden ja käyttöiän

todettiin kuitenkin olevan kiinni hyvin monista tekijöistä, että yksiselitteisiä parannusehdotuksia ei voitu antaa. Samaan tulokseen oli päädytty myös Ruotsissa tehdyissä tutkimuksissa.

Öljynpolttotutkimuksen tavoitteena oli saada aikaan ohje tai suositus soodakattilan käynnistysöljynpoltin turvallisuuden ja käytettävyyden lisäämiseksi. Tärkeänä osakysymyksenä pidettiin liekinvartijoiden luotettavan toiminnan varmistamista ja uuden liekinvartijatyyppin kehittämistä. Edellisen yhteistoimintajakson aikana tehdyssä kyselyssä selvisi että useilla tehtailla käynnistyspolttimet eivät ole varustettu liekinvartioilla, joka tarkoitti sitä että kaasuräjähdyksen vaara oli olemassa, varsinkin käynnistykseen ja käyntihäiriöiden aikana. Tärkeimpänä asiana suosituksessa todettiin, että poltin tulee tehdä rakenteeltaan sellaiseksi jotta voidaan käyttää tavanomaisten öljypoltinten varmistuksessa ja lukituksissa käytettyä tekniikkaa. Työn tuloksena primääri-ilma-aukkoihin työnnettävät poltinlanssit alkoivat poistua tehtailta. Tutkimuksessa todettiin myös että tavanomaisissa kattiloissa käytössä olleet UV-liekinvartijatyyppit toimivat ja uusien liekinvartijatyyppinen kehittäminen ei ole välttämätöntä.

Instrumentointipuolella selvitettiin mm. ultraäänen perustuvien vuodonilmaisimien käyttökelpoisuutta. Selvityksen perusteella todettiin, että kiinteä ilmaisin tuskin on käyttökelpoinen, mutta siirrettävää voitaneen käyttää aistihavaintojen täydentäjänä.

Yleiskomiteassa käsiteltiin tehtailta tulleet vaurio- ja häiriöraportit ja toimitettiin ne jäsenistölle pyrkien ennaltaehkäisemään vastaavia tapahtumia muualla.

Compound-putket havaittiin parhaiksi

Kestoisuuskomitea jatkoi entisellä työsarallaan, johon kuuluivat tulipesän putkien tarkastus- ja korjausmenetelmät, suojaussuosituksen ja uusien suojausmenetelmien kehittäminen sekä materiaalien laboratoriokokeiden jatkaminen. Tulipesämateriaalien kenttätutkimuksia jatkettiin useilla kattiloilla ja koeputkien seinämävahvuusmittauksia suoritettiin kestoisuuksien selvittämiseksi. Suojaussuositusta päivitettiin jatkuvasti sitä mukaan kun kenttätutkimuksista saatiin tuloksia, parhaaksi ja suositeltavimmaksi suojausmenetelmäksi pitkäkestoisissa kokeissa osoittautui SIS 2333 compound-putki, jonka kestoiksi saatiin yli kymmenen vuotta. Lisäksi tutkittiin päällehitsauksen, tapituksen ja liekkiruiskutuksen korjausta. Lisäksi komitea tutki ja teki yhteenvedon muun muassa pinnoitepaksuusmittareista.

Tulistinkomitealla keräsi tietoa tulistimiin liittyvistä ongelmakohdista edellisellä yhteistoimintajaksolla ja jatkoi tutkimustoimintaa muun muassa tulistinten likaantumista koskevan kokeen teettämisellä. Kaukaalla

tehdyssä diplomityössä rakennettiin pienoistulistinputkisto joka työnnettiin kattilan luukusta sisään ja näin saatiin tutkittua tulistimien likaantumista, nuohottavuutta eri menetelmillä ja lämmönsiirtoa. Lisäksi Kaukaalla suoritettiin tertiääritulistimen päälleruiskutuskoe Metcoloy-2-pinnoitteella, joka sisälsi 13% kromia. Pinnoite oli säilynyt tulistimien kylmemmässä osassa, mutta hävinnyt kuumimmasta osasta kolmen vuoden ajan jälkeen, joten sen käyttöä ei suositeltu. Toimintakauden loppupuolella komitea keskittyi lähinnä kattilan puhdistusongelmiin ja nimenomaan vesipesun käyttöön soodakattiloissa. Vesipesun todettiin olevan tehokkain soodakattiloiden seisokkipuhdistusmenetelmä, jota kannattaa käyttää, mikäli kattilan rakenne ei sitä estä. Lisäksi vesipesun ansiosta seisokkiaikaa voitiin lyhentää jopa päivillä verrattuna käsinpuhdistukseen.

