

A large, stylized graphic of a mountain range with two prominent peaks, rendered in a light gray, textured style against a dark background.

**SELLUTEOLLISUUS
JA
ILMANSUOJELU**

**SELLUPROSESSIN
PÄÄSTÖT ILMAAN,
NIIDEN VÄHENTÄMINEN
JA TARKKAILU**

1992/1993

SISÄLLYSLUETTELO

sivu

1.	JOHDANTO	3
2.	SULFAATTIPROSESSI	3
	2.1 KEITTO	4
	2.2 HAIHDUTUS	7
	2.3 SOODAKATTILA	8
	2.4 KAUSTISTAMO	11
	2.5 MÄNTYÖLJYKEITTÄMÖ	11
3.	TÄRKEIMMÄT PÄÄSTÖT JA NIIDEN MUODOSTUMINEN	11
4.	SAVU- JA PROSESSIKAASUJEN PUHDISTUSMENETELMÄT	17
	4.1 SÄHKÖSUODATIN	18
	4.2 PESURIT	19
	4.3 HAJUKAASUJEN KERÄILY JA KÄSITTELY	22
	4.4 VALKAISIMOHÖNKIEN KÄSITTELY	24
5.	MAHDOLLISUUDET VÄHENTÄÄ PÄÄSTÖJÄ	24
6.	PROSESSI- JA PUHDISTINLAITTEIDEN KÄYTÖN TARKKAILU	26
	6.1 SÄHKÖSUODATTIMEN KÄYTÖN TARKKAILU	26
	6.2 PESURIEN KÄYTÖN TARKKAILU	27
	6.3 HAJUKAASUJEN KÄSITTELYN KÄYTÖN TARKKAILU	27
	6.4 VALKAISIMOHÖNKIEN KÄSITTELYN KÄYTÖN TARKKAILU	28
7.	PÄÄSTÖJEN TARKKAILU	28
	7.1 PÄÄSTÖMITTAUS	30
	7.1.1 Näytteenotto ja -käsittely päästömittauksissa	31
	7.1.2 Analyysimenetelmät päästömittauksissa	34
	7.1.2.1 SFS-standardimenetelmät	34
	7.1.2.2 Muut menetelmät	36
	7.1.3 Tilavuusvirtamittaus	38
	7.1.4 ON LINE-mittaukset	39
	7.2 KALIBROINTI	40
	7.3 EPÄSUORAT MITTAUKSET	42
	7.4 TASELASKELMAT	42
8.	ULKOILMAN LAADUN TARKKAILU	43
9.	RAPORTOINTI	43
	9.1 TEHTAAN SISÄINEN RAPORTOINTI	44
	9.2 VIRANOMAISILLE TEHTÄVÄT YHTEENVEDOT	44
	9.3 PÄÄSTÖTIETOJEN ILMOITTAMINEN	44
10.	KOULUTUS	45
11.	PÄÄSTÖJEN TARKKAILUN KUSTANNUKSET	45
	KIRJALLISUUS	47
	LIITE 1	48

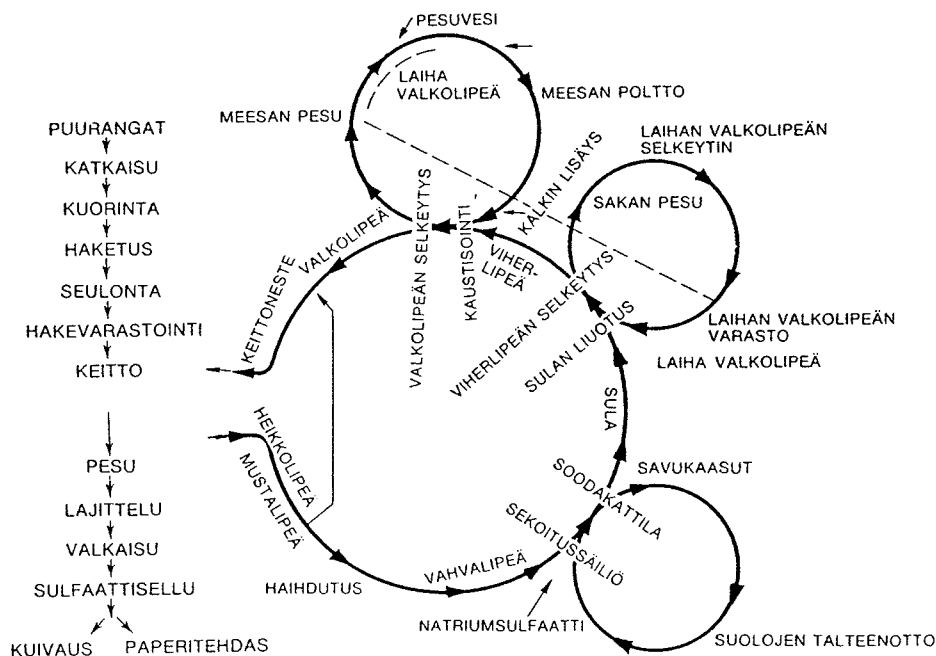
SELLUPROSESSIN PÄÄSTÖT ILMAAN JA NIIDEN TARKKAILU

1. JOHDANTO

Tämän yleisesityksen tarkoituksena on tutustuttaa lukija siihen laajaan kenttään, johon päästöjen tarkkailua suorittavan tai tarkkailusta vastaavan tulisi paneutua. Päästöjen tarkkailussa mukana olevien tulisi tuntea prosessin ja sen tärkeimpien päästöjen ja muodostumismekanismien lisäksi myös savu- ja prosessikaasujen puhdistusmenetelmät. Riittävässä määrin tulisi tuntea myös ne keinot, joita on tarjolla tyydyttävän tarkkailun suorittamiseksi. Tarkkailussa mukana olevien tulisi näinollen olla selvillä käytöntarkkailusta ja siinä suoritettavista mittauksista. Päästöjen mittauksen lisäksi olisi myös tunnettava ilmansuojelun sopimukset ja säädökset.

2. SULFAATTIPROSESSI

Yleisin sellunvalmistusmenetelmä on sulfaattiprosessi, joka käyttää raaka-aineenaan sekä havu- että lehtipuuta. Sulfaattiprosessi on kaaviona havainnollistettu kuvassa 1.



Kuva 1. Kaaviokuva sulfaattiprosessista (1).

