

Suomen Soodakattilayhdistys ry

Aerosolit mustalipeän poltossa

**AEROSOLIMITTAUKSET
OY METSÄ-BOTNIA AB KEMIN
TEHTAIDEN SOODAKATTILALLA**

SPL-18717V-03

**AEROSOLIMITTAUKSET OY METSÄ-BOTNIA AB KEMIN TEHTAIDEN
SOODAKATTILALLA**

osa 2 loppuraportti

1. JOHDANTO
2. TUTKIMUKSEN TAUSTAA
3. TUTKIMUKSEN TAVOITE
4. MITTAUKSIEN TOTEUTUS
5. MITTAUSTULOKSET
 - 5.1 KAASUPITOISUUDET
 - 5.2 HIUKKASTEN KOKONAISPITOISUUDET JA PITOISUUDET
KOKOLUOKITTAIN
 - 5.3 HIUKKASTEN KOKOJAKAUMAT
 - 5.4 HIUKKASTEN KOOSTUMUS
 - 5.4.1 VESILIUKOISET IONIT
 - 5.4.2 HIVENMETALLIPITOISUUDET
6. JOHTOPÄÄTÖKSET
7. YHTEENVETO
8. LIITTEET

1. JOHDANTO

Aerosolit ovat kaasujen, höyryjen sekä nestemäisten ja kiinteiden hiukkasten dynaaminen seos, jossa hiukkaset, kaasut ja höyryt reagoivat keskenään sekä jatkuvasti muodostavat uusia hiukkasia. Nämä hiukkaset voivat edelleen reagoida kaasujen tai höyryjen kanssa sekä kasvaa agglomeroitumalla ja koaguloitumalla. Soodakattilassa mustalipeän palaminen on aerosoliprosessi. Pisan kuivuessa, pyrolysoituessa ja jäännöskoksin palaessa vapautuu orgaanisia ja epäorgaanisia aineita. Näiden synnyttämien kaasujen, höyryjen ja hiukkasten dynamiikkaa voidaan kuvata aerosoliprosessina.

Mustalipeän palamisen aerosolitutkimuksessa on selvitetty natriumin, kaliumin, rikin ja hiilen muodostamien hiukkasten ja kaasujen synty- ja kasvumekanismia. Soodakattiloiden savukaasuissa on hiukkasia (pölyä) jopa 30 g/Nm^3 ennen sähkösuodatinta. Nämä hiukkaset aiheuttavat tukkeutumis- ja likaantumisongelmia soodakattiloiden lämmönvaihtopinnoille. Samalla hiukkasten muodostuessa aerosoliprosessissa sitoutuu mm. rikkiä, mikä taas säätelee kattilan rikkidioksidipäästöjä.

Kemikaalikiertojen sulkeutuessa soodakattilalle tulevassa mustalipeässä on lisääntyviä määriä kemikaaleja, joiden vaikutusta hiukkasten, höyryjen ja kaasujen syntymiseen ja muuntumiseen, ja siten myös kattilan ajettavuuteen ja likaantumiseen ei vielä tunneta. Tarkasteltaessa aerosolien muodostumista, soodakattilan likaantumista sekä päästöjä saattaa näillä vieraila aineilla olla merkittäviä vaikutuksia esim. rikin sitomismekanismiin tai pinnalle tarttuneiden hiukkasten edelleen muuttumiseen.

2. TUTKIMUKSEN TAUSTAA

'Aerosolit mustalipeän poltossa' -projekti on osa LIEKKI 2 tutkimusohjelmaa. Tutkimuksen tavoitteena on selvittää aerosolien muodostus, muuntuminen ja kasvu mustalipeän poltossa.

Tutkimuksessa on tehty aerosolimittauksia kahdella tuotantokäytössä olevalla soodakattilalla. Tässä raportissa käsitellään lähinnä Oy Metsä-Botnia Kemin tehtaiden soodakattilalla syyskuussa 1993 tehtyjä mittauksia. Vertailuna on tarkasteluun otettu mukaan myös Veitsiluoto Oy:n Oulun tehtaiden soodakattilan mittaustulokset.

Oy Metsä-Botnia Ab Kemin tehtaiden soodakattilan nimelliskuorma on 2600 tonnia mustalipeää / vrk ja nimellishöyryntuotanto 108 kg/s (85 bar, 480°C). Soodakattilalla on otettu käyttöön mustalipeän haihdutus jopa 90 % kuiva-ainepitoisuuteen. Lisäksi lipeään sekoitetaan jätevesien biologisessa käsittelyssä syntynyt bioliete, joka haihdutetaan mustalipeän mukana ja poltetaan soodakattilassa. Soodakattilan tulipesään syötetään myös prosessista kerätyt hajukaasut. Soodakattilan savukaasujen puhdistukseen hiukkasista käytetään kolmea rinnakkaista sähkösuodatinta, joissa jokaisessa on kolme peräkkäistä kammiota. Savukaasujen rikin puhdistukseen käytetään alkalista savukaasupesuria.

Veitsiluoto Oy:n Oulun tehtaiden soodakattilan nimelliskuorma on 1600 tonnia mustalipeää / vrk ja nimellishöyryntuotanto 68 kg/s (82 bar, 480°C). Soodakattilassa poltetaan prosessista kerätyt laimeat hajukaasut tertiääri-ilman seassa. Savukaasuista puhdistetaan hiukkasmaisia epäpuhtauksia kahdella rinnakkaisella sähkösuotimella, joissa jokaisessa on kolme peräkkäistä kammiota. Savukaasujen rikinpuhdistukseen käytetään alkalista savukaasupesuria.

3. TUTKIMUKSEN TAVOITE

Tutkimusprojektissa mitattiin vuonna 1992 Veitsiluoto Oy:n Oulun tehtaiden soodakattilan aerosoleja. Ensimmäinen mittausjakso oli esimittaus, jossa mitattiin yhdestä mittapistestä savukaasujen SO₂-pitoisuutta, hiukkaspitoisuutta ja kokojakaumaa, sekä kokeiltiin aerosolimittalaitteiden soveltuvuutta soodakattilaolosuhteisiin. Toisella mittausjaksolla selvitettiin puuraaka-aineen vaikutusta aerosolien muodostumiseen ja sähkösuotimen erotuskykyyn.

Syyskuun 1993 mittausjakson tavoitteena oli selvittää Oy Metsä-Botnia Ab Kemin tehtailla tehtyjen prosessimuutosten vaikutusta soodakattilassa muodostuneisiin aerosoleihin. Korkeakuiva-aineisen mustalipeän vaikutusta verrattiin polttamalla samasta keittotilanteesta saatavaa mustalipeää 73 %:n ja 83 %:n kuiva-ainepitoisuuksissa. Lisäksi tarkasteltiin havu- ja sekalipeän vaikutusta. Sähkösuodattimen tehokkuutta tarkasteltiin mittaamalla hiukkaspitoisuutta ennen ja jälkeen sähkösuodattimen eri ajotilanteissa.

Tutkimuksen tavoitteena on myös selvittää kemikaalikierron sulkeutumisen vaikutuksia palamiseen tarkastelemalla mustalipeän sekaan ajetun biolietteen mukana tulevien aineiden vaikutusta soodakattilan aerosoleihin. Erityisenä kiinnostuksen kohteena on kloorin ja fosforin esiintyminen aerosoleissa. Biolietettä ajettiin mustalipeän sekaan koko mittausjakson ajan ja hajukaasujen poltto oli myös käytössä kaikissa ajotilanteissa.

Aerosolien synty- ja kasvumekanismeja tarkasteltiin mittaamalla mustalipeän palamisessa syntyneiden hiukkasten (pölyn) kokonaismäärä, hiukkaskokojakauma ja koostumus eri kokoluokissa sekä eri kaasukomponenttien pitoisuus savukaasuissa.

4. MITTAUKSIEN TOTEUTUS

Aerosolikokeet Oy Metsä-Botnia Ab:n Kemin tehtaiden soodakattilalla tehtiin 6.-10.9.1993. Tässä raportissa on myös verrattu Veitsiluoto Oy:n Oulun tehtaiden soodakattilalla kesä- ja marraskuussa 1992 aerosolimittauksista saatuja tuloksia. Mittausmenetelmät ja -paikat on esitetty liitteessä 8.1.

Mittauksiin ja analyysihin ovat osallistuneet Oy Metsä-Botnia Ab:n ja Veitsiluoto Oy:n lisäksi A. Ahlstrom, ABB Fläkt, Ilmatieteenlaitos ja Tampella Power Oy.

Mittausjaksolla kattilan ajotilanne pyrittiin pitämään mahdollisimman vakaana Veitsiluoto Oulussa noin 1800 tka/d havulipeällä ja 1200 tka/d koivulipeällä sekä MB-Kemissä noin 2200 tka/d. Taulukot kattilan käyttöolosuhteista ovat liitteenä 8.2.

5. MITTAUSTULOKSET

5.1 KAASUPITOISUUDET

Kaasupitoisuuksia seurattiin osana soodakattilan jatkuvaa valvontaa, Tampella Power Oy:n mittalaitteilla sekä osana ABB Fläktin kaasumittauksia. Kaasut mitattiin jatkuvatoimisilla kaasuanalysointilaitteilla. Mittausjaksojen keskiarvot on esitetty taulukoissa 1 ja 2. Havulipeän polttojaksoilla kaasupitoisuuksien arvot olivat melko vakaat. Kummallakin soodakattilalla koivu- ja sekalipeän poltossa SO₂-arvot vaihtelivat melko paljon.

mustalipeän ominaisuudet		havulipeä, 71 % kuiva-aine	havulipeä, 71 % kuiva-aine	koivulipeä, 69 % kuiva-aine
mittausjakso		6/92	11/92	11/92
O ₂	%	3.0	3.0	4.0
CO	ppm	200	300	120
CO ₂	%	-	16	16
SO ₂	ppm	30	30	1000
NO _x	ppm	-	80	100
C _x H _y	ppm	-	7.5	1
hiukkaspitoisuus < 3 µm	g/Nm ³	14	11	7
kokonais-hiukkaspitoisuus	g/Nm ³	19	18	19

Taulukko 1. Veitsiluoto Oy:n Oulun tehtaiden soodakattilan aerosolimittausjaksoilla mitatut kaasupitoisuudet.

mustalipeän ominaisuudet		havulipeä, 83 % kuiva-aine	havulipeä, 73 % kuiva-aine	sekalipeä, 81 % kuiva-aine
O ₂	%	4.0	4.0	4.0
CO	ppm	< 10	< 10	< 10
CO ₂	%	15	15	16
SO ₂	ppm	< 100*	100	50
NO _x	ppm	< 100	< 100	< 100
kokonais-hiukkaspitoisuus	g/Nm ³	11	9	8
kokonais-hiukkaspitoisuus	g/Nm ³	20	14	26

*SO₂ -pitoisuus korkea ajoviritysten keskeneräisyyden vuoksi

Taulukko 2. Oy Metsä-Botnia Ab:n Kemin tehtaiden soodakattilan aerosolimittausjaksoilla mitatut kaasupitoisuudet.

Tampella Power Oy mittasi lähes koko mittausjakson ajan O₂-, CO₂- ja CO-pitoisuuksia kuivissa kaasuissa sekä SO₂-, NO_x- ja NO-pitoisuuksia kosteissa kaasuissa. Tulokset mittau ajanjaksolle on esitetty liitteessä 8.3.

ABB Fläkt mittasi kaasun O₂ ja H₂O-pitoisuuksia, savukaasun tiheyksiä, virtausmääriä sekä lämpötiloja. Tulokset on esitetty liitteessä 8.4.

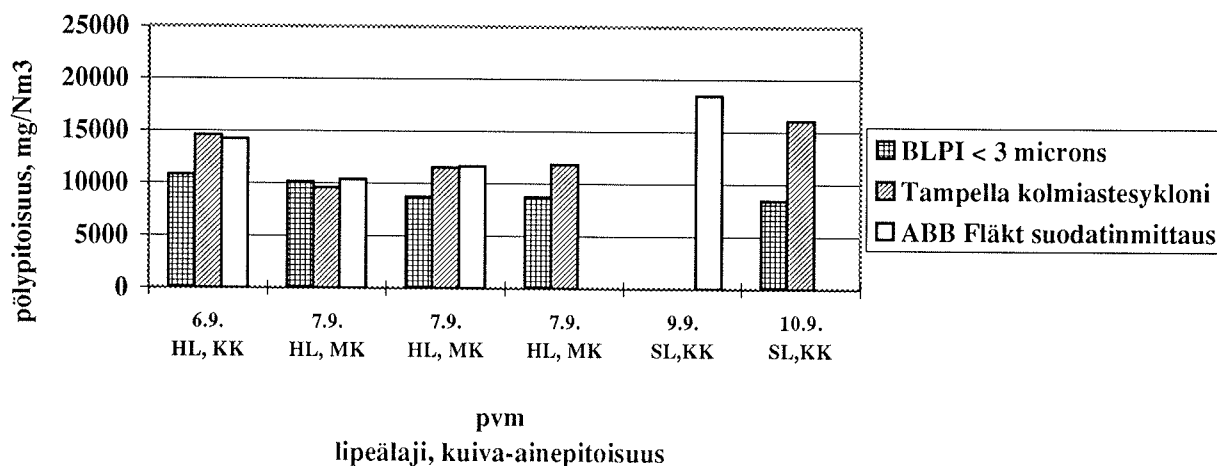
5.2 HIUKKASTEN KOKONAISPITOISUUDET JA PITOISUUDET KOKOLUOKITTAIN

Kokonaishiukkasmittauksia tehtiin kahdella eri menetelmällä useista mittauspisteistä. Lisäksi kokonaishiukkaspitoisuutta seurattiin kahdella jatkuvatoimisella mittalaitteella.

Tampella Power mittasi kokonaishiukkaspitoisuutta kolmiastesyklonilla ennen ja jälkeen sähkösuotimen sekä piipusta savukaasupesurin jälkeen. Ennen sähkösuodatinta mitatut kokonaishiukkaspitoisuudet on esitetty kuvassa 1.

ABB Fläkt Oy mittasi savukaasun hiukkaspitoisuutta kuppisuodattimella keskimmäisestä savukaasukanavasta ennen ja jälkeen sähkösuotimen. Ennen sähkösuodatinta mitatut hiukkaspitoisuudet on esitetty kuvassa 1. Kuvassa merkintä HL tarkoittaa havulipeää, SL sekalipeää, KK korkea kuiva-ainepitoisuutta ja ML matalaa kuiva-ainepitoisuutta. Sähkösuodattimen jälkeen mitatut hiukkaspitoisuudet olivat alle 10 mg/Nm³ poikkeuksena 10.9.1993 mitattu 11 mg/Nm³. Kaikki mitatut hiukkaspitoisuuksien arvot on esitetty kaasupitoisuuksien yhteydessä liitteessä 8.4.