Emissiokomitean työkenttänä olivat soodakattilan päästöjen pienentämiseen tähtäävät tutkimukset sekä viranomaisen toimenpiteiden arvioiminen. Ensimmäisenä työnä komitea teetti kyselyn ja laati yhteenvedon tehtailla suoritetuista päästömittauksista sekä selvitti käytössä olevia mittausten menetelmiä. Kyselystä selvisi että suurin osa tehtailla tehdyistä pöly- ja kaasumittauksista oli varsin suppeita. Myös mittausten menetelmissä nähtiin puutteita. Toimikauden aikana komitea teki luettelon saatavissa olevista kaupallisista jatkuvatoimisista mittareista, suoritti mittarikokeiluja sekä osallistui optisen pölymittauslaitteen kehittämiskustannuksiin. Lisäksi komitea seurasi ilmasuojelulainsäädännön etenemistä. Kovin paljon seurattavaa ei ollut. Oli vain yksi mietintö eikä mitään ajankohtaa lainsäädännön valmistumisesta ollut tiedossa. Emissionormit tulisivat vasta lainsäädännön jälkeen. Ruotsissa ilmasuojelulainsäädössä oltiin huomattavasti edellä, jo vuonna 1970 oli julkaistu raja-arvot soodakattiloiden pöly- ja rikkivetypäästöille.

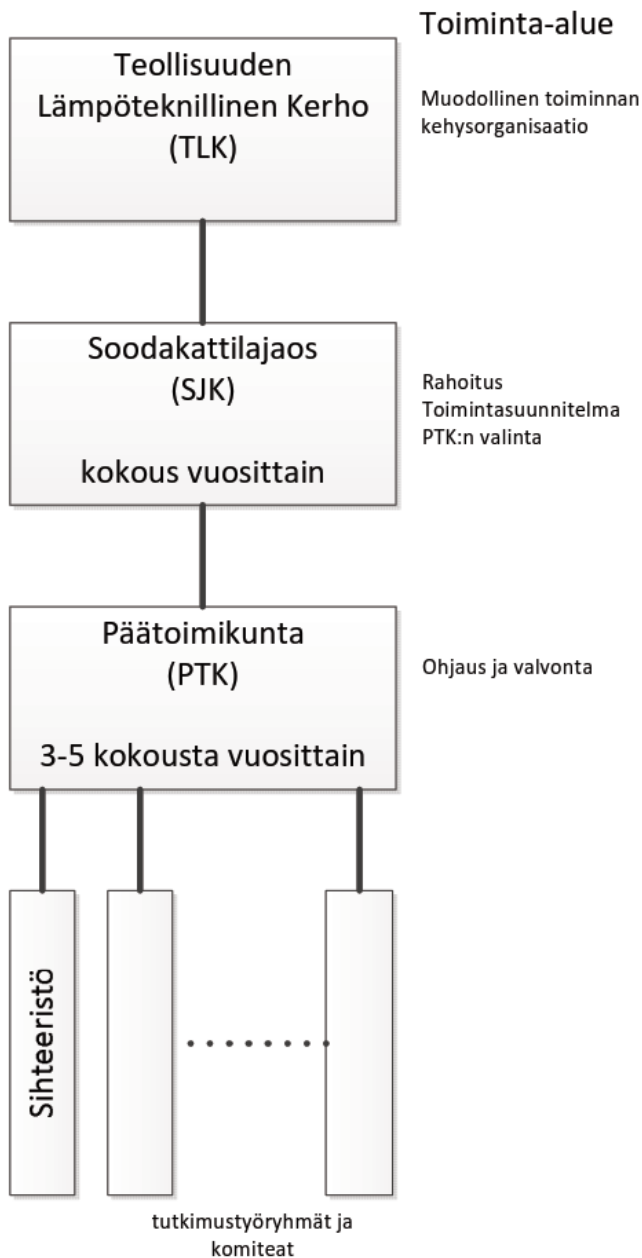
Toiminta jatkuvuusperiaatteelle

Soodakattilajaoksen kokouksessa lokakuussa 1974 käsiteltiin toiminnan jatkamista kolmevuotisen (1972-1974) yhteistoimintajakson jälkeen. Laaditussa ehdotuksessa tärkein muutos aikaisempaan käytäntöön oli toimintamuodon muuttaminen jatkuvaan jäsenyyteen perustuvaksi edellyttäen että jaoksen kokoonpano säilyi muuttumattomana, sillä soodakattila-alan yhteistoiminnan tehokas harjoittaminen edellyttää kaikkien asianomaisten mukanaoloa. Tällä tavalla ajateltiin pääsevän eroon uuden toimintajakson alkamisen hankaluuksista. Jäsenillä oli oikeus vuoden irtisanomisaajan kuluttua erota jaoksesta ja jos

irtisanoutumista tapahtui, toiminnan jatkamismahdollisuuksia harkittiin uuden tilanteen pohjalta.

Yhteistoiminnan rahoitus tapahtui soodakattilajaoksen jäsenmaksuilla, joiden suuruuden soodakattilajaos määritteli yksimielisellä päätöksellä. Tehtaiden jäsenmaksut perustuivat höyrytehoon kuten aikaisemminkin. Vuosittaisten jäsenmaksujen suuruus tarkastettiin joka kolmas vuosi. Toimintasuunnitelma lyötiin lukkoon jaoksen kokouksessa ja budjetti tarkistettiin vuosittain. Jaoksen puheenjohtaja, joka samalla toimi päätoimikunnan puheenjohtajana, sekä päätoimikunnan jäsenet valittiin vuosittain seuraavalle kalenterivuodelle. Päätoimikunnan vahvuus oli 5 teollisuudesta, 2 valmistajilta, 1 Keskuslaboratoriosta ja 2 Ekonosta, joista toinen oli päätoimikunnan sihteeri. Päätoimikunta nimitti työryhmiä tai komiteoita määrättyjä tutkimuksia tai projekteja suorittamaan. Päätoimikunta määritteli tutkimuksen tai projektin rajat, budjetin ja suoritusajan sekä valvoi työn edistymistä. Työn tultua valmiiksi työryhmä tai komitea hajotettiin.