Keiton tehtävänä on erottaa puun kuituja sitova ligniini puusta siten, että kuidut vapautuvat niin vahingoittumattomina kuin mahdollista. Sulfaattikeitossa puuta käsitellään vahvasti alkalisella valkoipeällä, joka sisältää Na_2S :a ja NaOH :a. Keitoneste irroittaa ligniinin lisäksi myös puun hartseja, rasvoja ja terpeenejä, jotka erottuvat keiton jälkeen sulfaattisuopana. Tämä suopa palstoitetaan hapolla mäntyöljyksi.

Keiton jälkeen massa erotetaan keittoliemestään massan pesuosastolla. Keittolientä kutsutaan mustalipeäksi. Mustalipeän kuiva-ainepitoisuus on tässä prosessivaiheessa kuitenkin niin alhainen, että mustalipeää ei sellaisenaan voida johtaa soodakattilaan poltettavaksi. Siitä on ensin poistettava vettä riittävästi haihduttamossa. Haihduttamon raaka-aineena on siis massan pesuosastolta saatava pesulipeä ja tuotteena soodakattilalle polttoon menevä vahvalipeä.

Mustalipeän sisältämä energiamäärä on tässä vaiheessa jo varsin huomattava. Keittonesteeseen liuenneen orgaanisen aineen lämpöarvo on suunnilleen sama kuin puun ja sen määrä noin puolet raaka-aineesta. Soodakattilaan syötetystä energiasta liki 90 % tulee poltettavasta mustalipeästä ja noin 60 % kattilaan tuodusta energiasta saadaan talteen höyryä tuottamalla.

Soodakattila toimii myös sellutehtaan kemikaalikierron ensimmäisenä vaiheena. Mustalipeän epäorgaanisten Na-yhdisteiden talteenotto on tehtaan toiminnan kannalta katsoen erittäin tärkeä toimenpide. Na-yhdisteet on lisäksi saatettava sellaiseen muotoon, että ne voidaan käyttää uudestaan valkolipeän valmistuksessa. Mustalipeä poltetaankin sen vuoksi pelkistävässä oloissa, jotka aikaansaadaan johtamalla mahdollisimman vähän ilmaa kattilan alaosaan. Soodakattilan pohjasta ulosvaluva sula liuotetaan ja jäähdytetään laimealla lipeäliuoksella tarkoitusta varten rakennetussa säiliössä nk. sulaliuottajassa. Syntynyttä liuosta kutsutaan viherlipeäksi, joka sisältää pääasiassa Na_2S :a sekä Na_2CO_3 :a.

Kaustistamalla viherlipeä muutetaan eli kaustisoidaan valkolipeäksi lisäämällä viherlipeään sammutettua kalkkia, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, jota on valmistettu sekoittamalla CaO :a veteen. Tällöin viherlipeän Na_2CO_3 muuttuu NaOH :ksi ja kaustisoinnin toisena tuotteena syntynyt CaCO_3 eli nk. meesa poltetaan pyörivässä putkiuunissa eli meesauunissa CaO :ksi noin $1200\text{ }^\circ\text{C}$ lämpötilassa, jota käytetään em. kaustisoinnissa.

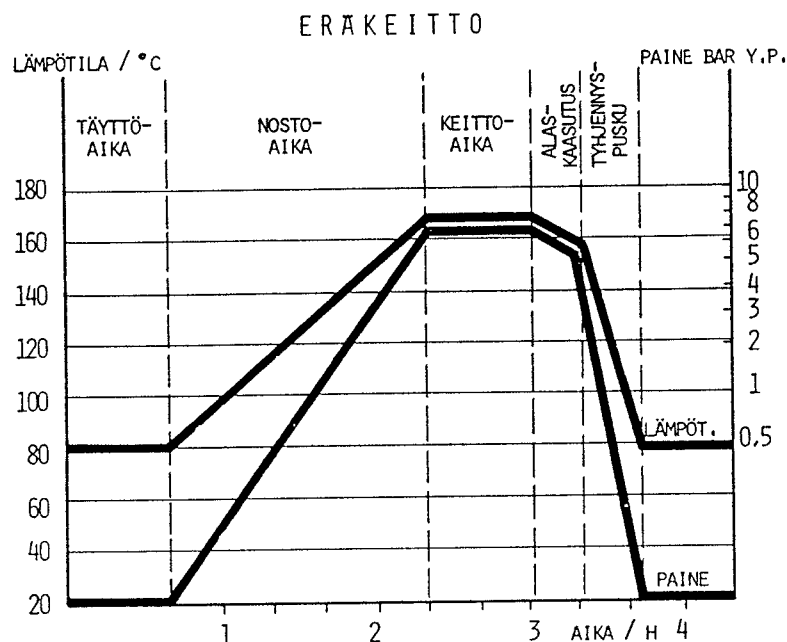
Näin on soodakattilan ja kaustistamon avulla valmistettu keiton jälkeisestä jätelipeästä uutta keittolipeää. Tämä kemikaalikierto ei ole mikään ikiliikkuja, vaan prosessiin on syötettävä uutta kalkkikiveä sekä glaubersuolaa (Na_2SO_4) keittolipeän Na/S-suhteen ylläpitämiseksi toivotulla tasolla.

2.1 KEITTO

Keiton tehtävänä on siis erottaa puun kuituja sitova ligniini puusta siten, että kuidut vapautuvat niin vahingoittumattomina kuin mahdollista. Keittokemikaalien on tästä syystä päästävä tehokkaasti imeytymään hakkeen kaikkiin osiin jo ennen varsinaista keittoa.

Sulfaattisellun keitossa käytetään raaka-aineena lähinnä mäntyä ja koivua sekä myös huomattavia määriä saharahaketta. Mäntypuu sisältää noin 27 % ligniiniä sekä 4 % hartsia, rasvoja, proteiinia ja mineraaleja. Loput on puun kuiduissa olevaa selluloosaa ja hemiselluloosaa. Koivussa on jonkin verran vähemmän ligniiniä kuin männyssä.

Keitto tapahtuu joko erä- tai jatkuvatoimisissa vuokeittimissa. Kuvassa 2 on esitetty eräkeiton keittokaavio.



Kuva 2. Eräkeiton keittokaavio (1).

Sulfaattikeitossa puuta käsitellään vahvasti alkalisella valkolipeällä, joka sisältää noin 70 g NaOH/l ja 30 g Na₂S/l sekä jonkin verran Na₂CO₃:a ja Na₂SO₄:a. Valkolipeässä on myös pieniä määriä muita natriumsuoloja ja kemikaaleja. Puun varsinainen kuiduttaja on nk. vaikuttava alkali eli NaOH + Na₂S. Natriumsulfidin %-osuutta vaikuttavassa alkalissa kutsutaan sulfiditeetiksi.