Kuvassa 1. on myös esitetty alipaineimpaktorilla kerätyt kokonaishiukkaspitoisuudet alle 3 µm:n hiukkasille.



Kuva 1. MB-Kemin soodakattilan pölypitoisuudet ennen sähkösuodatinta alipaineimpaktorilla mitattu alle 3 µm:n hiukkasten pitoisuudet sekä kolmiastesyklonilla ja kuppisuodattimella mitattu kokonaishiukkaspitoisuudet.

Soodakattilan jatkuvaan valvontaan kuuluu hiukkaspitoisuuden mittausta, joka perustuu savukaasun optiseen läpäisevyyteen. Tampella Powerissa kehitetty jatkuvatoiminen hiukkaspitoisuuden mittausta perustuu Na₂SO₄:n määrän mittaukseen savukaasussa. Kaikkien hiukkaspitoisuusmittausten tulokset on esitetty ajan funktiona liitteessä 8.5.

Jatkuvatoiminen TEOM-monitori (Tapered Element Oscillating Microbalance) on kokonaismassapitoisuuksien mittaamiseen kehitetty laitteisto, jota kokeiltiin ensikertaa soodakattilan savukaasuissa sähkösuodattimen jälkeen. Laitteisto toimi ongelmitta mittatuina koejaksoina. Sillä havaittiin nopeasti hiukkasmassapitoisuuden muutokset, jotka olivat liian pieniä mitattavaksi perinteisellä suodatinmenetelmällä. Tiistaina 7.9.1993 mitatut pitoisuudet olivat hyvin pieniä jopa alle 1 mg/m³ kosteissa kaasuissa. Torstaina 9.9.1993 pitoisuudet olivat noin 3 mg/m³. TEOM-monitorilla sähkösuotimen jälkeen määritetyt hiukkasmassapitoisuustulokset on esitetty liitteessä 8.6.

Taulukossa 3. on esitetty eri mittausten menetelmillä saadut tulokset kokonaishiukkaspitoisuuksille eri mittauspisteissä. Lisäksi taulukossa on esitetty BERNER-alipaineimpaktorilla mitatut hiukkaspitoisuudet alle 3 µm:n hiukkasille ja kolmiastesyklonilla mitatut hiukkaspitoisuudet alle 2.7 µm:n hiukkasille ennen sähkösuodatinta.

lipeälaji		havu	havu	havu	havu	seka	seka
kuiva- ainepitoisuus		83 %	83 %	73 %	73 %	81 %	81 %
mittausaika		6.9.1994	6.9.1994	7.9.1994	7.9.1994	10.9.1994	10.9.1994
mittauspaikka		ennen ESP	jälkeen ESP	ennen ESP	jälkeen ESP	ennen ESP	jälkeen ESP
Kuppisuodatin, kokonaispitoisuus	mg/ Nm ³	17600	< 10	15000	<10	-	<10
kolmiastesykloni, kokonaispitoisuus	mg/ Nm ³	14600	-	12000	-	16000	3
kolmiastesykloni, pitoisuus < 2.7 µm	mg/ Nm ³	10000	-	8000	-	10000	3
BLPI, pitoisuus < 3 µm	mg/ Nm ³	10800	2.2	9000	2.1	8400	-

Taulukko 3. Hiukkaspitoisuuksien arvoja kuppisuodattimella, kolmiastesyklonilla ja alipaineimpaktorilla mitattuna ennen ja jälkeen sähkösuodattimen.

5.3 HIUKKASTEN KOKOJAKAUMAT

Hiukkaskokojakauman mittaukseen käytettiin BERNER-alipaineimpaktoria (BLPI), jonka esierottimena oli sykloni. Impaktorilla kerättiin 0.011-11 µm hiukkaset 11 kokoluokkaan. Esierottimena käytetyllä syklonilla erotettiin yli 3 µm:n hiukkaset. Savukaasun hiukkasten massakokojakaumat on esitetty liitteessä 8.7.

5.4 HIUKKASTEN KOOSTUMUS

5.4.1 VESILIUKOISET IONIT

Kolmiastesyklonilla ja BLPI:llä kerättyjen hiukkasten vesiliukoisten Na, K, Cl, SO₄, Mg ja Ca -pitoisuudet analysoitiin ionikromatografilaitteistolla (taulukko 4a, 4b ja 4c). Taulukoissa 4a, 4b ja 4c on esitetty analysoitujen hiukkasten osuus kustakin hiukkaskokoluokasta ja analysoitujen hiukkasten eri hiukkastyypin osuudet kokonaismassasta.

mitta- laite	hiukkaskoko, Dp	osuus kokonais- massasta	Na	K	Cl	SO ₄	Mg	Ca
	µm	m-%	m-%	m-%	m-%	m-%	m-%	m-%
sykloni	Dp > 7.5	6.0	32.5	2.5	0.11	64.9	-	-
sykloni	2.7 < Dp < 7.5	25.9	33.1	2.7	0.17	64.0	-	-
sykloni	0.6 < Dp < 2.7	52.6	33.5	2.7	0.21	63.6	-	-
BLPI + sykloni	Dp > 3	22.3	32.1	2.7	0.27	64.8	0.002	0.06
BLPI	0.01 < Dp < 3	78.7	32.7	2.8	0.30	64.2	0.003	0.03

Taulukko 4a. Analysoitujen hiukkasten osuudet kokonaismassasta sekä hiukkasten pitoisuudet kolmiastesyklonilla ja alipaineimpaktorilla mitattuna ennen sähkösuodatinta 73 % kuiva-aineisen havulipeän poltossa.

mitta- laite	hiukkaskoko, Dp	osuus kokonais- massasta	Na	K	Cl	SO ₄	Mg	Ca
	µm	m-%	m-%	m-%	m-%	m-%	m-%	m-%
sykloni	Dp > 7.5	12.0	32.6	2.5	0.18	64.7	-	-
sykloni	2.7 < Dp < 7.5	20.0	33.2	2.6	0.17	64.0	-	-
sykloni	0.6 < Dp < 2.7	52.8	33.5	2.6	0.21	63.6	-	-
BLPI + sykloni	Dp > 3	23.4	30.3	2.5	0.09	67.1	0.003	0.02
BLPI	0.01 < Dp < 3	76.6	29.1	2.7	0.05	68.1	0.006	0.02

Taulukko 4b. Analysoitujen hiukkasten osuudet kokonaismassasta sekä hiukkasten pitoisuudet kolmiastesyklonilla ja alipaineimpaktorilla mitattuna ennen sähkösuodatinta 83 % kuiva-aineisen havulipeän poltossa.

mitta- laite	hiukkaskoko, Dp	osuus kokonais- massasta	Na	K	Cl	SO ₄	Mg	Ca
	µm	m-%	m-%	m-%	m-%	m-%	m-%	m-%
sykloni	Dp > 7.5	15.2	32.2	2.6	0.22	65.0	-	-
sykloni	2.7 < Dp < 7.5	24.5	31.8	2.7	0.27	65.2	-	-
sykloni	0.6 < Dp < 2.7	27.4	33.6	3.0	0.20	63.2	-	-
BLPI + sykloni	Dp > 3	17.6	30.9	2.8	0.49	65.7	0.002	0.08
BLPI	0.01 < Dp < 3	82.4	29.3	2.5	0.16	68.1	0.001	0.01

Taulukko 4c. Analysoitujen hiukkasten osuudet kokonaismassasta sekä hiukkasten pitoisuudet kokonaismassasta kolmiastesyklonilla ja alipaineimpaktorilla mitattuna ennen sähkösuodatinta 81 % kuiva-aineisen sekalipeän poltossa.

Vastaavissa tilanteissa kerätyissä sähkösuodattimen hiukkasnäytteistä analysoidut vesiliukoisten Na, K, Cl, SO₄, Mg ja Ca -pitoisuudet on esitetty taulukossa 5.

mittaus- aika	lipeälaji	kuiva-aine- pitoisuus	Na	K	Cl	SO ₄	Mg	Ca
		%	m-%	m-%	m-%	m-%	m-%	m-%
6.9.1993	havu	73	28.4	2.55	0.05	62.5	0.005	0.01
7.9.1993	havu	83	24.0	2.4	0.13	53.6	0.000	0.00
10.9.1993	seka	81	30.7	2.3	0.16	60.8	0.001	0.00

Taulukko 5. Sähkösuotimen tuhkasta analysoidut vesiliukoisten Na, K, Cl, SO₄, Mg ja Ca -pitoisuudet.

BLPI:lla ja esierottimena käytetyllä syklonilla kerätyistä hiukkasista analysoidtiin vesiliukoiset Na, K, Cl, SO₄, Mg ja Ca -ionit ionikromatografimenetelmällä. Hiukkaspitoisuuden kokojakaumat on esitetty liitteessä 8.8.

5.4.2 HIVENMETALLIPITOISUUDET

BERNER-alipaineimpaktorilla kerättiin hivenmetallinäytteitä induktiivisesti kytketyn plasman ja massaspektrometrin -analyysia (ICP-MS) varten. Analyysitulokset on esitetty taulukossa 6. Näytteet kerättiin polykarbonaattikalvoille.

mittausaika	10.9.1994 klo 10:20	10.9.1994 klo 10:20	10.9.1994 klo 14:15	10.9.1994 klo 14:15
mittaustaika	ennen ESP	jälkeen ESP	jälkeen ESP	jälkeen SCR
mittausaika	30 s	5 min	8 min	8 min
	$\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	$\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	$\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	$\mu\text{g}/\text{Nm}^3$
Mg	3500	220	56	< 13
Al	9000	21	61	3.6
V	98	0.22	0.3	< 0.11
Mn	< 20000	< 160	< 250	< 13
Cu	290	0.34	25	< 0.8
Cd	490	1.5	13	0.18
Pb	45	< 1.9	0.13	< 0.15

Taulukko 6. BLPI:llä kerätyt ja ICP-MS:llä analysoidut hivenmetallipitoisuudet alle 3 μm :n hiukkasille.

6. JOHTOPÄÄTÖKSET

Kokonaismassapitoisuuksissa oli selviä eroja eri ajotilanteissa. Havulipeän, jonka kuiva-ainepitoisuus oli 83 %, kokonaishiukkaspitoisuus oli korkeampi kuin havulipeän, jonka kuiva-ainepitoisuus oli 73 %. Sekalipeän poltossa hiukkaspitoisuus oli selvästi korkeampi kuin havulipeän poltossa. Sähkösuotimen jälkeen hiukkaspitoisuudet olivat lähes mittaustarkkuuden rajoissa, joten muutoksia ajotilanteiden mukaan ei voitu määrittää.

Soodakattilassa muodostuu kaksi eri hiukkastyppiä - pienhiukkaset ja karkeat hiukkaset. Kaasuuntuneista natriumyhdisteistä muodostuu alle 3 μm :n hiukkasia, joiden keskikoko on 0.9 μm . Mustalipeäpisaroiden ja jäännöshiilen pirstoutumisen (fragmentaatio) seurauksena syntyy yli 3 μm :n hiukkasia. Koska alle 3 μm :n hiukkasten pitoisuus ei riipu ajotavasta eikä lipeän laadusta ei myöskään Na kaasuuntuminen riipu e.m. muuttujista. Koska kokonaishiukkaspitoisuus kasvaa kuiva-ainepitoisuuden kasvaessa, lisääntyy karkeiden hiukkasten osuus.

Hiukkaskokojakaumat eivät olleet massapitoisuuksiltaan merkittävästi erilaisia kuin Veitsiluoto Oy:n Oulun tehtaiden soodakattilalla mitatut. Hiukkaskokojakauman huippu mitattiin noin 0.9 μm :ssä ja kokonaishiukkaspitoisuustulokset olivat lähes samoja kuin muilla menetelmillä mitatut. Impaktorilla kerätyissä näytteissä alle 3 μm :n hiukkasten massapitoisuus oli lähes sama kaikissa havulipeän ajotilanteissa, vaikka kokonaishiukkaspitoisuudet vaihtelivat. Koivulipeän ja sekalipeän ajotilanteissa pienten hiukkasten (alle 3 μm) pitoisuus oli havulipeän vastaavaa pitoisuutta pienempi, vaikka karkeiden hiukkasten pitoisuus oli lähes sama. Yli 5 μm :n hiukkaskoossa olevien hiukkasten pitoisuus määritetään myöhemmin sykloninäytteistä.

Hiukkaspitoisuuksien molaarisista suhteista pääteltiin mitattujen hiukkaset olevan lähinnä natriumsulfaattia. Hiukkasten pitoisuuksista havaittiin, että kalium ja kloori rikastuvat pieniin hiukkasiin natriumia enemmän. Korkealla kuiva-ainepitoisuudella karkeisiin hiukkasiin rikastuu paljon klooria. Kaikista hiukkaskokoluokista mitattiin pienet määrät hivenmetalleja (Mg ja Ca), jotka toimivat hiukkasten muodostuksessa ydinhiukkasina.

Savukaasujen koostumus muuttui hyvin vähän eri ajotilanteissa. Korkealla kuiva-ainepitoisuudella rikkidioksidi- ja hiilimonoksidipitoisuudet savukaasussa olivat hieman alhaisemmat kuin matalalla kuiva-ainepitoisuudella. Kuiva-aineen (tai lipeän lajin) muutos ei aiheuttanut muutoksia NO_x-pitoisuuksiin.

4.10.-94
SKY/PJN

7. YHTEENVETO

Oy Metsä-Botnia Ab:n Kemin tehtaiden soodakattilalla mitattiin eri ajotilanteiden vaikutusta aerosolinmuodostukseen. Mittausten aikana toteutetut ajotilanteet olivat kuiva-ainepitoisuuden muutos 73 % ja 83 % havulipeällä, korkeakuiva-aineinen sekalipeä sekä jatkuva biolietteen ja hajukaasujen poltto soodakattilassa.

Mittaukset toteutettiin 6.-10.9.1993. Mittauksiin osallistuivat Oy Metsä-Botnia Ab:n Kemin tehtaat, Valtion teknillinen tutkimuskeskus / Aerosolitekniiikan tutkimusryhmä, Tampella Power Oy ja ABB Fläkt Oy.

Soodakattilan savukaasuista mitattiin kokonaishiukkaspitoisuutta perinteisellä kuppisuodatinmenetelmällä, kolmiastesyklonilaitteistolla ja jatkuvatoimisella TEOM-monitorilla. Lisäksi hiukkaspitoisuutta seurattiin soodakattilan valvontalaitteistoon kuuluvalla savukaasun opasiteettiin perustuvalla laitteistolla. Savukaasujen hiukkaskokojakaumaa mitattiin BERNER-alipaineimpaktorilla, jonka esierottimena käytettiin sykklonia. Savukaasuista mitattiin H₂O, O₂-, CO₂- ja CO-, SO₂-, NO_x- ja NO-pitoisuuksia. Lisäksi kokeiltiin korkealämpötilamittalaitteistoa.