Näiden periaatteiden pohjalta soodakattilajaos päätti helmikuussa 1975 Keskuslaboratoriossa pidetyssä kokouksessa jatkaa toimintaansa. Kokouksessa puheenjohtajaksi valittiin Esko Ahonen Rauma-Repola Oy:n Rauman tehtaalta. Vuosittaiseksi budjetiksi päätettiin 250 000 markkaa (200 000 vuoden 2014 euroa) seuraavaksi kolmeksi vuodeksi.



Kuva. Soodakattila-alan organisaatiokaavio vuonna 1975.

Kolmivuotiskausi 1975-1977

Ensi töikseen uusi päätoimikunta lopetti entisen organisaation mukaiset komiteat kestoisuuskomiteaa lukuunottamatta, sekä perusti emissiotyöryhmän jatkamaan emissiomittauksia. Muun tutkimustoiminnan päätoimikunta hoiti sihteeristön välityksellä.

Tulipesämateriaalien kenttätutkimuksia jatkettiin edelleen kestoisuuskomitean alaisuudessa. Elokuussa 1975 poistettiin SIS 2333 materiaalista valmistettu compoundputki Enso-Gutzeitin Kaukopään tehtaiden CE3-soodakattilan reduktiovyöhykkeestä lähes 8 vuoden testausajan jälkeen. Kyseisessä compound-putkessa ei tutkimuksissa havaittu lainkaan pinnon paksuuden ohenemista, joten voitiin todeta kyseisen materiaalin

olevan täysin kestävä kattilan reduktio-osan korroosio-olosuhteissa. Komitea suoritti myös metalliruiskeuspinnon paksuusmittauksia ja laati mittaussuunnitelman oikeasta suoritustavasta. Tulistinmateriaalien kenttätutkimuksia varten useisiin soodakattiloihin asennettiin ferriittisiä ja austeniittisiä tulistinputkimateriaaleja.

Keskuslaboratorio jatkoi myös korroosiotutkimuksia, nyt selvitetiin kloridin vaikutusta korroosioon tulistimien hapettavissa sekä tulipesän pelkistävässä olosuhteissa. Kokeissa havaittiin että lämpötilan vaikutus tulipesän oloissa alkaa vaikuttaa hiiliteräksellä voimakkaasti välillä 300–400 °C. Tulistinoiloissa korroosio kiihtyy 550 °C alkaen. Laboratorio- että tehdaskokeissa ruostumatonta teräs oli kaikilla tutkituilla kloridipitoisuuksilla hiiliterästä ja niukkaseosteisia tulistinteräksiä parempi korroosiokestävyydeltään.

Vuoden 1977 aikana kestoisuuskomitean toiminta hiljeni johtuen siitä että tulipesän korroosio oli saatu hallintaan ja alalla toimivat tutkimuslaitokset eivät olleet yhtä korroosio asioissa aktiivisia kuin aikaisemmin.

Vaurioutilastointi aloitetaan

Sihteeristön välityksellä hoidettiin kauden aikana useita projekteja. Edeltävällä kaudella aloitettua sularännitutkimusta jatkettiin suomalais-ruotsalaisena yhteistyönä. Ruotsissa suoritettiin kenttäkokeita kahdessa eri tehtaassa käyttäen sekä hiiliteräs- että compound-ränniä. Suomessa tutkittiin vesijäähdytteisen sularännin lämmönsiirtoa.

Pietarsaareissa suoritettiin pikatyhjennyskokeilu Ahlströmin valmistamalla uudella kattilalla sen koekäytön yhteydessä. Kattilassa ei ollut kokeen aikana lipeäpolttoa.

Kemissä Kemi Oy:n B&W kattilalla suoritettiin vesinuohouskoe. Kokeen tarkoituksena oli verrata tulistimien höyry- ja vesinuohouksen tehokkuutta keskenään kattilan normaalikäynnin aikana. Mittaustulosten perusteella vesinuohous osoittautui höyrynuohousta sekä tehokkaammaksi että taloudellisemmaksi. Vettä kului 1,5 tonnia vuorokaudessa nuohoukseen kun vastaava höyrynkulutus oli 12 tonnia höyryä vuorokaudessa ja nuohoustulos oli vedellä parempi.

Vuonna 1975 aloitettiin kolmen tilaston laadinta: vaurioutilasto, käyttöarvotilasto ja vikatilasto. Vaurioutilastoa varten laadittiin kaavake, jonka avulla raportoidaan tapahtuneista soodakattilaräjähdyksistä tai vaaratilanteista. Käyttöarvotilaston avulla voitiin verrata eri laitosten käyttöarvoja toisiinsa ja näin saada taustatietoa ongelmatilanteiden ratkaisuun. Vikatilastosta ajateltiin antavan tietoa lähinnä apulaitteiden vikatiheyksistä.