Keittoneste irroittaa ligniinin lisäksi myös puun hartseja, rasvoja ja terpeenejä. Puun hartsi- ja rasvahapot muodostavat valkolipeän alkalin kanssa natriumsaippuoita, jotka erottuvat keiton jälkeen sulfaattisuopana. Tämä suopa palstoitetaan hapolla mäntyöljyksi.

Keiton onnistumiseen vaikuttavat puun ominaisuudet ja hakelaatu, alkalisuhte, puu-nestesuhde, sulfiditeetti sekä aika ja lämpötila. Sulfaattimassaa pyritään keittämään niin matalassa maksimilämpötilassa kuin mahdollista. Riippuen toivotusta kuidutusasteesta keittolämpötila on 165-180 °C. Ylösajon aikana keitto kaasataan, jolloin tärpähtihöyryt ja osa muista kaasuista poistuvat keittimestä. Kaasaustavat vaihtelevat eri tehtaissa. Paineaika ja lämpötila on pidettävä tarkoin oikeana tasaisen tuloksen saavuttamiseksi. Paineaika on n. 40 min, jonka jälkeen alkaa paineen alennus ja pusku. Yhteen sulfaatti-keittoon kuluu aikaa noin 4,5 h. Keitto voidaan jakaa seuraavaan kuuteen vaiheeseen:

- haketäyttö
- lipeätäyttö
- ylösajo
- kaasaus
- keiton päättäminen ja paineenalennus
- tyhjennys

Mahdollisimman tasaisen massalaadun aikaansaamisessa on ratkaisevan tärkeää keittimen oikea haketäyttö. Haketäytön, höyrytyksen ja ilmanpoiston jälkeen keittoliemi pumpataan keittimeen, jolloin keittimestä poistuu ilma.

Lipeätäytön jälkeen alkaa keittimen lämmitys. Keittimessä olevan paineen ja lämpötilan on noudatettava kyllästyneen höyryn välistä yhteyttä. Tämä edellyttää keiton aikana muodostuneiden kaasujen poisjohtamista.

Sopivassa paineessa aloitetaan kaasaus, joka jatkuu keittimen koko ylösajon ajan. Vaikka kaasaus pyritään tekemään varovaisesti joko käsin tai automatiikan avulla, ei kaasauksessa voida kuitenkaan kokonaan välttyä siltä, että vaahtoa ja lipeää poistuu keittimestä vesihöyryn ja pahanhajuisten rikkiyhdisteiden mukana. Poistokaasuista otetaan talteen raakatärpätti. Poistokaasun metanoli voidaan polttaa.

Kun maksimilämpötila ja -paine on saavutettu, kaasaus lopetetaan ja keitin pidetään kokonaan suljettuna seuraavan paineajan. Keiton päättyessä paine lasketaan tasolle, joka on sovelias seuraavalle prosessivaiheelle eli puskulle.

Puskukaasut sisältävät edelleen mm. tärpättiä, joka on huonompilaatuista kuin aikaisemmassa kaasauksessa. Ne sisältävät paitsi hiilidioksidia ja muurahaishappoa myös vahvasti pahanhajuisia rikkiyhdisteitä, kuten esim. merkaptania ja dimetyylisulfidia.

Puskun aikana valmiiksi keitetty sulfaattisellu siirretään keittimestä sille varattuun tilaan. Samanaikaisesti otetaan talteen lipeän ja massan sisältämä lämpö, mikä vapautuu puskuhöyryjen muodossa. Keittimessä vallitseva ylipaine työntää valmiin massan keittimestä. Keiton aikana pehmenneet hakepalaset kuituuntuvat tehokkaasti kiivaan höyrynlajenemisen takia.

Puskun jälkeen massa ja lipeä erotetaan toisistaan pesussa joko tavallisissa tai jatkuvatoimisissa diffusööreissä, pesusuodattimissa tai pesupuristimissa.

Sulfaattisellun valmistuksessa siirryttiin 1970-luvun alussa jatkuvatoimisiin keittimiin nk. vuokeittimiin, joissa on periaatteessa kaikki samat vaiheet kuin edellä kuvatussa eräkeitossakin. Hake syötetään tasaisena virtana keittimeen yhdessä keittoliemen kanssa, samanaikaisesti kun vastaava määrä sellua ja mustalipeää puhalletaan ulos. Jatkuvatoimisen keittämön toimintaprosessi voidaan jakaa pääosin seuraaviin viiteen eri vaiheeseen:

- hakkeen syöttö ja höyrytys
- hakkeen ja lipeän syöttö imeytystorniin ja imeytys

- hakkeen syöttö keittimeen ja keitto
- keitinpesu
- massan pusku.

Keittimissä, joissa ei ole imeytystornia, syötetään hake ja lipeä ilman erillistä imeytysvaihetta suoraan keittimeen.

Alkuperäinen tyyppi oli ns. hydraulinen Kamyr-keitin, joka edelleen on tavallinen. Hydraulinen keitin soveltuu helposti imeytyvän puun, kuten lehtipuun keittoon. Esi-imeytyksellä voidaan imeytystä parantaa entisestään. Kaikki vuoden 1970 jälkeen Suomeen rakennetut keittimet ovat erillisellä esi-imeytystornilla varustettuja höyry/nestefaasi Kamyr-keittimiä. Myös sahanpurua käytetään hyödyksi sulfaattikeitossa. Monissa tehtaissa sahanpuru sekoitetaan tavalliseen hakkeeseen. Sahanpurulle voidaan myös rakentaa oma keitin, jolloin puru tulee keitetyksi sille sopivissa olosuhteissa.

Erä- ja vuokeittomenetelmät kehittyivät 1980-luvulla sellaisiksi, että niiden avulla saavutetaan aikaisempaa alhaisempia kappalukuja eli massassa on keiton jälkeen yhä pienempiä määriä ligniiniä. Menetelmät kehitettiin lähinnä lämmönkuluksen pienentämiseksi, mutta samalla pieneni myös valkaisukemikaalien kulutus ja orgaanisten klooriyhdisteiden määrä valkaisun jätevesissä. Nk. jatketuista eräkeittomenetelmistä voidaan mainita Sund-Celleco-menetelmä, RDH-prosessi sekä Super-Batch-menetelmä. Jatketun vuokeittomenetelmän on kehittänyt Kamyr Ab, joka käyttää menetelmästä nimeä MCC (Modified Continuous Cooking)-menetelmä.