Hiukkaskokojakaumat eivät olleet massapitoisuuksiltaan merkittävästi erilaisia kuin Veitsiluoto Oy:n Oulun tehtaiden soodakattilalla mitatut. Hiukkaskokojakauman huippu mitattiin noin 0.7 µm:ssä ja kokonaishiukkaspitoisuustulokset olivat lähes samoja kuin muilla menetelmillä mitatut. Vaikka kokonaishiukkaspitoisuudet muuttuivat, kaikissa ajotilanteissa mitattiin alle 3 µm:n hiukkasia lähes sama pitoisuus.

Hiukkaspitoisuuksien molaarisista suhteista pääteltiin mitattujen hiukkaset olevan lähinnä natriumsulfaattia. Karkeissa hiukkasissa mitatut natriumin ja kaliumin suhteet sulfaattiin ovat korkeammat kuin pienissä hiukkasissa eli Na ja K esiintyvät enemmän muina yhdisteinä kuin sulfaatteina. Pienten hiukkasten pitoisuuksista havaittiin, että kalium ja kloori kaasuuntuvat natriumia enemmän. Korkealla kuiva-ainepitoisuudella karkeisiin hiukkasiin rikastuu paljon klooria. Kaikista hiukkaskokoluokista mitattiin pienet määrät hivenmetalleja (Mg ja Ca), jotka toimivat hiukkasten muodostuksessa ydinhiukkasina.

Savukaasujen pitoisuudet muuttuivat hieman eri ajotilanteissa. Rikkidioksidin ja hiilimonoksidin pitoisuudet olivat matalampia korkealla kuiva-ainepitoisuudella kuin matalalla kuiva-ainepitoisuudella. Kuiva-ainepitoisuus ei vaikuttanut NO_x-pitoisuuksiin.

8. LIITTEET

- 8.1 Mittausmenetelmät ja -paikat Oy Metsä-Botnia Ab:n Kemin tehtaiden soodakattila
- 8.2 Kattilan käyttöolosuhteet Veitsiluoto Oy:n Oulun tehtaiden soodakattila ja Oy Metsä-Botnia Ab:n Kemin tehtaiden soodakattila
- 8.3 Kaasupitoisuudet Oy Metsä-Botnia Ab:n Kemin tehtaiden soodakattilalla mittausjaksolla
- 8.4 Mittaustulosten yhteenveto ABB Fläkt Oy
- 8.5 Yhdistetyt hiukkaspitoisuuksien mittaustulokset mittausjaksolta
- 8.6 TEOM-monitorin mittaustulokset VTT / ATG
- 8.7 Massakokojakaumat savukaasuhiukkasille VTT / ATG
- 8.8 Hiukkaspitoisuudet VTT / ATG, Ilmatieteenlaitos

LIITE 8.1

**Mittausmenetelmät ja -paikat
Oy Metsä-Botnia Ab:n Kemin tehtaiden soodakattila**

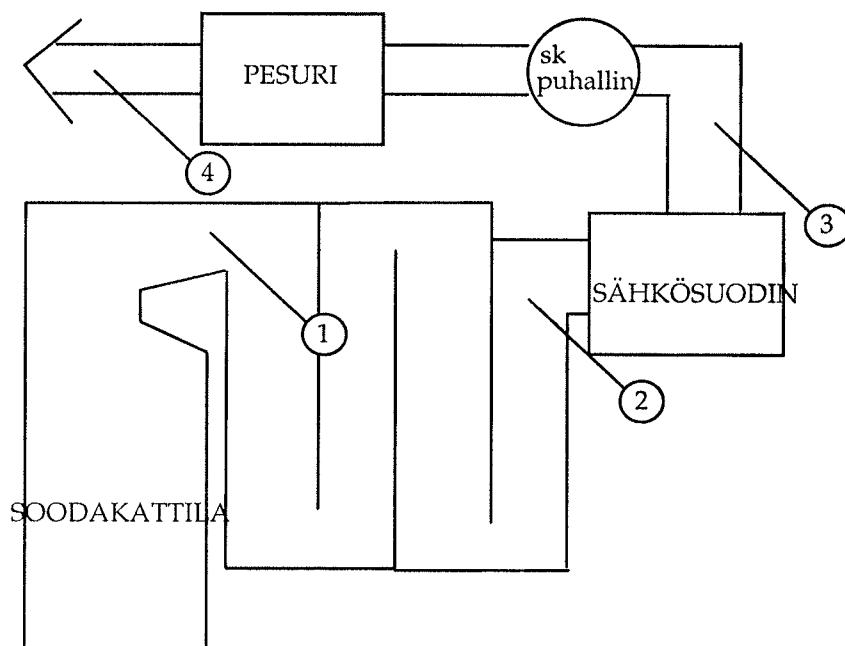
TOTEUTUNUT MITTAUSOHJELMA Oy METSÄ-BOTNIA Ab, Kemin tehtaat

Ajotaseet

pvm	lipeälaji	super	bioliete	hajukaasut
6.9.1993	havu	on	on	on
7.9.1993	havu	off	on	on
8.9.1993	havu	on	on	on
9.9.1993	lajin vaihto	on	on	on
10.9.1993	seka	on	on	on

Mittaukset ja keräykset

1. Mittauspaikat



Kuvassa mittauspaikat ovat

1. Kuumamittaukset
 - Tulistimien jälkeen, noin 600°C lämpötilassa
 - Nokalta, noin 800°C lämpötilassa
2. Ennen sähkösuodinta
3. Sähkösuotimen jälkeen
4. Pesurin jälkeen savupiipusta

2. Mittaukset

mittaus/näyte	mittauksen suorittaja	mittauspaikka	mittausaika
BLPI	VTT / ATG	1,2,3,4	kaikissa ajotilanteissa
TEOM	VTT / ATG	3	7. ja 9.9.
SEM	VTT / ATG	1,2,3	kaikissa ajotilanteissa
TEM	VTT / ATG	1,2	satunnaisesti
kolmiastesykloni	Tampella Power Oy	2,3,4	kaikissa ajotilanteissa
kaasumittaukset	Tampella Power Oy	3	jatkuvatoiminen
kokonaishiukkas-pitoisuus	ABB Fläkt	2,3	kaikissa ajotilanteissa
kaasuvirtaukset	ABB Fläkt	2,3,4	kaikissa ajotilanteissa
O ₂ , H ₂ O	ABB Fläkt	2,3	kaikissa ajotilanteissa

3. Mittausten aikana kerätyt näytteet

tuhkan keräykset suppiloista (kaikista ajotilanteista)

- keittopinta (2*½l)
- I eko (2*½l)
- II eko (2*½l)
- ESP:n tuhka (3*½l)

sulanäytteet (kaikista ajotilanteista)

- 2 rännistä (2 näytettä)

mustalipeänäytteet (kaikista ajotilanteista) (2*1 l)

pesuri (kaikista ajotilanteista)

- alkalinäyte (2*1 l)
- poistuva vesi (2*1 l)

LIITE 8.2

**Kattilan käyttöolosuhteet Veitsiluoto Oy:n Oulun tehtaiden soodakattila
ja Oy Metsä-Botnia Ab:n Kemin tehtaiden soodakattila**

KATTILAN KÄYTTÖLOSUHTEET

Päivä		6.9.-93	7.9.-93	8.9.-93	10.9.-93
Lipeäkuorma (as-fired)	tk/vrk	2220	2161	2258	2423
Lipeäkuorma (virgin)	tk/vrk	1998	1945	2032	2180
Lipeävirtaus	l/s	21	24.5	21.5	24
Kuiva-aine refr./labra	%	89.6 / 83.5	75.3 / 73	87.7 / 83	84.3 / 81
Lipeän lämpötila	°C	133	119	134	134
Höyrystys	kg/s	78.6	77	87	85
Polttoilma	Nm ³ /s	74	75	78	81
Päämääri-ilma	%	30	30	29	29
Päämääri-ilman paine	mbar	10	10	10	9.4
Alasekundääri	%	39	40	41	36
Alasekundäärin paine vasen/oikea	mbar	37 / 37	15 / 15	16 / 16	14.5 / 14.5
Yläsekundääri	%	23	21	20	20
Yläsekundäärin paine vasen/oikea	mbar	33 / 34.5	25.5 / 28.5	36 / 35.3	32.3 / 24
Tertiääri	%	8	9	10	16
Tertiäärin paine	mbar	47	48	63	80
O ₂ vasen / oikea	%	3.3 / 3.1	2.9 / 2.9	2.4 / 3.0	2.7 / 2.5
Polttoilpeän S ₂ /Na ₂	-	-	0.39	0.38	0.38
Sulan reduktioaste	%	88.0, 87.0, 89.5, 93.9	88.0, 90.6, 89.7, 91.4	91.8, 88.6, 90.6, 83.8	89.5, 90.0, 86.2, 91.8

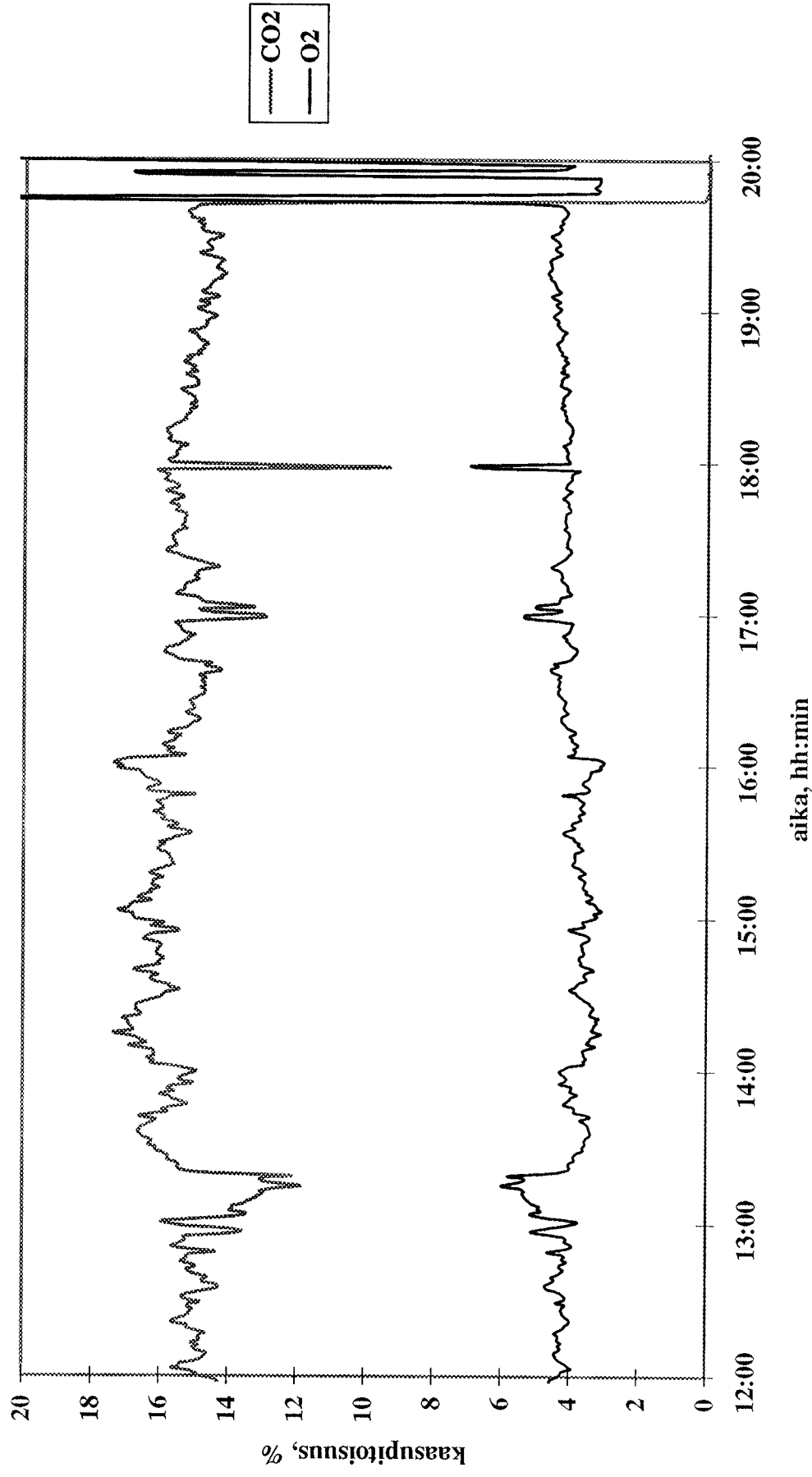
Kattilan käyttöolosuhteet

Veitsiluoto Oulun tehtaiden soodakattila						
päivä		2.11.1992	3.11.1992	4.11.1992	5.11.1992	6.11.1992
lipeäkuorma (as fired)	tka/vrk					
lipeäkuorma (virgin)	tka/vrk					
lipeävirtaus	l/s	22	22	22	21	20
kuiva-aine refr./labra	%		68.5	69.3	67.4	66.7
höyrystys	kg/s	70	70	70	60	55
polttoilma	Nm3/s	64	65.5	64	54.5	51.5
primääri-ilma	kg/s	22	22	22	19	18
sekundääri	kg/s	34	35	34	30	28
tertiääri	kg/s	8	8.5	8	5.5	5.5
O2 vasen/oikea	%	3/3.2	2.5/3.2	2.9/3.3	3.2/3.5	3.5/3.3
polttolipeän S/Na2			0.417	0.440	0.468	0.466
sulan reduktioaste	%		82/91	90/90	95/-	96.9/100