Vuonna 1976 aloitettiin alan kirjallisuuden seuranta yhteistyössä Sodahuskommittén kanssa. Vuoden aikana

jaettiin jäsenistölle kymmenen soodakattilatiedotetta sekä kirjallisuuskatsaus.

Emissiotyöryhmä jatkoi päästöjen parissa

Kolmivuotiskauden aikana emissiotyöryhmä suoritti päästömittauksia useilla tehtailla. Tavoitteena oli kartoittaa savukaasujen rikkidioksidi-, rikkivety- ja pölypäästöjä. Päästöjen todettiin vaihtelevan suuresti riippuen laitoksen iästä sekä laitekokoonpanosta, joten keskimääräisiä arvoja oli mahdoton antaa. Rikkidioksidipäästö kuivia kaasuja kohden vaihteli 100 - 4000 mg/m³(n), rikkivetypäästö 0 - 1500 mg/m³(n) ja pöly 50 - 1500 mg/m³(n) välillä. Suomessa ei vielä tuolloin ollut yhtenäistä lainsäädäntöä koskien soodakattiloiden päästöjä, joten lukuja verrattiin Ruotsin emissionormeihin. Rikkivedyn osalta ylitys oli pahimmillaan 150-kertainen, ohjearvo oli Ruotsissa 10 mg/m³(n). Pölyn suhteen vanhojen laitosten ruotsalainen ohjearvo oli 500 mg/m³(n), joka osassa suomen tehtaista ylitettiin kolminkertaisesti. Rikkidioksidin osalta ohjearvo oli 1500 mg/m³(n).

Jäsenistölle jaetussa raportissa todettiin että uusissa harpattomissa kattiloissa pöly- ja rikkivetypäästöt olivat suhteellisen helposti hallittavissa. Myös rikkidioksidin osalta tilanne on hyvä jos tehtaalla on käytössä savukaasupesuri, jossa pesunesteen alkalointiin käytetään natriumhydroksidia. Suurimmat vaikeudet päästöjen suhteen on vanhoissa harpallisissa soodakattiloissa, joissa rikkivedyn pitoisuuksia on erittäin vaikea pienentää tasolle, jota eri maissa olevat normit edellyttävät. Lisäksi vanhojen kattiloiden sähkösuodattimet on yleensä mitoitettu suhteellisen vaatimattomasti ja kun vielä kattiloita usein ajetaan suunnitteluarvoa suuremmalla kuormalla, myös pölypitoisuudet ovat melko korkeat.

Ilmansuojelulaki eteni verkkaisesti

1970-luvulla ilmansuojelulainsäädäntö oli kansainvälisesti ajateltuna arkipäiväistä. Iso-Britanniassa luotiin ilmansuojelu lainsäädäntö vuonna 1956, Yhdysvalloissa 1963, Ruotsissa 1969 ja Saksassa 1971. Suomessa ilmansuojelun valmistelu käynnistettiin 1970-luvun alussa sisäministeriössä, jolle ympäristönsuojeluun liittyvät tehtävät kuuluivat. Ilmansuojelulakia valmisteltiin useissa neuvottelu- ja toimikunnissa, mutta aikaansaadun lakiluonnoksen eteneminen pysähtyi ristiriitoihin eri intressiryhmien välillä.

Vuonna 1974 aloitettiin lain valmistelu uudestaan sisäministeriön ympäristönsuojeluosastolla, mutta puoluepoliittiset ristiriidat pysäyttivät hankkeen edistymisen puoleksi vuosikymmeneksi. Maalaisliitto kamposi ympäristöasioiden hoitoa maa- ja metsätalousministeriönalaisuuteen, kun taas sosiaalidemokraatit ajoivat erityisen ympäristöministeriön perustamista. Uuden ministeriön perustamista kakisteltiin

ja ilmansuojelulaki jäi puristuksiin poliittiseen pattitilanteeseen.

Vuonna 1982 Ilmansuojelulaki ja -asetus astuvat vihdoin voimaan ja sellutehtaiden tuli jättää ilmansuojelulain mukaiset ilmoituksensa lääninhallituksille vuonna 1984. Kuitenkin vuoteen 1990 mennessä vasta puolet oli saanut päätöksensä.

”Reijo Kiuru: Päätoimikunta hoiti hallinnollisen ohjauksen”

”Minut valittiin päätoimikuntaan Varkauden kokouksessa 1976 – olin siinä vuoteen 1994. Päätoimikunta oli hallitus, joka hoiti hallinnollisen ohjauksen työryhmittäin. Kestoisuustoimikunta on ollut tärkein. Kokouksia oli kerran pari vuodessa. Jäsenet oli valittu siten, että oli viisi teollisuuden käyttäjän edustajaa – kattilapuolella oli kaksi eli Ahlström ja Tampella. Sitten oli KCL ja hyvin läheinen Ekono – sihteeristö ja juoksevat asiat hoidettiin Ekonossa. Sihteeri teki kovaa työtä järjestellessään muun muassa Tekesin rahoitusta Soodakattilayhdistyksen projekteille”, Reijo Kiuru kertoi.