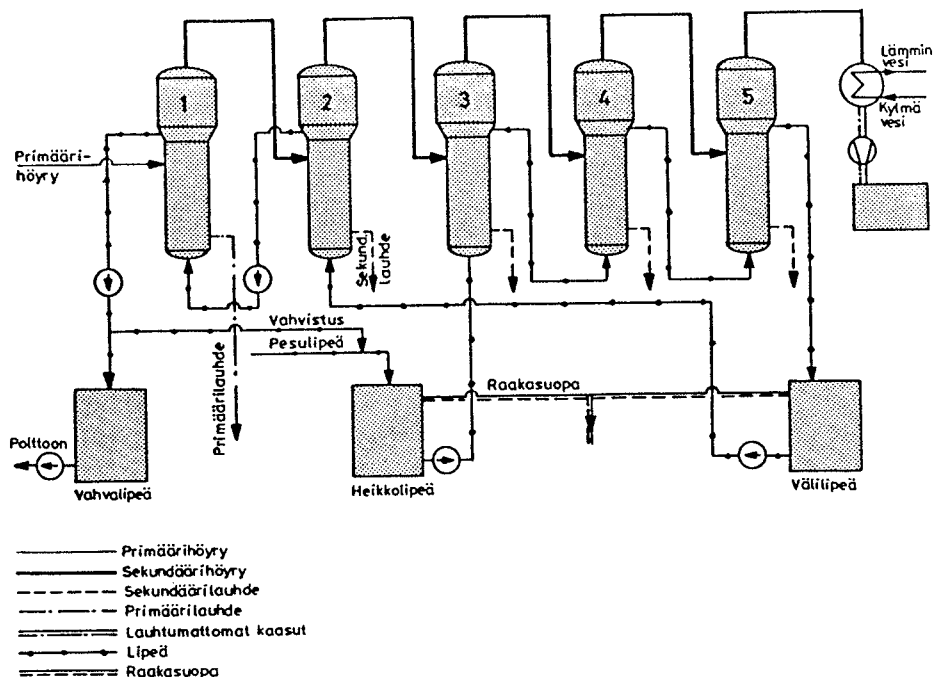
2.2 HAIHDUTUS

Keiton jälkeen massa erotetaan keittoliemestään massan pesemöllä. Keittoliemi sisältää tässä vaiheessa keitossa käytetyn epäorgaanisen kemikaaliaineksen lisäksi noin puolet keittoon käytetystä puusta, ja sitä kutsutaan yleisnimikkeellä mustalipeä. Mustalipeän kuiva-ainepitoisuus on tässä prosessivaiheessa kuitenkin niin alhainen, että mustalipeää ei sellaisenaan voida johtaa soodakattilaan poltettavaksi, vaan siitä on poistettava vettä niin, että mustalipeä voidaan polttaa. Tämä tapahtuu haihduttamossa. Haihduttamon raaka-aineena on siis massan pesemöltä saatava pesulipeä ja tuotteena soodakattilalle polttoon menevä vahvalipeä. Kuvassa 3 on esitetty yksi esimerkki haihduttamosta.

Ennen haihduttamoa poistetaan mustalipeän pintaan noussut raakasuopa, joka kuoritaan lipeäsäiliöistä ja pumpataan mäntyöljykeitämölle, missä se palstoitetaan rikkihapolla raa'aksi mäntyöljyksi.

Haihduttimia on kolmea tyyppiä:

- pakkokierto-*topaisuntahaihdutin*
- falling-film-haihdutin
- rising-film-haihdutin



Kuva 3. Monivaihehaihduttamon kaaviokuva (2).

Mustalipeän haihdutukseen käytetään yleisimmin rising-film-haihdutinta sekä lipeän loppuväkeväintiin pakkokiertoaisuntahaihdutinta, jota tehtävänsä mukaan kutsutaan myös väkevöittimeksi.

Haihduttamo muodostuu yleensä 4-10 haihduttimesta riippuen sarjan kytkennästä. Yleisimmin on Suomessa käytössä 5-vaiheisia haihdutinsarjoja, vaikkakin useimmat uusista haihduttamoista ovat jo lämpötaloudellisista syistä 6-vaiheisia. Pyritäessä korkeisiin kuiva-ainepitoisuuksiin kytketään jonkin haihduttimen rinnalle väkevöitin.

Haihduttimien lisäksi haihduttamoon kuuluu oleellisena osana tyhjälauhdutin. Tyhjälauhduttimessa otetaan haihduttamolle tuotu lämpö talteen, lämmittämällä viimeisen haihduttimen haihdehöyryllä vettä. Nykyiset ympäristönsuojeluvaatimukset pakottavat käyttämään epäsuoraa lauhdutusta eli pintalauhdutusta.

Haihduttamotekniikassa tapahtunut kehitys ja siirtyminen paineettomasta paineelliseen haihdutukseen on mahdollistanut poltettavan mustalipeän kuiva-ainepitoisuuden noston liki 80 %:iin. Haihdutus tunnetaan nimellä superkonsentroidi. Vaikka poltto tapahtuu tavanomaisissa soodakattiloissa, on mustalipeän poltto-ominaisuuksien huomattavan parantumisen myötä vakiintunut käsite superpoltto.

2.3 SOODAKATTILA

Suomessa on tällä hetkellä yhteensä 22 soodakattilaa käynnissä. Näissä kattiloissa poltetaan tänä vuonna (1992) mustalipeää 30 500 tka/vrk, joten keskimääräinen