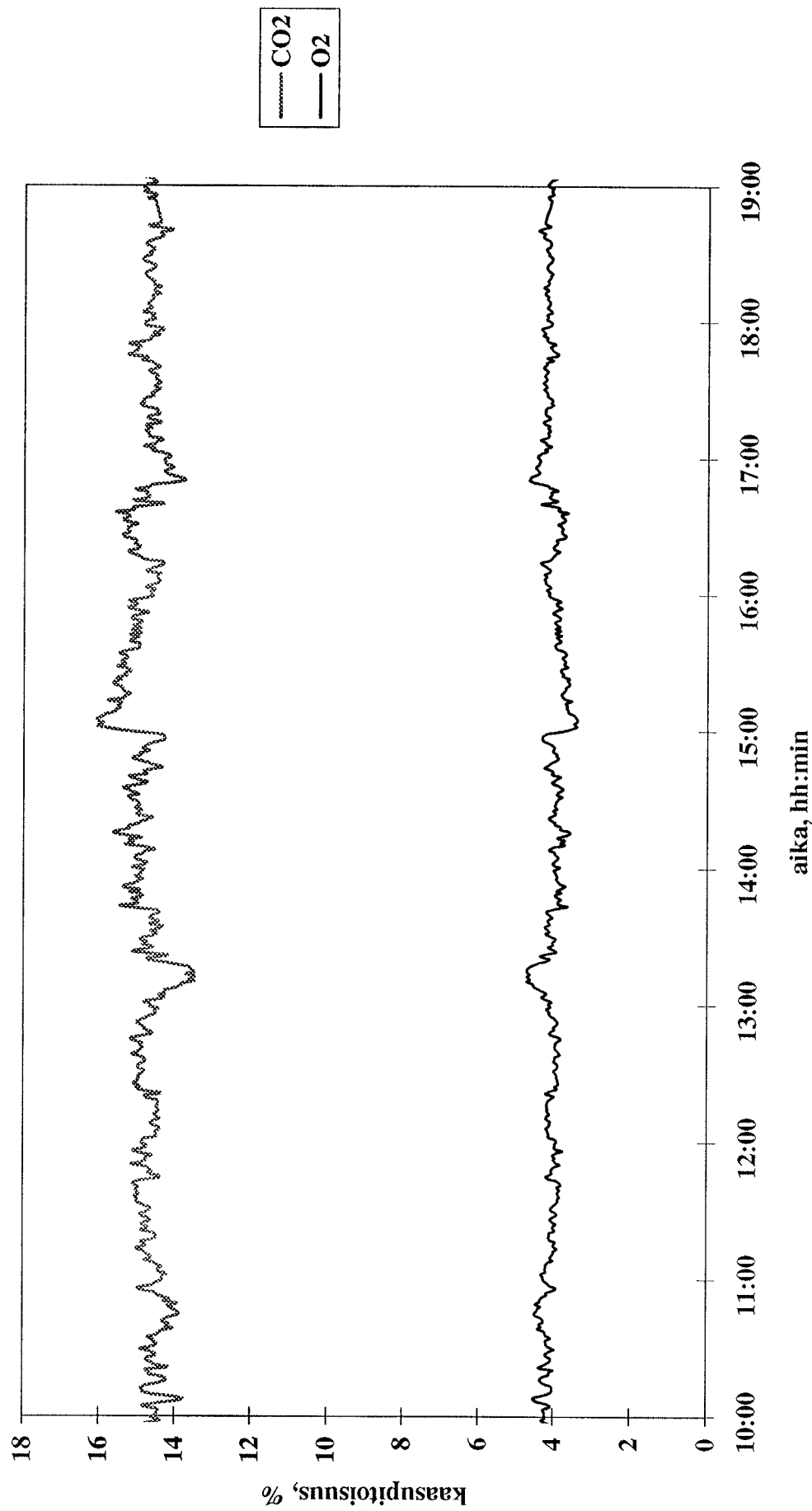
LIITE 8.3

**Kaasupitoisuudet Oy Metsä-Botnia Ab:n Kemin tehtaiden soodakattilalla
mittausjaksolla**

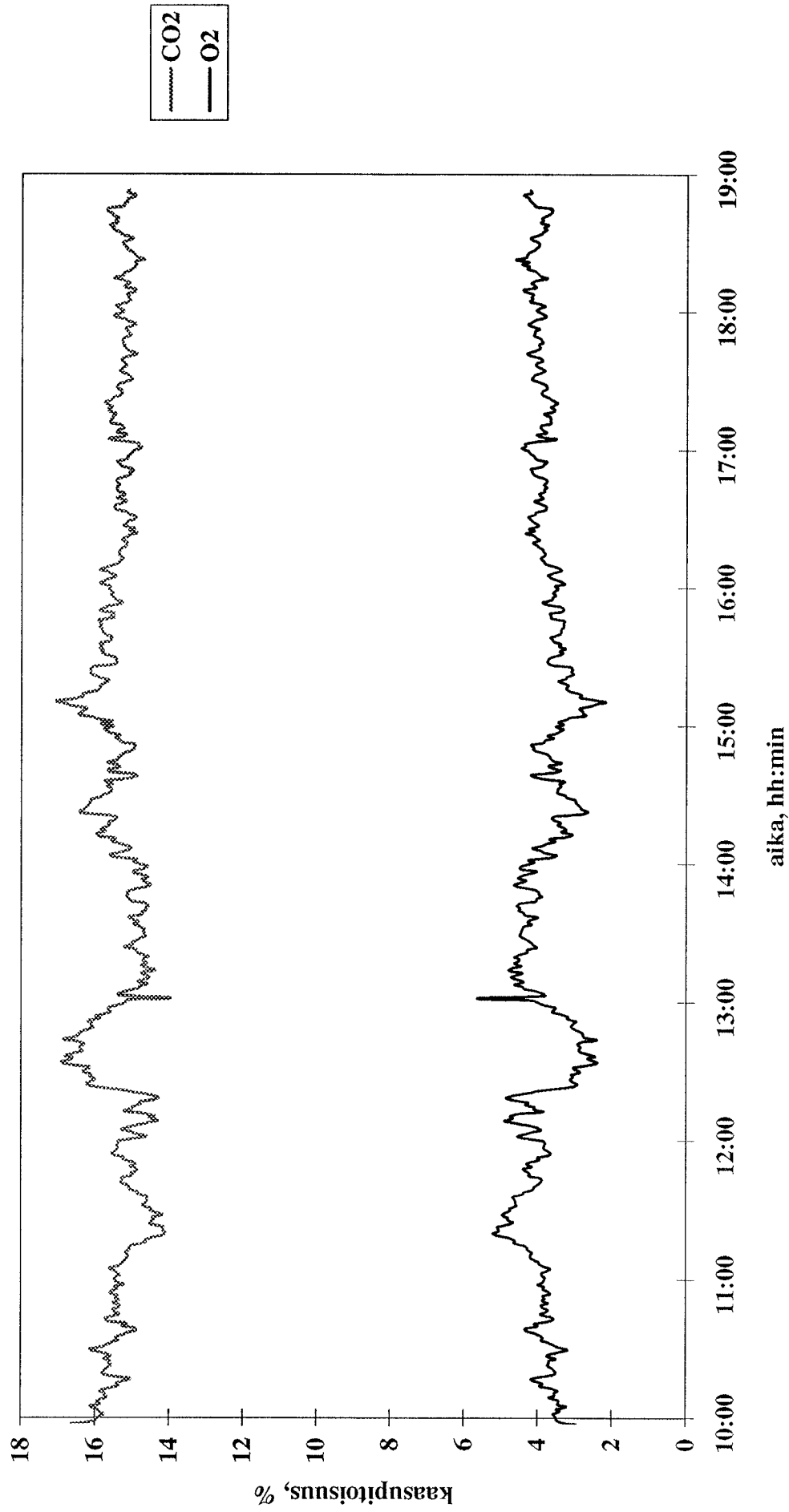
MB-Kemin soodakattilan savukaasun pitoisuudet ennen savukaasupesuria
6.9.1993, havulipeä, 83 % kuiva-ainepitoisuus



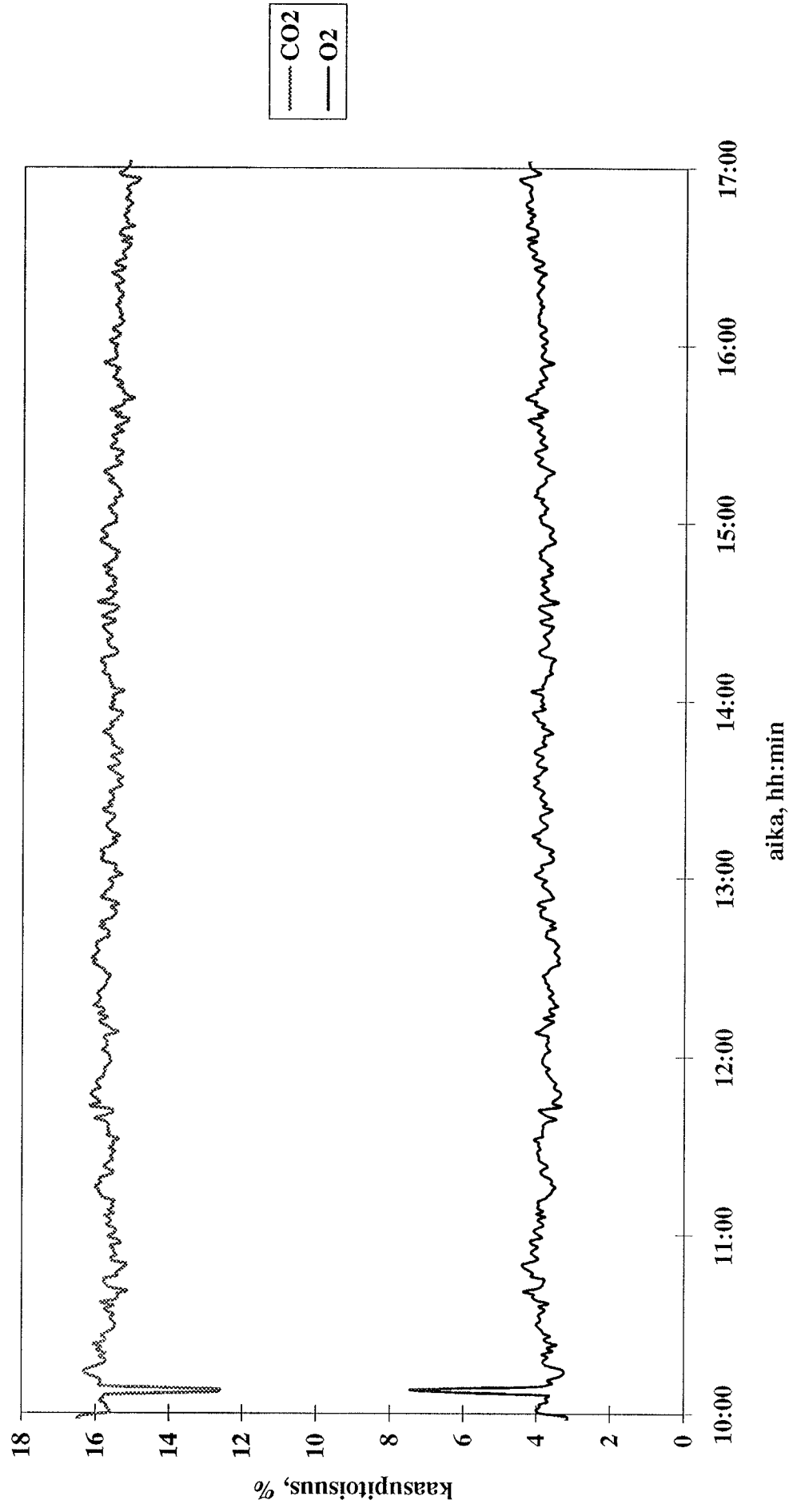
MB-Kemin soodakattilan savukaasun pitoisuudet ennen savukaasupesuria
7.9.1993, havulipeä, 73 % kuiva-ainepitoisuus



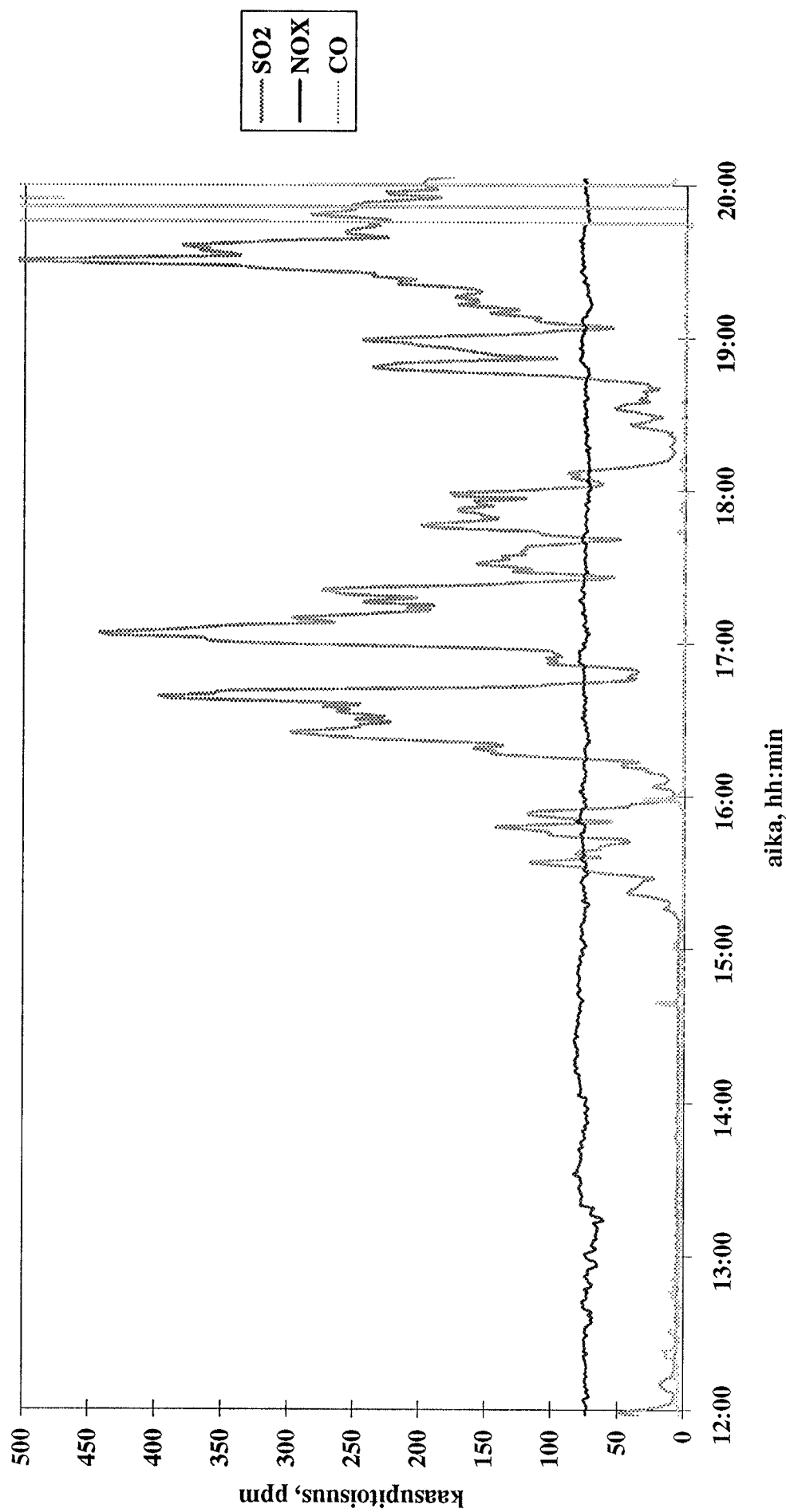
**MB-Kemin soodakattilan savukaasun pitoisuudet ennen savukaasupesuria
8.9.1993, havulipeä, 83 % kuiva-ainepitoisuus**