”Soodakattilayhdistys oli aloittanut toimintansa Teollisuuden lämpöteknillisen kerhon soodakattilajaoksena. Jaos poikkesi muista jaoksista siinä, että sillä oli oma vuosibudjettinsa ja heti alkuun myös omaa tutkimustoimintaa. Rahoitus perustui alkuun jäsen tehtäiden vuosimaksuihin. Soodakattilajaoksen perustamisajatuksena oli ylläpitää ja parantaa suomalaisen selluteollisuuden ja soodakattilavalmistajien kilpailukykyä maailmalla. Hyvä kysymys oli, alettiinko kansainvälistä näkyvyyttä hakea julkaisuilla vähän liikaakin.”

”Kysymys oli siitä, että suomalaiset soodakattilaoisaajat pelkäsivät tiedon valuvan kilpailijamaihin, joiden katsottiin olevan jäljessä suomalaisista”, Kiuru sanoi.

”Tietoa oli kuitenkin valunut maailmalle ja valui edelleen. Ollessani paperi-insinöörien opintomatalla Brasilian sellutehtaita kiertämässä, kysyimme isänniltä voimmeko kuvata kohteita, meille sanottiin, että kuvatkaa vain vapaasti, teiltähän olemme nämä asiat oppineet.”

Arto Aaltonen: Yhteistyö alkuun taloudellisesti pienimuotoista

”Valmistuin Åbo Akademista vuonna 1973 kemiallis-teknisestä tiedekunnasta. Diplomityöni 1970–1971 käsitteli haihduttamon likaantumista. Kehittelin on-line tietokoneohjelmaa, jolla likaantumista voisi seurata. Menin 1974 alkuvuodesta Ekonoon töihin. Niihin aikoihin jouduin soodakattilayhteistyön sihteeriksi. Esimieheni oli Tom Roos, joka oli edellinen sihteeri”, dipl.ins. Arto Aaltonen kertoi.

”Yhteistyötoiminta oli tuohon aikaan yllättävän pienimuotoista ja taloudellisesti vaatimatonta verrattuna muiden maiden vastaavaan toimintaan. Jäsenet maksoivat jäsenmaksut höyryarvojen mukaan kuten Ekonossakin.”

”Ruotsin Sodahuskommittén kokouksessa pidin esitelmän soodakattilan sularännien kestävydestä tehdystä tutkimuksesta. Mitään logiikkaa vauriotumiseen ei kyselyjen perusteella löydetty.”



Arto Aaltonen toimi sihteerinä 1970-luvulla.

Taisto Haasiosalo Aaltosen jälkeen sihteeriksi

”Valmistuin diplomi-insinööriksi helmikuussa 1973. Työskentelin pari vuotta metsäteollisuuden palveluksessa. Ekono Oy:n palvelukseen tulin marraskuun puolivälin jälkeen 1974. Kun Arto Aaltonen, joka oli hoitanut oman toimensa ohella soodakattilajaoksen päätoimikunnan sihteerin tehtäviä, siirtyi muihin tehtäviin 1976, perin häneltä nämä tehtävät oman toimeni ohelle”, Taisto Haasiosalo kertoi.

”Sihteerin tehtäviin sisältyivät jaoksen tilinpitoa ja toiminnan ohjausta, vuosikertomusten laadintaa, päätoimikunnan kokousten ja konemestaripäivien järjestelyä sekä ulkomaisten yhteyksien hoitoa. Tehtäviin kuuluivat myös soodakattilajaoksen erillisselvitykset, kuten käyttöarvo-, vikatilastointi- ja vaurioraporttien laadinta sekä laitosten käyttöturvallisuuteen ja järjestelmien kehittämiseen liittyvä toiminta. Kirjoitin myös pari artikkelia soodakattilajaoksen työn tuloksista kansainvälisiin alan lehtiin.”

”Osallistuin myös Suomen Paperi-Insinöörien Yhdistyksen Puumassan valmistus II-oppikirjan päivitykseen. Keittoliemen regenerointi, soodakattilat ja liemikattilat olivat minun vastuullani vuonna 1980. Suurimman osan tästä työstä tein lähdettyäni Ekono Oy:n

palveluksesta toukokuun lopulla 1980. Samoin jatkoin Tom Hindsbergin diplomityön ”Soodakattilan sulanhajitusmenetelmien vertailu” ohjaamista työpaikan vaihdon jälkeenkin. Kun lähdin Ekono Oy:n palveluksesta 1980, suosittelin, että DI Antti Jaakkola ottaisi soodakattilajaoksen päätoimikunnan sihteerin tehtävät hoitaakseen. Näin sitten tapahtui.”



Taisto Haasiosalo toimi sihteerinä Arto Aartosen jälkeen.