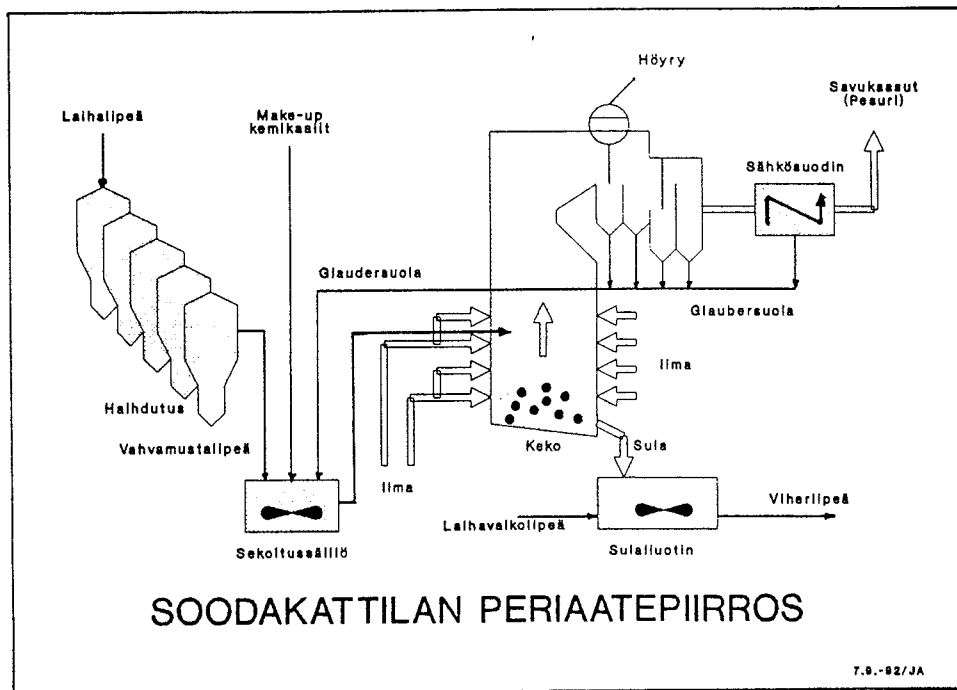
polttokapasiteetti on 1400 tka/vrk. Kattiloiden keskimääräinen ikä on tämän vuoden lopussa 15 vuotta. Kattiloiden käyttöikä on noin 30 vuotta.

Haihduuttamolta pumpataan väkevä mustalipeä soodakattilalle poltettavaksi. Kaaviokuva soodakattilasta on esitetty kuvassa 4. Soodakattila koostuu varsinaisesta kattilasta, joka roikkuu kannattimien varassa. Normaalisissa soodakattilalaitoksessa on mm. kaksi lieriötä, joiden välissä on kattilan kosketustulipinnat. Tänne tuodaan höyrystettävä vesi. Höyryn lämpötila nostetaan tulistimissa yli kyllästyslämpötilan eli höyry tulistetaan. Soodakattilaan syötetään yleensä kolmelta eri tasolta polttoilmaa.

Mustalipeän sisältämä energiamäärä on varsin huomattava. Keittonesteeseen liuenneen orgaanisen aineen lämpöarvo on suunnilleen sama kuin puun ja sen määrä on noin puolet raaka-aineesta. Soodakattilaan syötetystä energiasta liki 90 % tulee poltettavasta mustalipeästä, jonka kalorimetrinen lämpöarvo 15,1 MJ/kg ka. Noin 60 % kattilaan tuodusta energiasta saadaan talteen höyryä tuottamalla.

Soodakattilaa ei ole kehitetty pelkästään höyryä tuottavaksi, vaan se toimii samalla myös sellutehtaan kemikaalikierron ensimmäisenä vaiheena. Soodakattilassa mustalipeän epäorgaaniset Na-yhdisteet saatetaan sellaiseen muotoon, että ne voidaan käyttää uudestaan valkolipeän valmistuksessa.

Mustalipeä poltetaan sen vuoksi pelkistävissä oloissa, jotka aikaansaadaan johtamalla mahdollisimman vähän ilmaa kattilan alaosaan.



Kuva 4. Soodakattila.

Kattilan alaosan pelkistävissä olosuhteissa muodostuu savukaasuihin runsaasti rikkivetyä, joka hapettuu SO₂:ksi kattilan ylemmissä kerroksissa, missä vallitsee

hapettavat olosuhteet. Hapettavat olosuhteet taas aikaansaadaan johtamalla kattilan ylempiin kerroksiin riittävästi ilmaa. Kattilan alaosassa muodostuu savukaasuihin myös runsaasti häkää (CO), joka kattilan ylemmissä kerroksissa hapettuu hiili-dioksidiksi.

Polttoon johdettava yhteisilmamäärä on täysin riippuvainen poltettavan lipeän määrästä ja sen ominaisuuksista. Mikäli kattilaan johdetaan liian paljon ilmaa, laskee savukaasun lämpötila, jolloin rikkidioksidi helposti hapettuu edelleen rikkiatrioksidiksi (SO_3) ja edelleen rikkihapoksi. Tämä aiheuttaa mm. korroosiota. Mikäli taas kattilaan johdetaan liian vähän ilmaa jää kattilan alaosassa muodostunut savukaasujen häkä hapettumatta. Jonkin ajan kuluttua alkaa myös rikkivetyä (H_2S) esiintyä savukaasuissa.

Soodakattilassa tarkoituksellisesti aikaansaatu SO_2 reagoi kattilan ylemmissä kerroksissa höyrystyneen natriumin kanssa muodostaen hiukkasmaista Na_2SO_4 :a. Kattilaa pyritään ajamaan siten, että rikkidioksidi sitoutuisi natriumiin kutakuinkin täydellisesti.

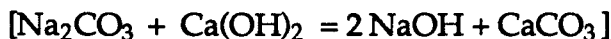
Na_2SO_4 -pitoinen savukaasu virtaa soodakattilan tulistinputkien ja lämmöntalteenotto-osan, nk. ekonomiserin, kautta sähkösuodattimeen, jossa suurin osa, noin 99,9 %, Na_2SO_4 :sta erottuu savukaasuvirrasta. Sähkösuodattimessa savukaasu johdetaan maadoitettujen kokoojalevyjen ja varauksen synnyttävien emissioelektrodien väliin. Korkea jännite (20-70 kV) emissioelektrodeissa aiheuttaa negatiivisten ionien irtoamisen, jotka törmäävät kaasumolekyyleihin ja Na_2SO_4 -hiukkasiin. Tällöin varautuneisiin hiukkasiin vaikuttaa sähköinen voima, joka vetää ne kokoojalevyihin. Kiinnittyneet hiukkaset ravistellaan aika ajoin irti kokoojalevyistä. Pieniin hiukkasiin kohdistuva voima sähkökentässä on useita tuhansia kertoja voimakkaampi kuin painovoima. Tämän takia sähkösuodattimien erotuskyky on hyvä myös pienille hiukkasille, kuten esimerkiksi Na_2SO_4 :lle, jonka hiukkaskoko on pienempi kuin $1\text{ }\mu\text{m}$ (tuhannesosa mm). Sähkösuodattimessa erotettu Na_2SO_4 syötetään takaisin poltettavan mustalipeän joukkoon.