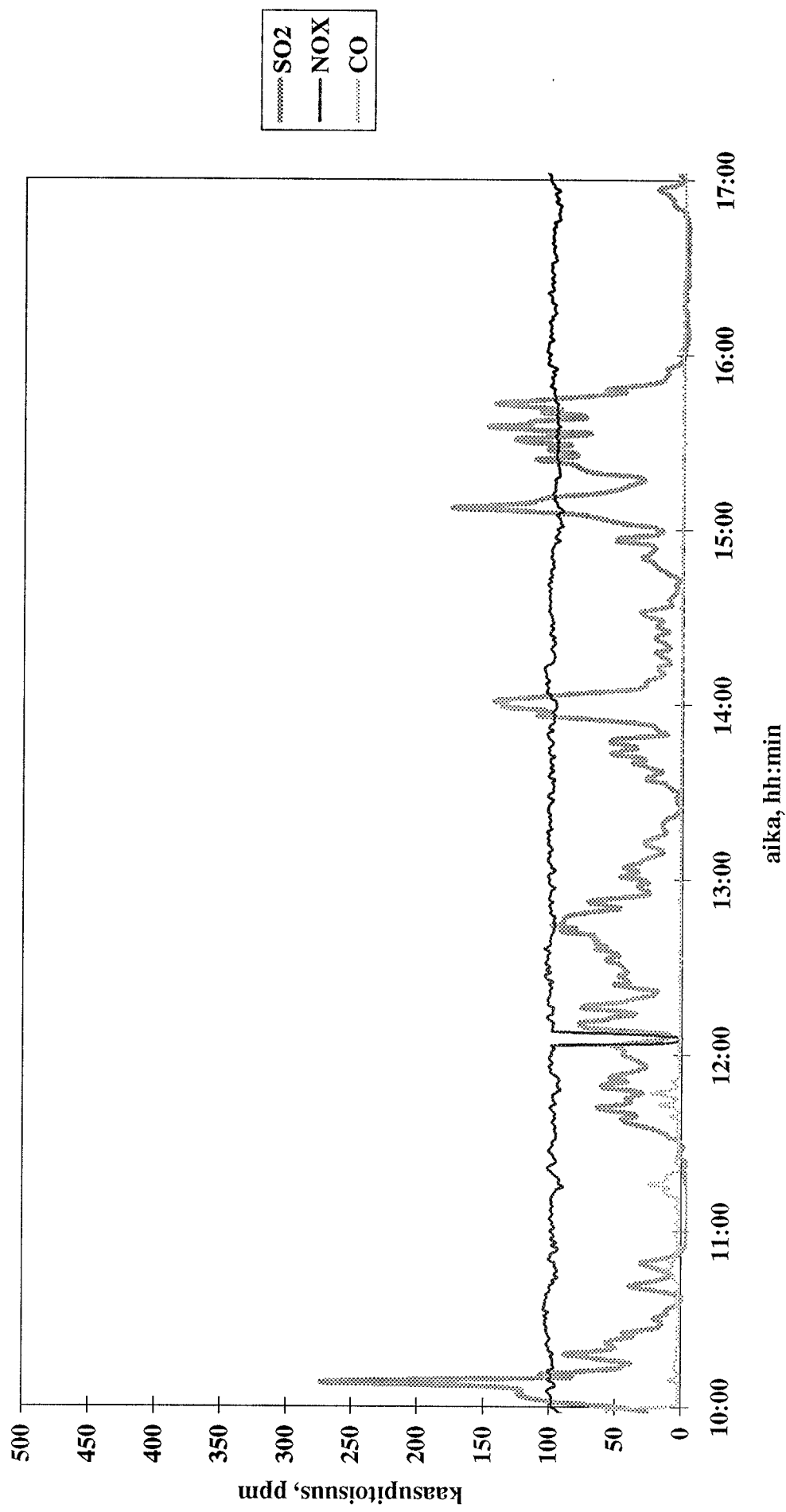
MB-Kemin soodakattilan savukaasun pitoisuudet ennen savukaasupesuria
10.9.1993, sekalipeä, 81 % kuiva-ainepitoisuus



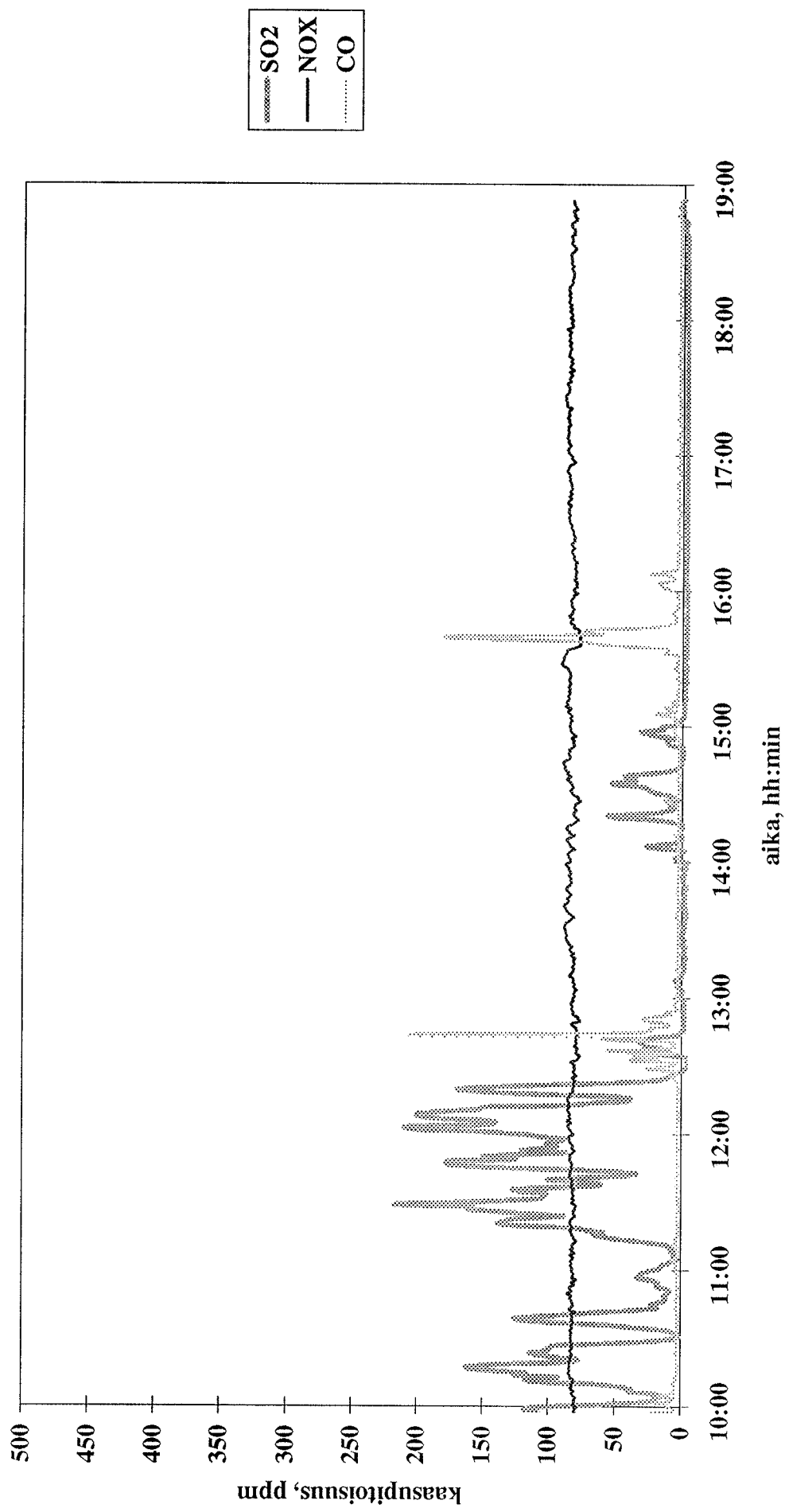
MB-Kemin soodakattilan savukaasun pitoisuudet ennen savukaasupesuria
6.9.1993, havulipeä, 83 % kuiva-ainepitoisuus



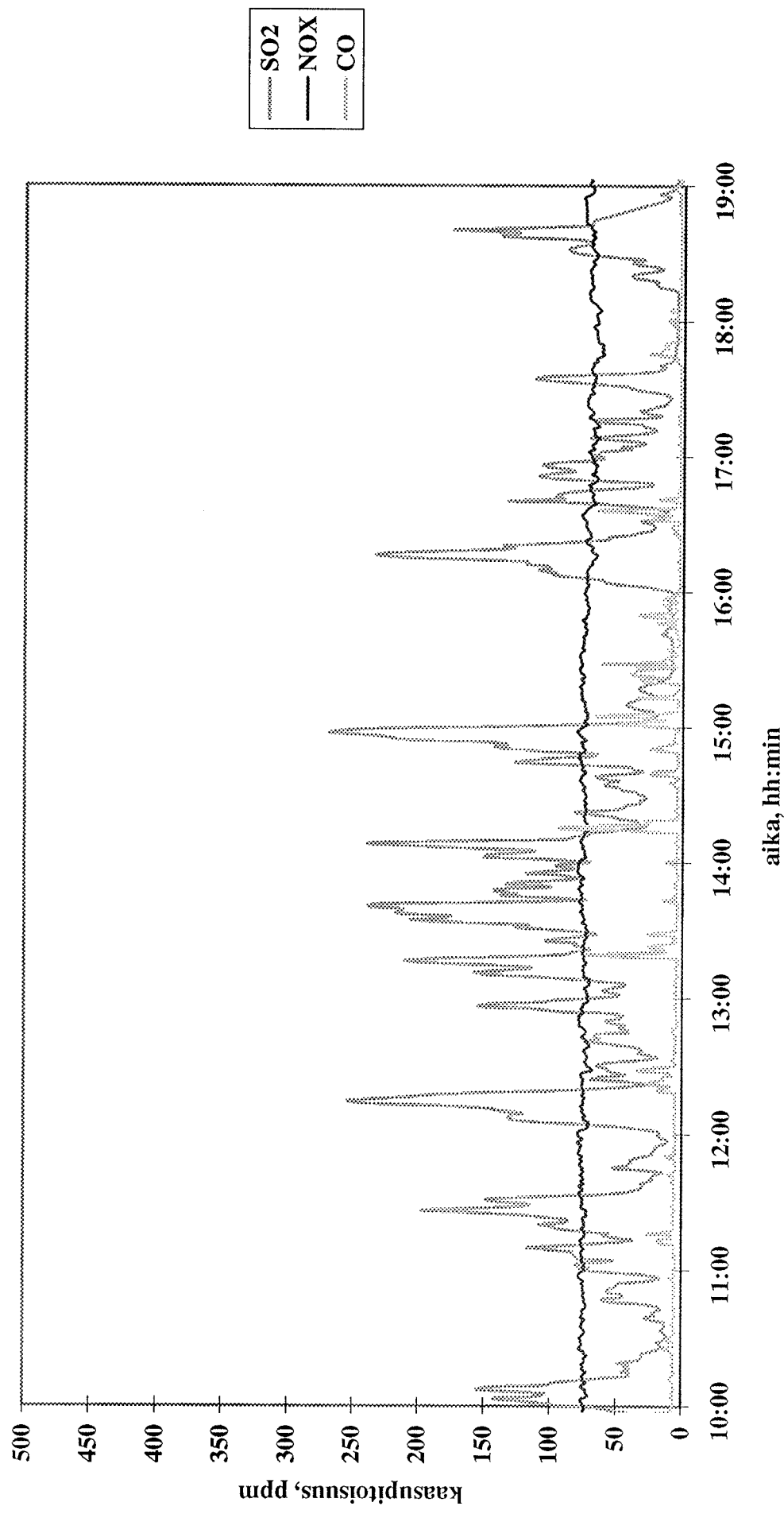
MB-Kemin soodakattilan savukaasun pitoisuudet ennen savukaasupesuria
10.9.1993, sekalipeä, 81 % kuiva-ainepitoisuus



MB-Kemin soodakattilan savukaasun pitoisuudet ennen savukaasupesuria
8.9.1993, havulipeä, 83 % kuiva-ainepitoisuus



MB-Kemin soodakattilan savukaasun pitoisuudet ennen savukaasupesuria
7.9.1993, havulipeä, 73 % kuiva-ainepitoisuus



LIITE 8.4

Mittaustulosten yhteenveto ABB Fläkt Oy

ABB Fläkt

tulosten yhteenveito 28.09.1993

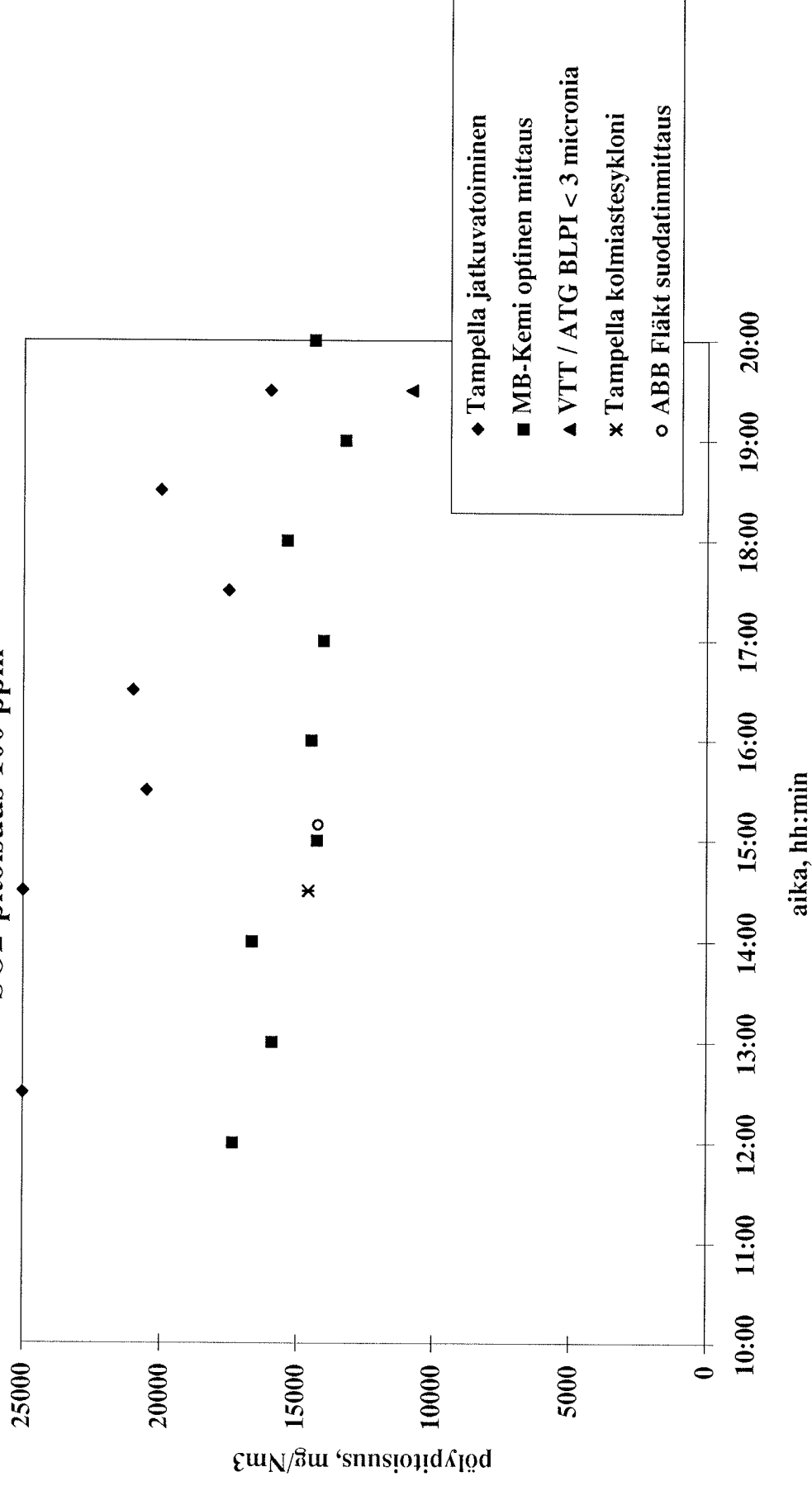
Aerosolimitaukset SK 1:lla 05-10.09.1993