LIITE 8

**Soodakattilan operaattoreiden kokemustenvaihtopäivät,
ohjelmaluonnos 2.12**

OHJELMA

Kello

1. Päivä

10.00 – 10.30	Kahvi ja tilaisuuden avaus. Toiveiden ja tavoitteiden kartoitus Martin Wikström LMW Consulting Oy
10.30 – 12.00	Tiedonsiirto, tulevaisuuden koulutuksen haasteet mm. pidentyvien ajojaksojen, moniosaamisen, eläköitymisen seurauksena. Millaisia vaatimuksia painelaitelaki asettaa painelaitetta käyttäville? Martin Wikström
12.00 – 13.00	Lounas
13.00 – 14.30	Käytännön kokemuksia havainnoista tarkastuskäynneiltä Kalle Salmi
14.30 – 14.45	Kahvi
14.45 – 17.00	Kalle Salmi jatkaa edellisellä aiheella johtaen keskustelua päivien aiheeseen liittyen. Käydään läpi aiheita jotka esitettiin ohjelman mukana kysymyksinä.
17.30 – 18.45	Saunomismahdollisuus Epävirallinen kehittäminen
19.00 –	Päivällinen

2. Päivä

8.30 – 09.45	Kokemuksia soodakattiloiden ongelmratkaisista Kari Haaga
09.45 – 10.00	Kahvi
11.30 – 12.30	Lounas
12.30 – 14.00	Kari Haaga jatkaa edellisellä aiheella johtaen keskustelua päivien aiheesta ja ohjelman liitteen mukaisista kysymyksistä. Loppukeskustelu, arviointi ja tilaisuuden päätös

LIITE 9

**KTR: VTT Projektitarjous : Hitsauspinnoitettujen putkien käyttö
soodakattiloissa, tarjous/tutkimussuunnitelma 4.9.2015**

Hitsauspinnoitettujen putkien käyttö soodakattiloissa

Tausta

Kompound-putkia on käytetty menestyksellisesti soodakattiloissa 70-luvulta lähtien, aluksi kattilan pohjalla ja alaosissa, ja myöhemmin rakennusasteiden noustessa ja käyttöolosuhteiden muuttuessa myös tulistimissa. Compound-putkien pinnoitemateriaalit valitaan käyttö/korroosio-olosuhteiden mukaan. Tällä hetkellä soodakattiloissa käytetään mm. AISI 304L, Sanicro38/Alloy 825/HR11N, AISI 310, Sanicro28 ja Alloy625/Sanicro67/Super625 compound-putkia. Perinteisesti compound-putket on valmistettu kuumapursotuksella (Sandvik ja Nippon Steel & Sumitomo Metal). Viimeaikoina markkinoille on tullut useita toimittajia, jotka tarjoavat hitsauspinnoitettuja putkia. Hitsauspinnoitetut putket on koettu kiinnostavaksi vaihtoehdoksi, koska ne ovat hinnaltaan edullisempia kuin perinteiset compound-putket, mutta käyttöä rajoittaa tällä hetkellä käyttökokemusten puute sekä epävarmuus eräistä valmistettavuuteen liittyvistä kysymyksistä (esim. putken taivutus, liitoshitsaukset)

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää hitsauspinnoitettujen putkien käytettävyyttä soodakattilan tulipesässä (alaosassa) ja tulistinalueella. Aiemmin tehdyissä materiaaliselvityksissä aihetta on sivuttu, mutta laajempaa tutkimusta erilaisten pinnoitushitsattujen soveltuvuudesta (valmistustekniset haasteet, tarkastuskriteerit, korjaushitsaukset ja käytettävyyys) ei ole tehty.

Tutkimuksen sisältö ja toteutus

A. Kirjallisuusselvitys, kattilavalmistajien kokemukset

Kartoitetaan hitsauspinnoitettujen putkien valmistajat ja saatavilla olevat yleisimmät materiaaliveitohdot. Erityistä huomiota pyritään kiinnittämään komponenttien/kattilaosien osien valmistusteknisiin kysymyksiin ja aikaisempiin käyttökokemuksiin. Kattilavalmistajien (Andritz, Valmet) ja mahdollisuuksien mukaan myös muiden KTR:n jäsenten kokemuksia kartoitetaan haastatteluin. Lisäksi hyödynnetään jätteenpolttolaitoksista (mm. PREWIN network, www.prewin.eu) saatavia käyttökokemustietoja.

Selvitettäviä tekijöitä mm.

- Materiaalien saatavuus & valmistajat, nykyiset käyttökokemukset
- Valmistustekniikan haasteet (esim. muokattavuus, lämpökäsittelyt, liitoshitsaukset)
- Suunnittelu- ja tarkastuskriteerit, korjaushitsaukset
- Hintavertailu käytössä oleviin muihin ratkaisuihin

B. Karakterisointitutkimukset

Karakterisoidaan kirjallisuusselvityksen perusteella valitut (4-6 kpl) eri valmistajien hitsauspinnoitetut putket tavoitteena selvittää, onko eri materiaalien ja/tai valmistajien putkissa merkittäviä eroja.

Selvitettäviä tekijöitä mm.