Soodakattilan pohjasta valuva sula liuotetaan ja jäähdytetään laimealla lipeä-liuoksella tarkoitusta varten rakennetussa sulaliuottajassa. Syntynyttä liuosta kutsutaan viherlipeäksi, joka pääasiallisesti sisältää Na_2S :a sekä Na_2CO_3 :a.

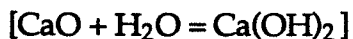
Talteenotto-prosessin hyvyttä arvioidaan sekä määrällisesti että laadullisesti. Määrällisesti hyvä talteenotto saadaan, kun häviöt ovat pienet. Soodakattilassa tämä tarkoittaa, että mahdollisimman vähän natriumista ja rikistä pääsee karkuun, esim. savukaasujen ja pesunesteiden mukana. Talteenoton laadullisella hyvyydellä tarkoitetaan tuotetun sulan tai viherlipeän soveltuvuutta uuden keittonesteen valmistuksessa. Mahdollisimman paljon rikistä on saatava sulfidimuotoon. Tämä ilmaistaan reduktioasteella, joka kertoo mm. montako prosenttia kokonaisrikistä on muuttunut sulfidiksi.

2.4 KAUSTISTAMO

Kemikaalikierron viimeinen vaihe on kaustistamo, missä viherlipeän Na_2CO_3 muutetaan eli kaustisoidaan NaOH :ksi lisäämällä viherlipeään sammutettua kalkkia, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ seuraavan reaktiokaavan mukaisesti:



Sammutettu kalkki on valmistettu sekoittamalla meesauunilla valmistettua CaO :a veteen. Kalkin sammuttaminen tapahtuu seuraavan reaktiokaavan mukaisesti:



Kaustisoinnin toisena tuotteena syntynyt CaCO_3 :a eli nk. meesa laskeutuu reaktiosäiliön pohjalle lipeästä helposti erotettavana sakkana. Tämä poltetaan pyörivässä putkiuunissa eli meesauunissa takaisin CaO :ksi noin $1200\text{ }^\circ\text{C}$:n lämpötilassa seuraavan reaktiokaavan mukaisesti:

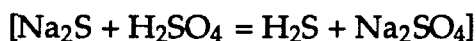


2.5 MÄNTYÖLJYKEITTÄMÖ

Puun sisältämät uuteaineet, jotka koostuvat erilaisista rasva- ja hartsihapoista, irtoavat alkalisen sellunkeiton aikana puusta ja saippuoituvat natriumsaippuoiksi. Nämä saippuat muodostavat mustalipeässä misellejä, jotka yhtyvät toisiinsa ja nousevat lipeää kevyempinä pinnalle suovaksi. Suopa erotetaan lipeästä ja palstoitetaan (hajoitetaan) rikkihapon ja lämmön avulla raa'aksi mäntyöljyksi seuraavan viitteellisen reaktiokaavan mukaisesti:

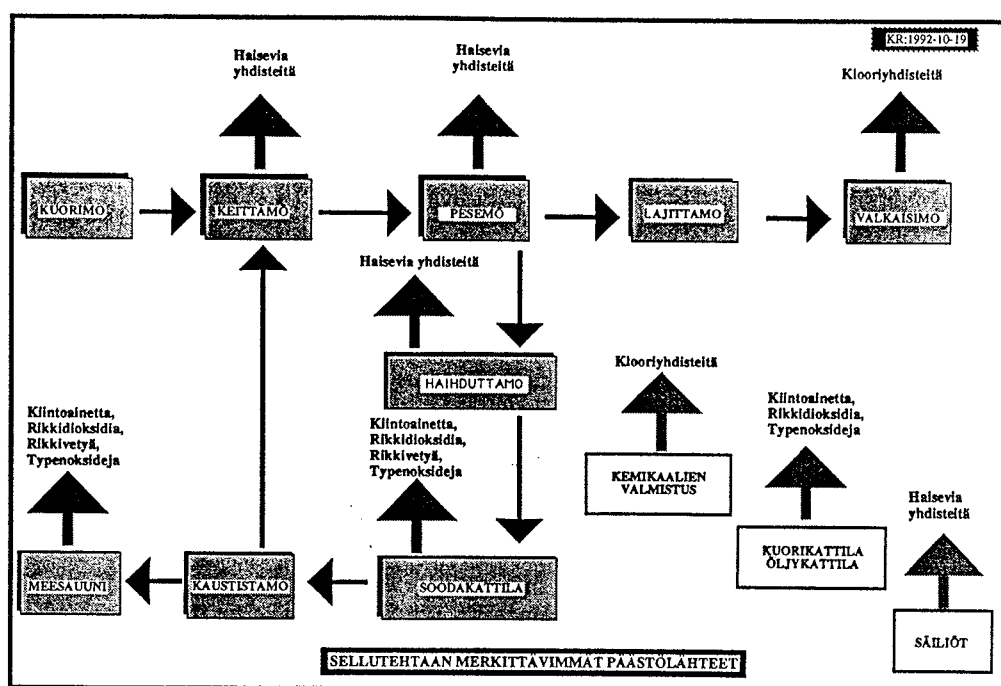


Erotettuun suopaan jää aina huomattavia määriä mustalipeää, 3-20 % suovan määrästä. Mustalipeän sisältämä Na_2S muuttuu suovan hapotuksen yhteydessä rikkivedyksi (H_2S) ja häviää keittimestä poistokaasujen mukana seuraavan reaktiokaavan mukaisesti:



3. TÄRKEIMMÄT PÄÄSTÖT JA NIIDEN MUODOSTUMINEN

Sulfaattiprosessin merkittävimmät päästölähteet ovat keittämö, soodakattila ja meesauuni (Kuva 5). Päästökohteina voidaan vielä mainita massan pesu, mäntyöljykeittämö ja lauhdeiden höyrystrippaus. Yleinen suuntaus on se, että tehdään päästölähteiden lukumäärä pienenee uudisrakentamisen myötä.