mittaus #	paikka	date	time	O2 %	sk-tih kg/Nm3 kuivat	sk-tih kg/Nm3 kosteat	sk-vesipit. H2O vol-%	polymaara mg/N3 kuivat	polymaara mg/N3 kosteat	virhe polym. %	sk-t C	sk-maara Nm3/s	virhe sk-m. %	kanavan pinta-ala m2	Ba lkm mmHg	Kanavan st-alip. Pa
1	tulokanava	6.9.1993	15:08-15:30	-	1.376	1.266	19.2	17599	14193	30	159	41.04	25	6.25	754	-1250
2	tulokanava	6.9.1993	19:45-20:00	-	1.375	1.259	20.3	22212	17728	30	156	-	-	6.25	754	-
3	poistokanava	6.9.1993	13:07-13:50	3.8	1.377	1.267	19.2	<10	<10	15	159	35.3	15	6.25	753.5	-1100
4	poistokanava	6.9.1993	14:08-14:37	4.2	1.376	1.255	21.3	<10	<10	15	157	33.8	15	6.25	753.5	-1150
5	poistokanava	6.9.1993	18:23-18:52	4.4	1.375	1.258	20.6	<10	<10	15	157	38.3	15	6.25	753.5	-1150
6	tulokanava	7.9.1993	12:57-13:10	-	1.377	1.233	25.2	13834	10359	30	158	-	-	6.25	755	-1200
7	tulokanava	7.9.1993	15:25-15:37	-	1.376	1.249	22.3	14972	11619	30	159	-	-	6.25	755	-1200
8	poistokanava	7.9.1993	11:50-12:37	4	1.377	1.246	22.9	<10	<10	15	160	39.5	15	6.25	755	-1200
9	poistokanava	7.9.1993	16:07-16:57	4.2	1.376	1.244	23.1	<10	<10	15	162	38.2	15	6.25	755	-1200
10	tulokanava	9.9.1993	17:35-17:45	-	1.376	1.256	20.9	30297	23919	30	154	-	-	6.25	763	-
11	tulokanava	9.9.1993	18:12-18:24	-	1.376	1.261	20.1	23040	18407	30	154	-	-	6.25	763	-
12	tulokanava	9.9.1993	19:08-19:20	-	1.376	1.257	20.8	24986	19751	30	158	51.5	25	6.25	763	-1550
13	poistokanava	3	10:53-11:55	3.5	1.38	1.254	21.9	14	11	15	152	42.5	15	6.25	765	-1400
14	poistokanava	10.6.1993	15:05-16:08	3.6	1.378	1.249	22.4	<10	<10	15	153	49.4	15	6.25	765	-1200

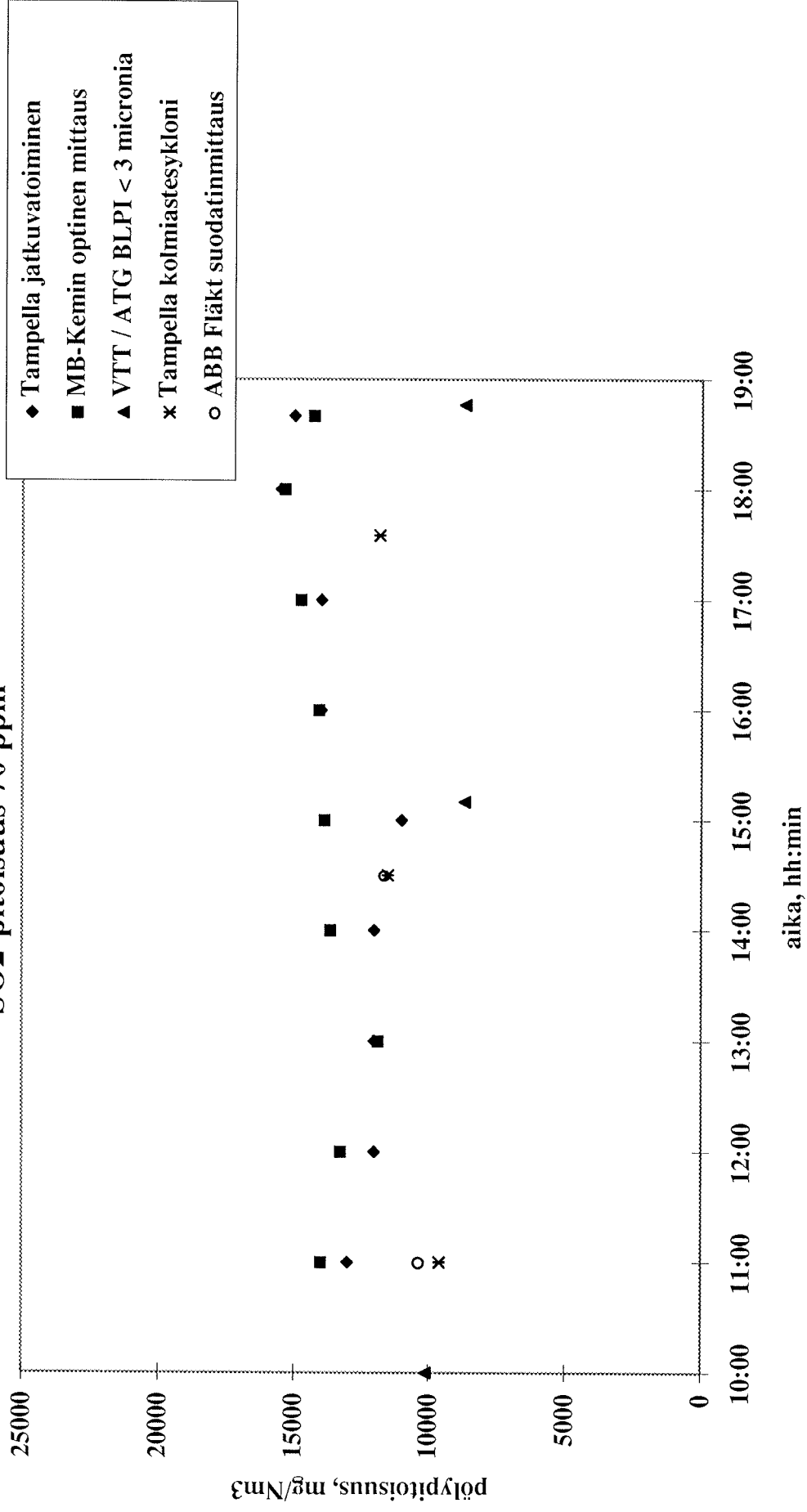
LIITE 8.5

Yhdistetyt hiukkaspitoisuuksien mittaustulokset mittausjaksolta

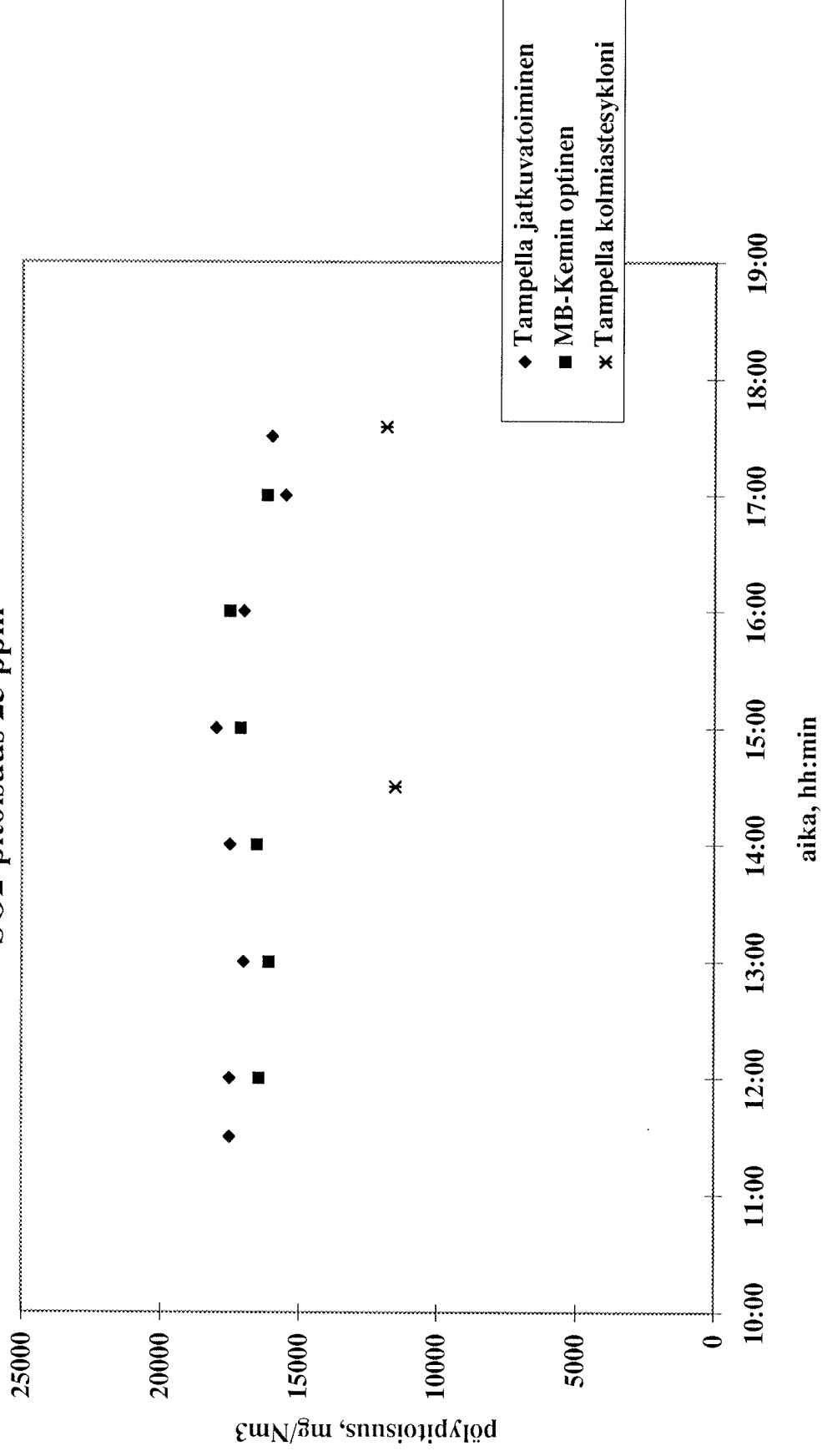
MB-Kemin soodakattilan pölypitoisuudet ennen sähkösuodinta
6.9.1993, havulipeä, 83 % kuiva-ainepitoisuus
SO₂-pitoisuus 100 ppm



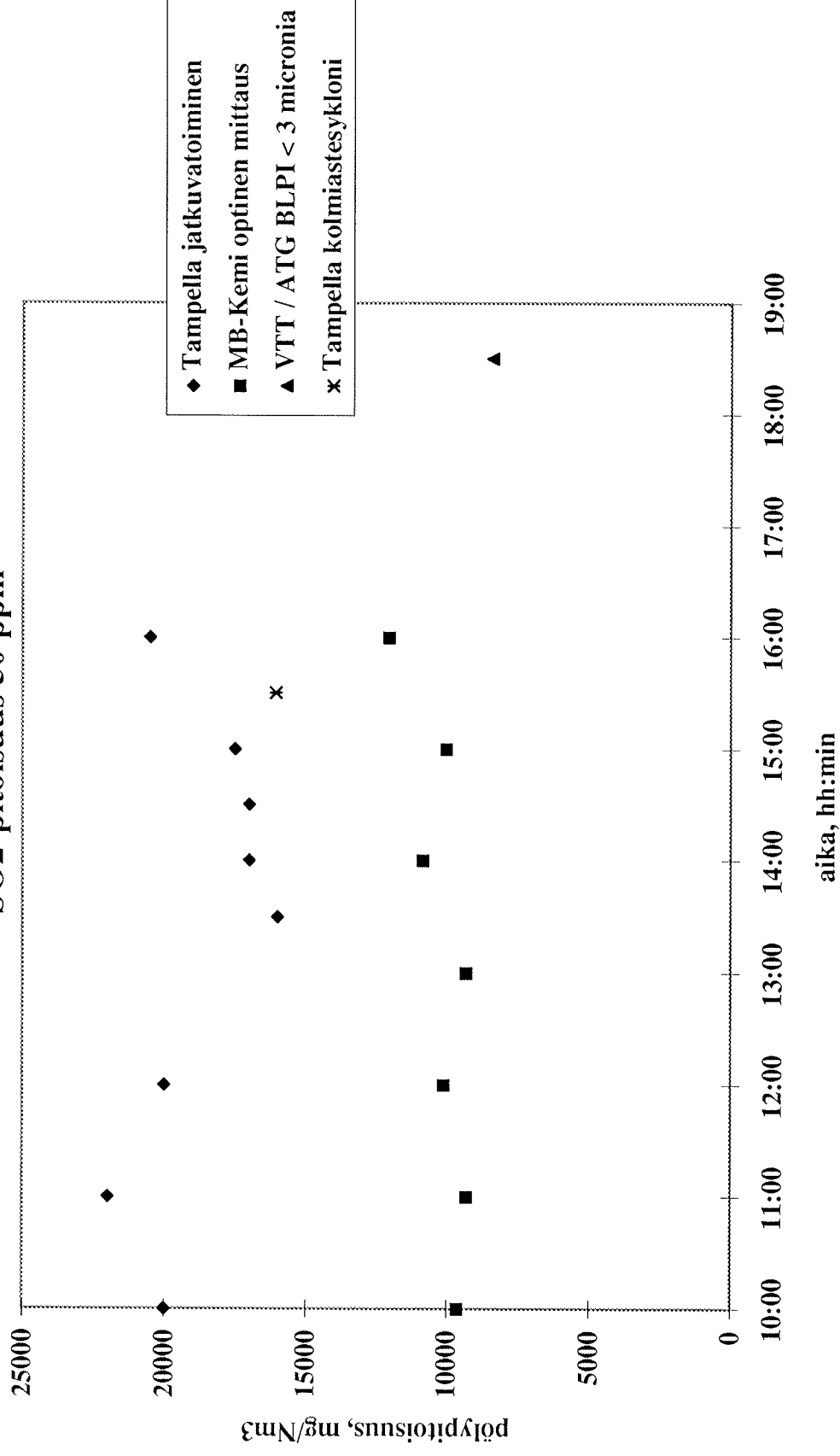
MB-Kemin soodakattilan pölypitoisuudet ennen sähkösuodinta
7.9.1993, havulipeä, 73 % kuiva-ainepitoisuus
SO₂-pitoisuus 70 ppm