- Mikrorakenne, kovuus ja koostumus: Eri hitsaus-/valmistusmenetelmien erot (palkojen sijoittelu/muoto – pinnan karheus, sekoittumisaste jne..)
- Materiaalien vanheneminen, herkistyminen sekä vaikutukset käyttöominaisuuksiin: Kylmämuokkaus ja sen vaikutukset mikrorakennemuutoksiin, kiihdytetty vanhennuskokeet (esim. 500, 600 °C; 100, 300 ja 1000 h, perinteinen compound vrs hitsauspinnoite)
- Liitosten karakterisointi: Hitsauspinnoitetun rakenteen suojaavuuden säilyminen liitospinnan yli sekä erilaisten terästen sekoittumisen aiheuttamat haasteet. Valmistaja toimittaa liitokset

C. Jännityskorroosio

Selvitetään hitsauspinnoitettujen putkien jännityskorroosiotaipumusta simuloiden kattilan ylösajoa (25 °C → 190/250 °C → 25 °C), kun pohjaputket ovat kosketuksissa alkalisen sulfidipitoisen keon kanssa.

- Keon koostumuksen vaikutus jännityskorroosioalttiuteen Na_2S , $\text{Na}_2\text{S}+\text{NaOH}$, $\text{Na}_2\text{S}+\text{NaOH}+\text{Na}_2\text{CO}_3$ (kidevedelliset suolakokeet).
- Kiinnitetään huomiota siihen, miten materiaaliominaisuudet ja valmistustekniikat vaikuttavat jännityskorroosioalttiuteen

Tulosten raportointi

Tulokset raportoidaan suomen- tai englanninkielisenä tutkimusraporttina.

Aikataulu

Osio A – Kirjallisuusselvitys, kattilavalmistajien kokemukset toteutetaan vuoden 2015 loppuun mennessä

Osio B – Karakterisointitutkimukset, tilauksesta 6 kk sisällä (keston vaikuttavat näytemäärä sekä laajuus, jotka päätetään kirjallisuusselvityksen johtopäätösten perusteella)

Osio C – Hitsauspinnoitettujen putkien jännityskorroosio- ja kokeet

Kustannusarvio (karkea ja alustava)

Osa A: 12 k€

Osa B: 10 - 20 k€ (riippuen näytemäärästä ja laajuudesta, kirjallisuusselvityksen pohjalta)

Osa C: 15 - 20 k€ (riippuen näytemäärästä)

Yhteyshenkilöt

Satu Tuurna p. 020 722 6488, e-mail satu.tuurna@vtt.fi ja Sanni Yli-Olli p 020 722 6842; e-mail sanni.yli-olli@vtt.fi

LIITE 10

**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 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

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, including recovery boilers.

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. By keeping authorship within the laboratory of inorganic chemistry we are better able to provide a more uniform book and to better control the timeline. 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). Attached is the currently planned Table of contents which has been reviewed by representatives of the mentioned companies.

The amount applied for from SKY is 20 000 euro. We are asking for a similar amount from IFRF and will be looking for additional 1-2 funders. The funding applied for would be used to cover cost for writing and editing of the book.

"Combustion Chemistry" book

Table of contents

1. Introduction
 - 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. Fuel Analysis and Burning Characteristics
 - 2.1. Why is fuel characterization important - implications for practical boiler design and operation
 - 2.2. Burning of solid and char forming fuels – stages of combustion
 - 2.3. Proximate analysis
 - 2.4. Ultimate analysis
 - 2.5. Elemental analysis
 - 2.6. Ash and ash-forming matter
 - 2.7. Heating value
 - 2.8. A look at selected fuels – their characteristics, similarities and differences
 - 2.8.1. Coal, Wood, Torrefied biomass, Pyrolysis oil, Agro fuels, RDF, ...
3. Gas burning - fundamental gas flames
 - 3.1. Premixed flame
 - 3.2. Non-premixed / diffusion flame
4. Combustion Technologies – principles and practice of selected fuel conversion techniques
 - 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"
 - 5.1. Stoichiometry / mass and energy balances
 - 5.1.1. Air factor
 - 5.1.2. Flue gas calculation
 - 5.1.3. Adiabatic flame temperature
 - 5.2. Chemical equilibrium
 - 5.3. Kinetics
 - 5.3.1. Gas phase kinetics
 - 5.3.2. Char oxidation kinetics
 - 5.4. Mixing - mass transfer in combustion
6. Emissions
 - 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
 - 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

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

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.

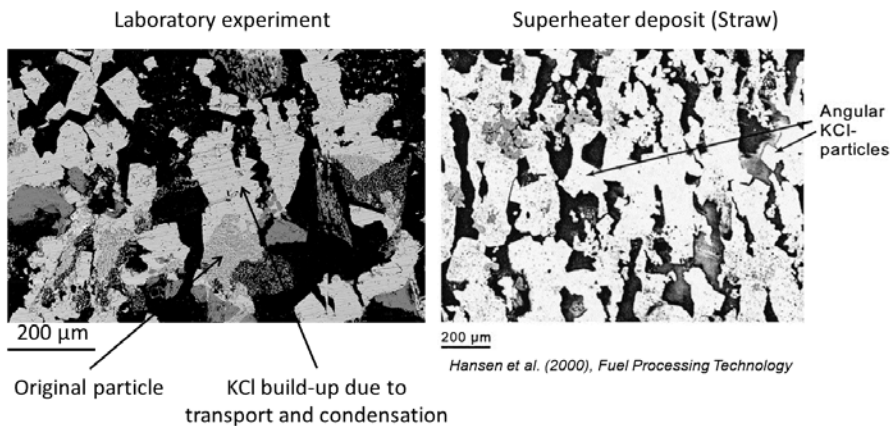


Figure 1. SEM/EDX deposit cross section images from laboratory experiments and boiler deposits showing localized build-up of KCl within deposits due to temperature gradient induced transport.