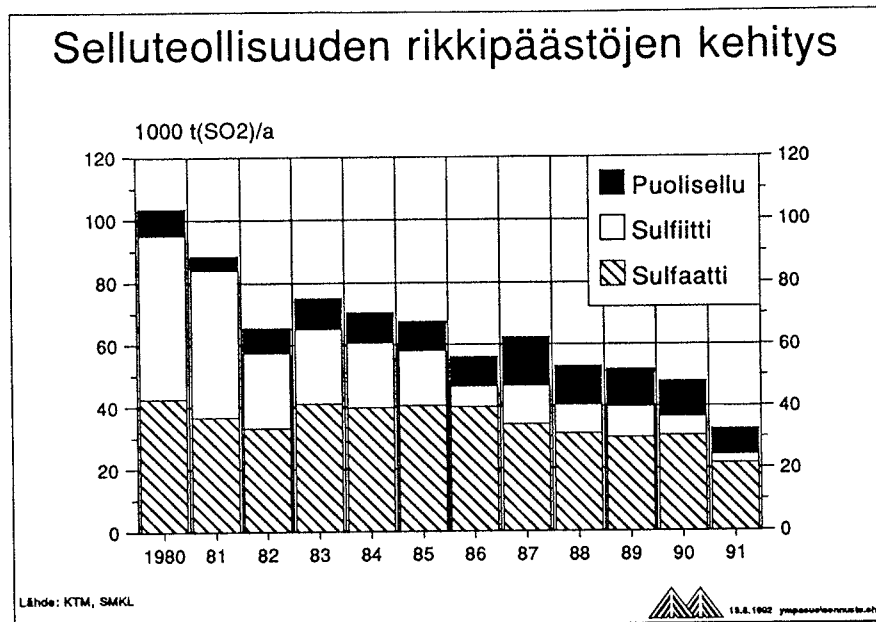


Kuva 5. Sellutehtaan päästölähteet.

Vanhoissa tehtaissa saattaa päästölähteitä olla liki sata, kun sitä vastoin uudemmissa tehtaissa päästölähteitä on jo alle kymmenen. Haisevat ns. TRS-yhdisteet (ks. sivu 16) kerätään nykyaikaisessa tehtaassa talteen ja poltetaan joko soodakattilassa, meesauunissa tai erillisessä polttolaitoksessa. Sähkösuodattimet ovat viime vuosina entisestään tehostuneet. 1970-luvun alussa asetettiin esimerkiksi soodakattilan kiintoainepäästölle ohjearvo 250 mg kiintoainetta/m³n kuivaa kaasua. Nykyisin viranomaiset vaativat, että soodakattiloiden ja meesauunien savukaasujen kiintoainepitoisuus on enintään 150 mg/m³n kuivaa kaasua. Nykyisillä sähkösuodattimilla on jo sellainen erotuskyky, että ulkoilmaan purkautuvissa savukaasuissa kiintoainepitoisuus on enää vain muutamia kymmeniä mg/m³n kuivaa kaasua. Meesan pesua on parannettu ja mäntyöljyn valmistuksesta on osittain luovuttu. Tällöin suopa poltetaan sellaisenaan.

Rikin oksidit (SO_x)

1980-luvulla sellutehtaiden SO₂-päästöt puoliintuivat ja kehitys näyttää jatkuvan yhtä myönteisenä tälläkin vuosikymmenellä. Vuoden 1991 selluteollisuudesta pääsi ilmaan yhteensä enää 32 600 tonnia SO₂.



Kuva 6. Kokonaisrikkipäästöjen (SO₂ + TRS) kehitys.

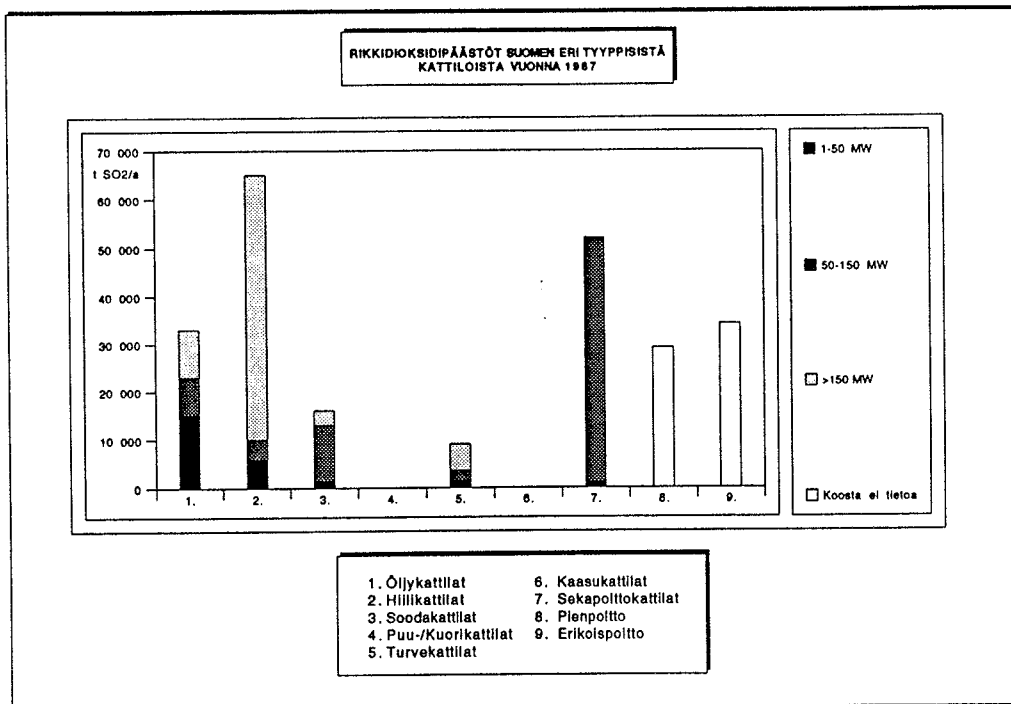
Rikin oksideilla tarkoitetaan yleensä vain kaasumaista rikkidioksidia, vaikka pieni määrä (yleensä < 1 %) savukaasujen rikkidioksidista reagoi rikkiatrioksidiksi ja edelleen rikkihapoksi.

Energiantuotannossa polttoaineet ovat ydinvoimaa lukuunottamatta fossiilista alkuperää. Selluntuotannossa energiaa tuotetaan biopolttoaineista, kuten mustalipeästä sekä kuori- ja puujätteestä. Fossiilisia polttoaineita käytetään näissä kattiloissa pelkästään tukipolttoaineena. Kuorikattiloissa tukipolttoaineen vaikutus jää pieneksi, koska pääpolttoaineen eli puun ja kuoren rikkipitoisuus on erittäin alhainen (<0,05 %). Lisäksi tukipolttoaineesta vapautunut rikkidioksidi sitoutuu tehokkaasti alkaliseen tuhkaan.