MB-Kemin soodakattilan pölypitoisuudet ennen sähkösuodinta
 8.9.1993, havulipeä, 83 % kuiva-ainepitoisuus
 SO₂-pitoisuus 25 ppm



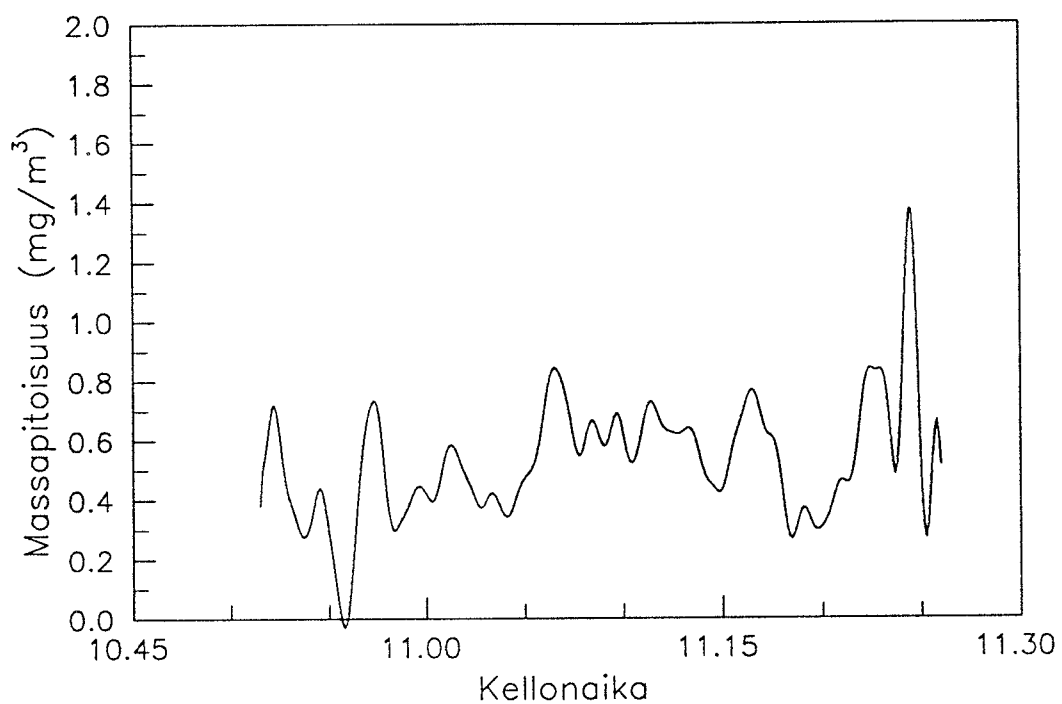
MB-Kemin soodakattilan pölypitoisuudet ennen sähkösuodinta
 10.9.1993, sekalipeä (70% koivu / 30% havu), 81 % kuiva-ainepitoisuus
 SO₂-pitoisuus 50 ppm



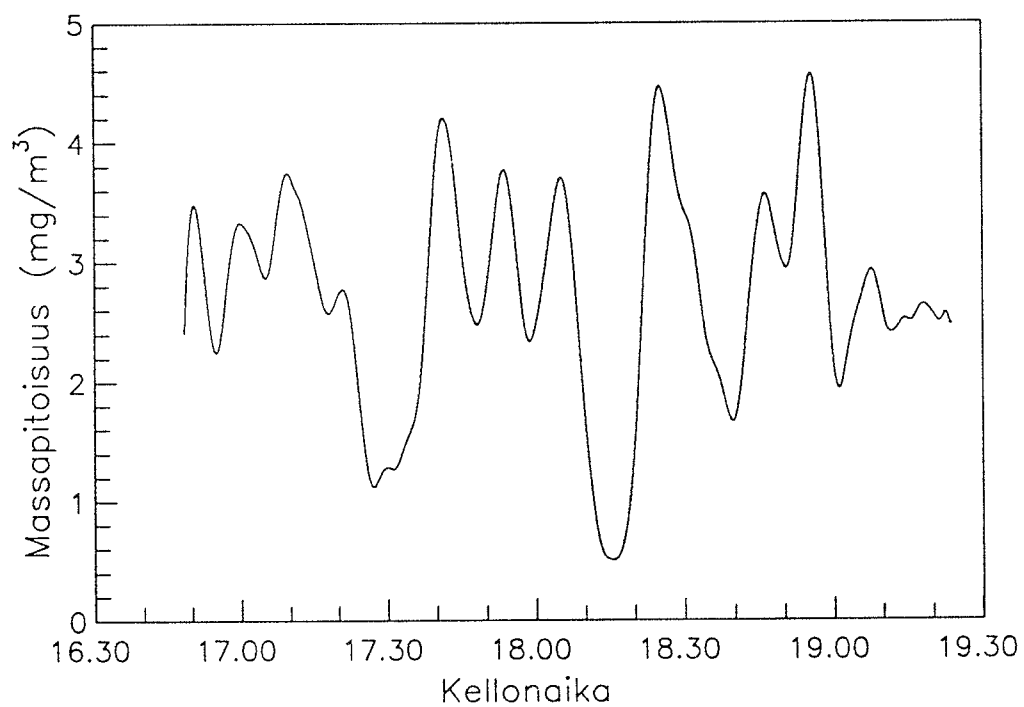
LIITE 8.6

TEOM-monitorin mittaustulokset VTT / ATG

Jatkuvatoimisella TEOM –monitorilla määritetty
hiukkasmassapitoisuus.



Tiistai 7.9. Jalkeen ESP.

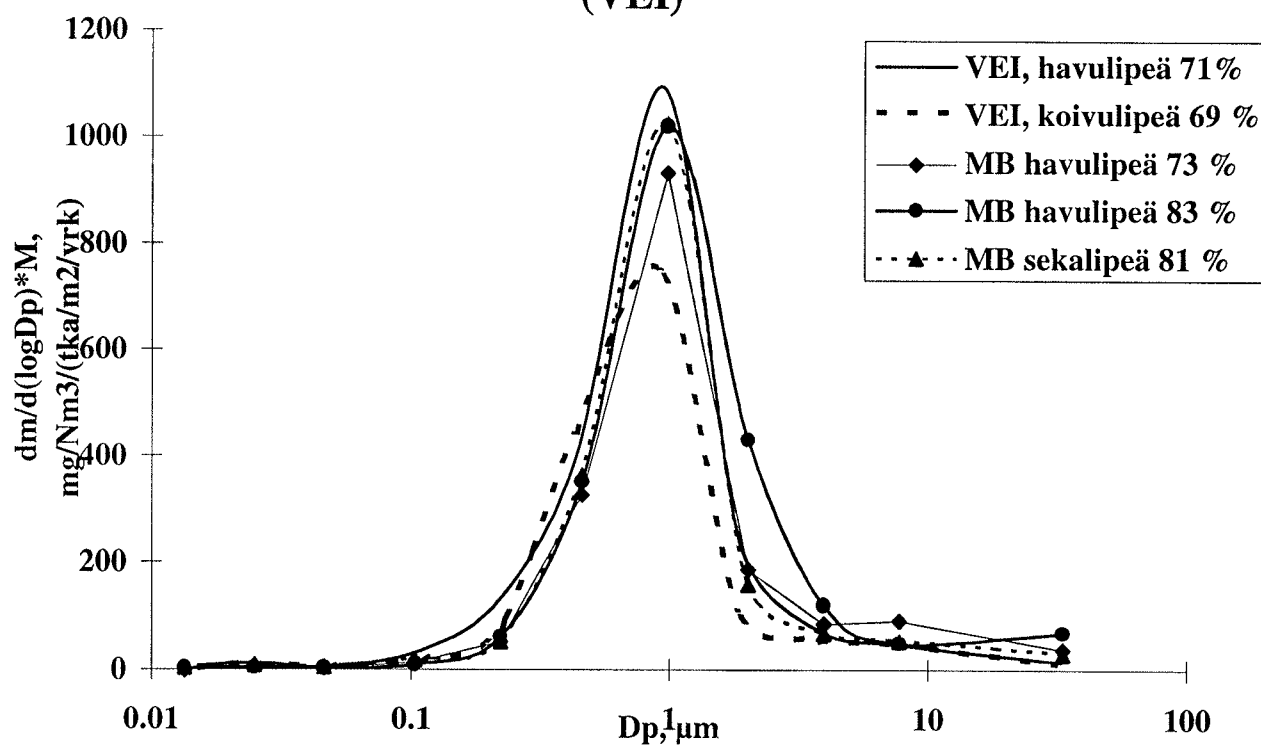


Torstai 9.9. Jalkeen ESP.

LIITE 8.7

Massakokojakaumat savukaasuhiukkasille VTT / ATG

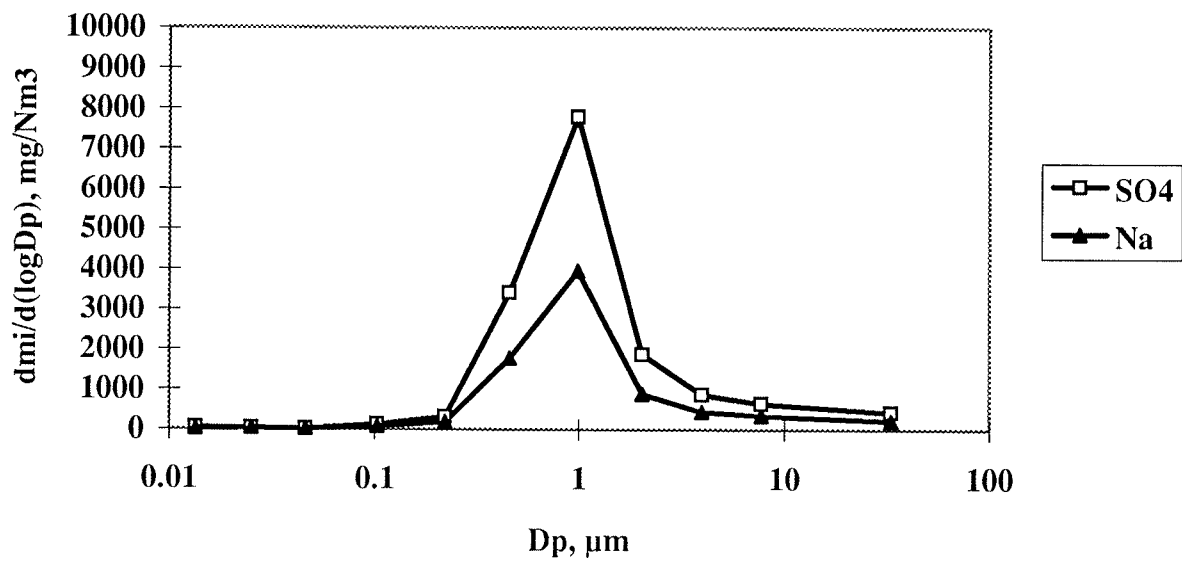
**Massakokojakaumat savukaasuhiukkasille Oy Metsä-
Botnia Ab:n Kemin tehtaiden soodakattilalla (MB) ja
Veitsiluoto Oy:n Oulun tehtaiden soodakattilalla
(VEI)**



LIITE 8.8

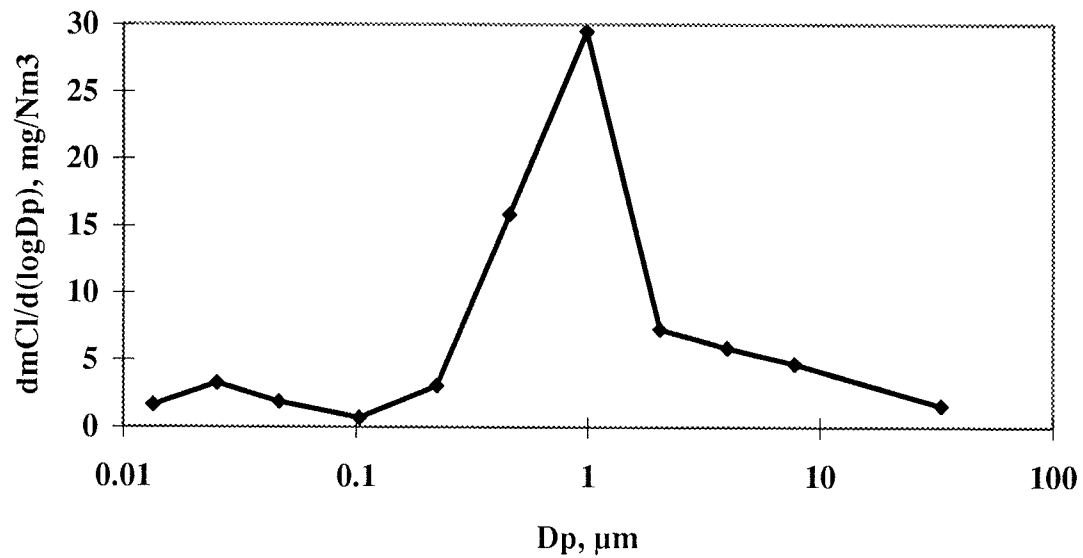
Hiukkaspitoisuudet VTT / ATG, Ilmatieteenlaitos

Hiukkasten pitoisuudet
Oy Metsä-Botnia Ab:n Kemin tehtaiden soodakattilalla
7.9.1993 havulipeä 73 %
mitattu ennen sähkösuodatinta