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

Kirsi Hovikorpi –jatko-opintosuunnitelma 7.12.2015

Nimi: Kirsi S. Hovikorpi

Tiedekunta: Teknillinen tiedekunta

Laitos: Energiatekniikan laitos

Tutkimusala: 4655 Uusiutuvat energiajärjestelmät

Jatko-opintojen ohjaaja: Esa Vakkilainen

OPINNOT

Tutkimusalan opinnot

	Suoritustapa	Laajuus (op)	Suunniteltu suoritusajankohta
Kraft recovery boilers – Principles and practice	Kirjatentti	4	2016
Introduction of Energy Analysis	Luennot ja tentti	6	2016
<i>KyAMK jatko-opinnot: soodakattilasimulaattori</i>	<i>2003-2004</i>	4	<i>2003-2004</i>
BH10AJ100 Postgraduate Course in Energy Technology		6	2017 tai 2018
Combustion course, Åbo Akademi	tentti	6	2017
Steam generation from biomass	Kirjatentti	4	2017 tai 2018
Yhteensä		30	

Tutkimusalaa tukevat opinnot

	Suoritustapa	Laajuus (op)	Suunniteltu suoritusajankohta
BH20AJ105 Introduction to Technical and Scientific Writing		4	2017
Ammatillinen opettajapätevyys	<i>TAOKK 2003</i>	5	2003
BM20A3401 Design of Experiments		4	2018
Yhteensä		13	

Nimi: Kirsi S. Hovikorpi

Tiedekunta: Teknillinen tiedekunta

Laitos: Energiatekniikan laitos

Tutkimusala: 4655 Uusiutuvat energiajärjestelmät

Jatko-opintojen ohjaaja: Esa Vakkilainen

Esitiedot

	Suoritustapa	Laajuus (op)	Suunniteltu suoritusajankohta
BH61A0500 Puunjalostusteollisuuden energiatalous	Luennot ja tentti	6	2016 tai 2017
BA20A6800 Teknillinen termodynamiikka	Avoin yliopisto: luennot, itseopiskelu ja tentti	5	2017 tai 2018
BH40A1400/BH40A1450 Virtaustekniikka I ja II	Avoin yliopisto: luennot, itseopiskelu ja tentti	5	2017 tai 2018
BH50A0500 Poltto- ja kattilatekniikan perusteet	Avoin yliopisto: luennot, itseopiskelu ja tentti	5	2016 tai 2017
BH50A0800 Höyrykattilatekniikka	Avoin yliopisto: luennot, itseopiskelu ja tentti	8	2018-2019
BH60A2200 Air Pollution Control tai BH60A0450 Kaasumaisten päästöjen hallinta	Avoin yliopisto: luennot, itseopiskelu ja tentti	3	2016 tai 2017
BH20A0450 Lämmönsiirto	Avoin yliopisto: luennot, itseopiskelu ja tentti	3	2017 tai 2018

Nimi: Kirsi S. Hovikorpi

Tiedekunta: Teknillinen tiedekunta

Laitos: Energiatekniikan laitos

Tutkimusala: 4655 Uusiutuvat energiajärjestelmät

Jatko-opintojen ohjaaja: Esa Vakkilainen

TUTKIMUSSUUNNITELMA

xx

Background

xx

Objective

xx

Schedule

The research will process within the schedule of the planned articles, expected graduation being in 2020 or 2021.

KANSAINVÄLISTYMISSUUNNITELMA

Vaihtojakso ajoittuu noin vuodelle 2018. Mahdollinen vaihtokohde Englanti (Anglia Ruskin University, Cambridge).

JULKAISUSUUNNITELMA

Artikkeli 1: Poikkeustilanteissa toimiminen (by-pass, varapolttopaikat, ajoittaiset koestukset)

Artikkeli 2: Toiminnan turvaaminen normaalitilanteessa

Artikkeli 3: Uusien hajukaasukäsittelyjen mahdollisuudet

Artikkeli 4: Eri sellutehdasosastojen päästöjen karakterisointi (vanhoissa ja green field tehtaissa)

Artikkeli 5: Mäntyöljykeittämön höngät (määritelmä ja käsittelyt)

Artikkeli 6: Hajukaasujen keräilyyn, määriin ja pitoisuuksiin vaikuttavat tekijät

Artikkeli 7: avoin

JATKO-OPINTOJEN RAHOITUSSUUNNITELMA

Opinnot suoritetaan työn ohessa. Stipendit ja muiden tahojen rahoitus.