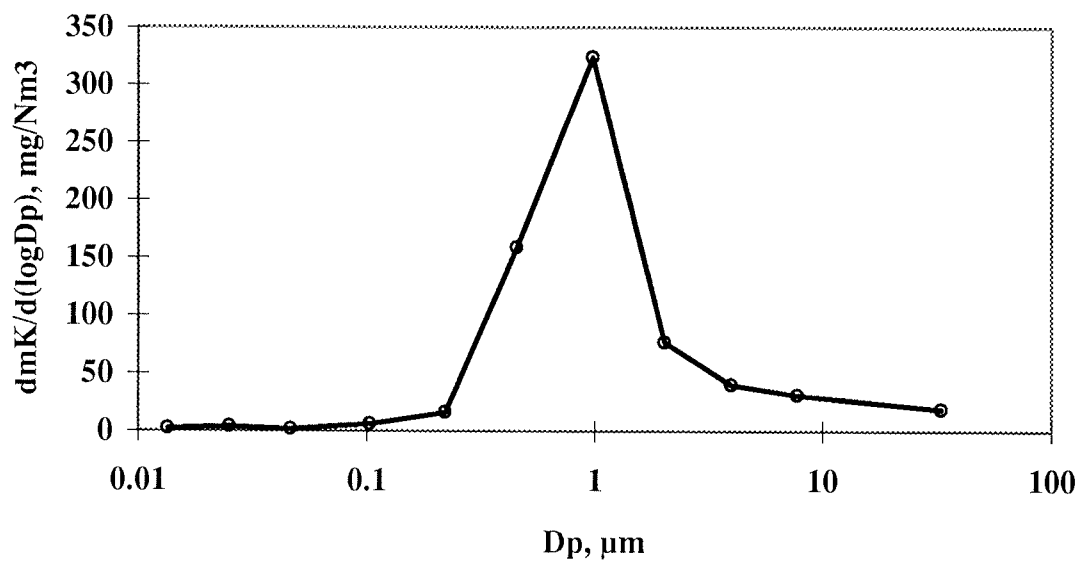


Natriumin ja sulfaatin massakokojakauma

Hiukkasten pitoisuudet
Oy Metsä-Botnia Ab:n Kemien tehtaiden soodakattilalla
7.9.1993 havulipeä 73 %
mitattu ennen sähkösuodatinta

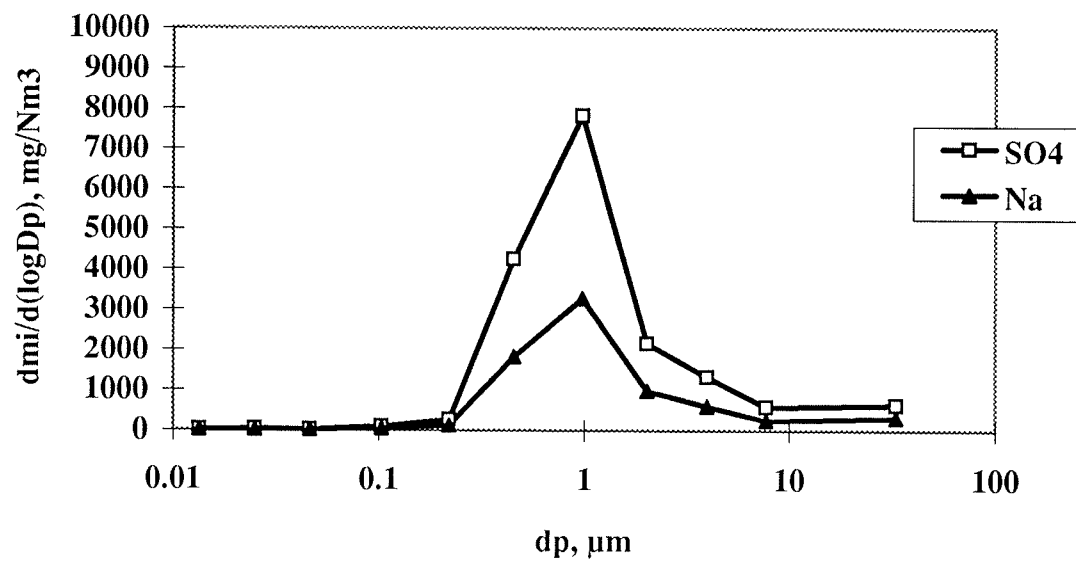


Kloorin massakokojakauma



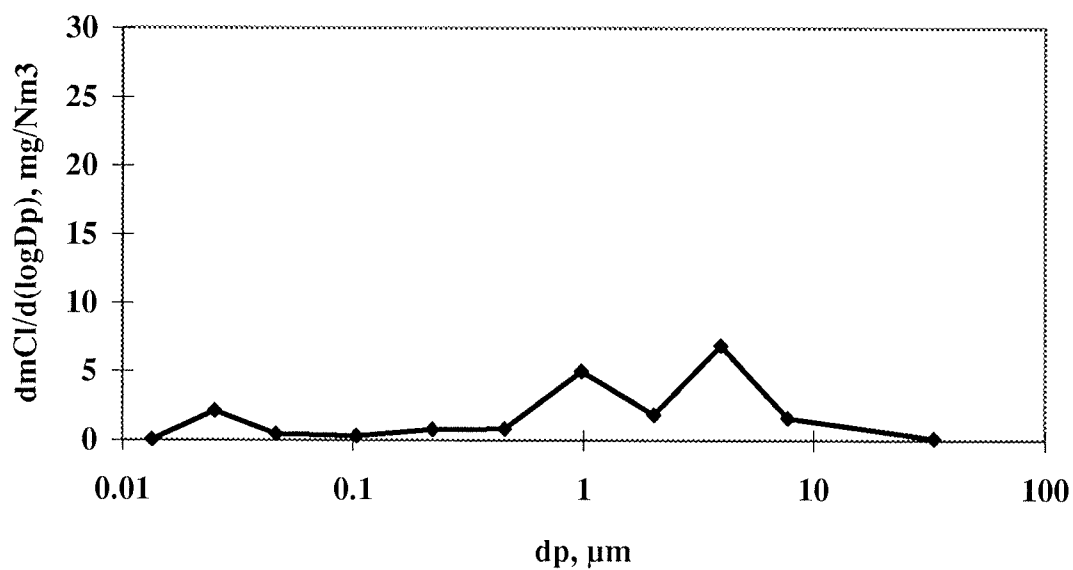
Kaliumin massakokojakauma

Hiukkasten pitoisuudet
Oy Metsä-Botnia Ab:n Kemin tehtaiden soodakattilalla
6.9.1993 havulipeä 83 %
mitattu ennen sähkösuodatinta

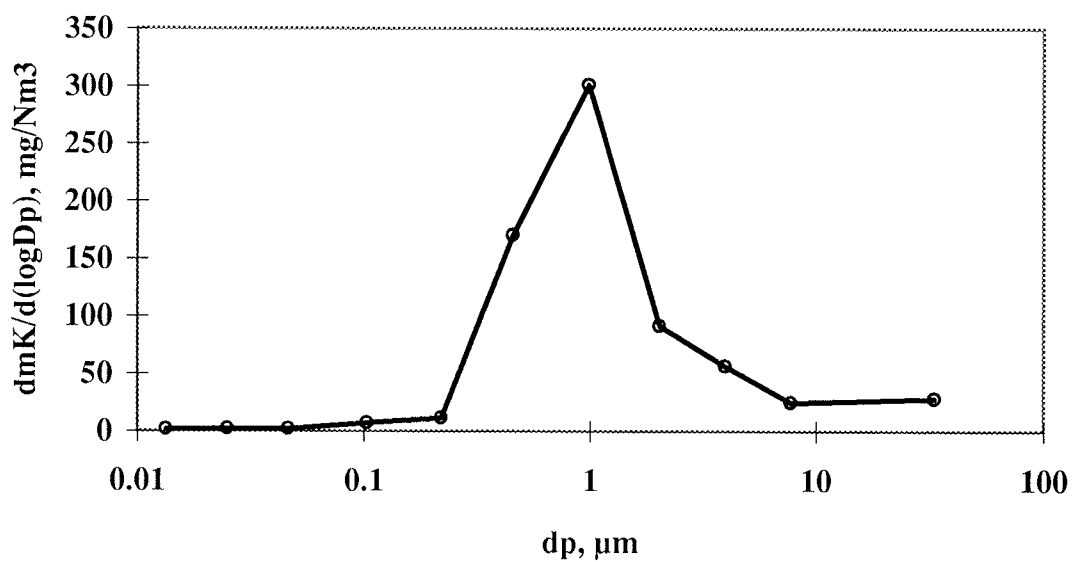


Natriumin ja sulfaatin massakokojakauma

Hiukkasten pitoisuudet
Oy Metsä-Botnia Ab:n Kemin tehtaiden soodakattilalla
6.9.1993 havulipeä 83 %
mitattu ennen sähkösuodatinta

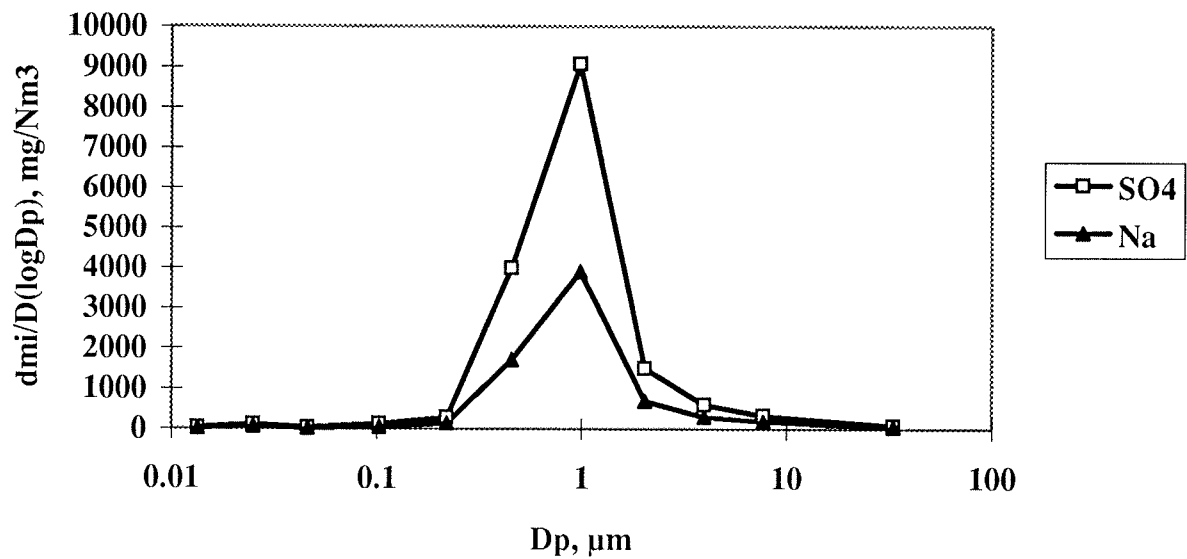


Kloorin massakokojakauma



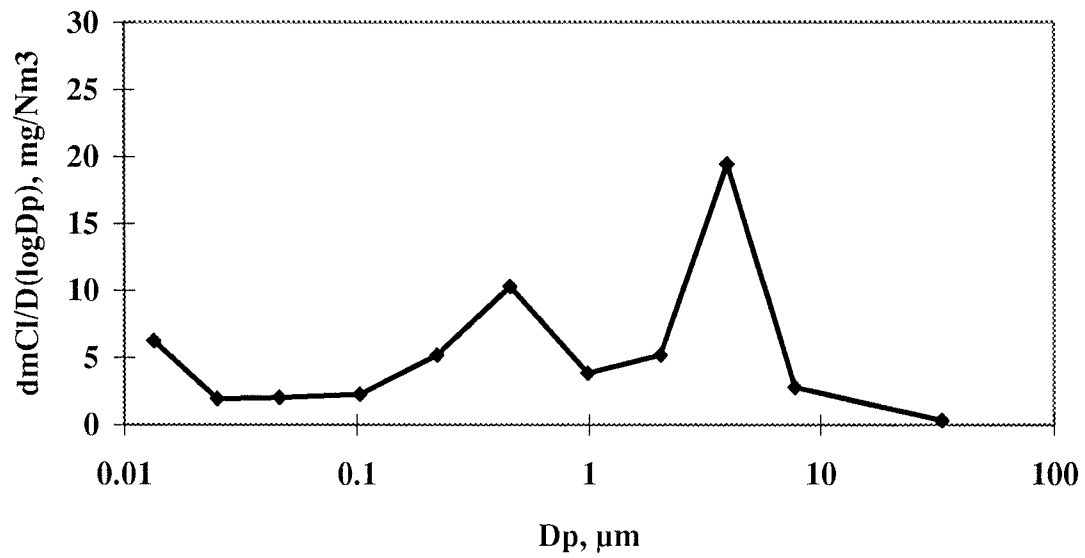
Kaliumin massakokojakauma

Hiukkasten pitoisuudet
Oy Metsä-Botnia Ab:n Kemin tehtaiden soodakattilalla
10.9.1993 sekalipeä 81 %
mitattu ennen sähkösuodatinta

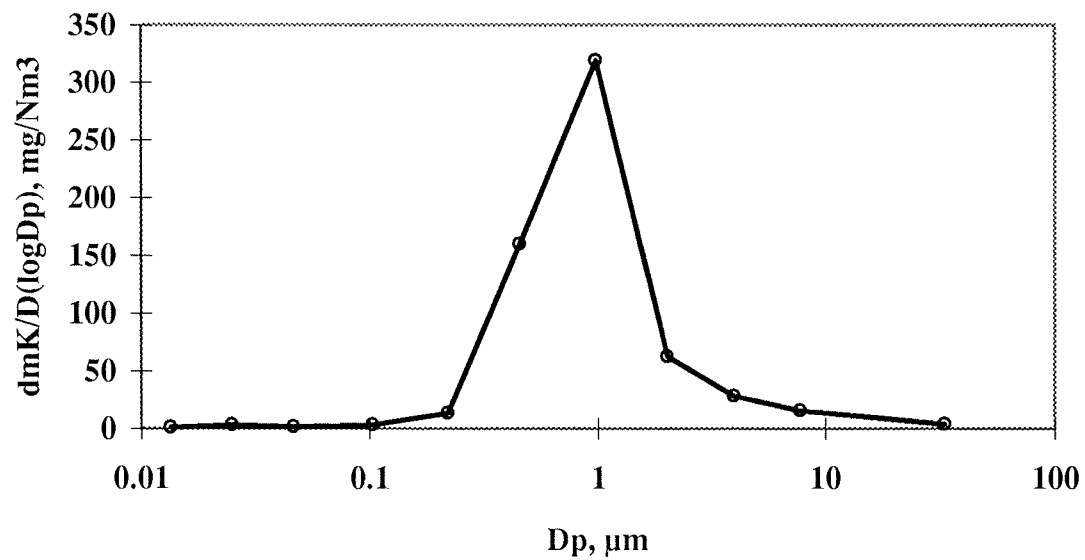


Natriumin ja sulfaatin massakokojakauma

Hiukkasten pitoisuudet
Oy Metsä-Botnia Ab:n Kemian tehtaiden soodakattilalla
10.9.1993 sekalipeä 81 %
mitattu ennen sähkösuodatinta



Kloorin massakokojakauma



Kaliumin massakokojakauma