Selluteollisuuden soodakattilat poikkeavat energiatuotannon kattiloista siinä, että ne tuottavat sekä energiaa että kemiallisia yhdisteitä. Soodakattilassa syntyy kattilan pelkistävässä alaosassa poltettavan mustalipeän rikistä ensin runsaasti rikkivetyä, joka kattilan hapettavassa yläosassa hapettuu rikkidioksidiksi, joka edelleen reagoi natriumhöyryn kanssa natriumsulfaatiksi.

Soodakattiloiden ja puu- ja kuorikattiloiden suhteellisen vähäinen merkitys rikkidioksidipäästöjen aiheuttajina verrattuna esimerkiksi energiantuotannon öljy- ja hiilikattiloihin nähdään kuvasta 7. Arvot on saatu laajasta kattilaselvityksestä (3).

Rikkidioksidia muodostuu selluteollisuudessa runsaasti myös hävitettäessä polttamalla pelkistyneitä rikkiyhdisteitä. Esim. meesauunissa poltetaan muilta osastoilta kerätyt väkevät hajukaasut, jotka uunissa palavat rikkidioksidiksi. Muodostunut rikkidioksidi sitoutuu kuitenkin suurelta osin kalkkiin ja poistuu prosessista liukenemattomana kipsinä, CaSO₄:na.



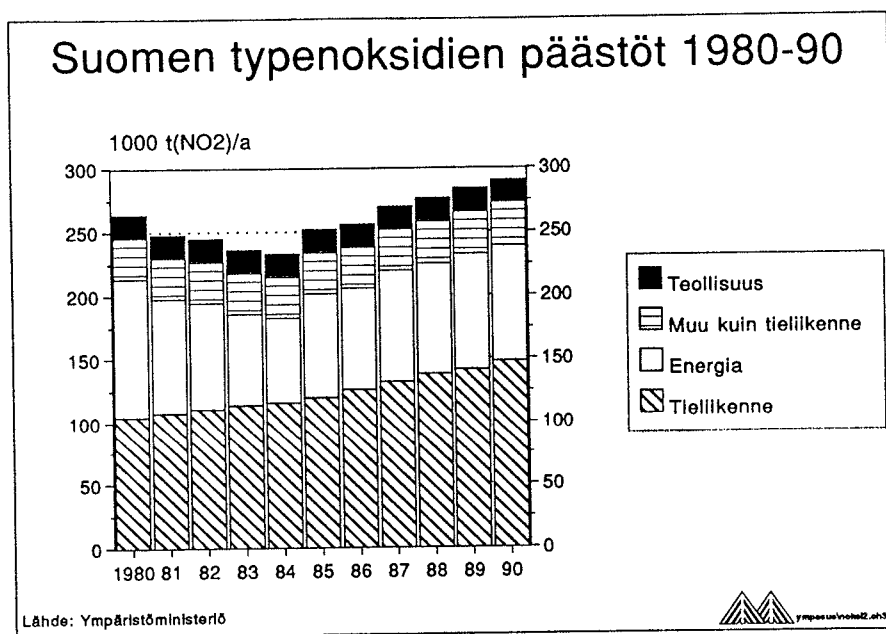
Kuva 7. Rikkidioksidipäästöt Suomen eri tyyppisistä kattiloista vuonna 1987.

Typen oksidit (NO_x)

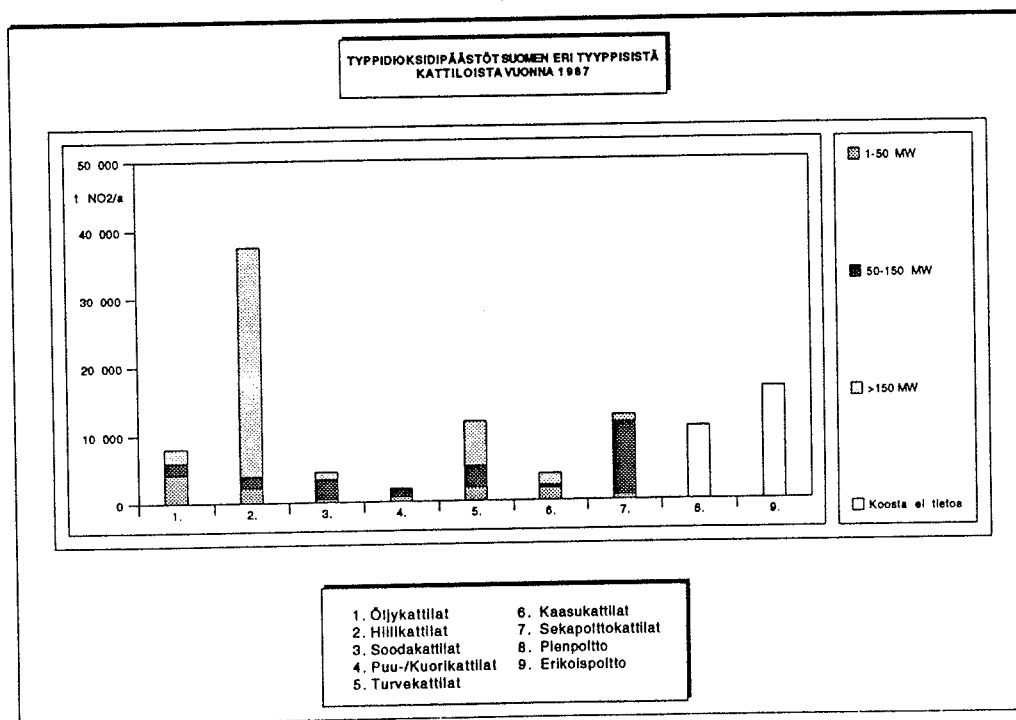
Suomen typen oksidipäästöistä on liikenteestä peräisin 50-60 % ja loput pääasiassa energiantuotannosta. Metsäteollisuuden osuus vuonna 1991 oli noin 5 % eli noin 19 000 tonnia typen oksideja.

Noin kolmannes tästä määrästä oli lähtöisin selluprosessista, lähinnä soodakattiloista ja loput noin kaksi kolmasosaa massa- ja paperiteollisuuden voimantuotannosta.

Typen oksideilla tarkoitetaan yleensä typpimonoksidin (NO) ja typpidioksidin (NO_2) summaa, jota merkitään NO_x :ksi. Ilokaasua (N_2O) voi esiintyä tietyissä hiiltä polttoaineenaan käyttävissä kattiloissa. Normaalipolttilanteessa typpimonoksidin osuus on yli 90 %, typpidioksidin osuuden jäädessä alle 10 %. Analyysiteknisistä syistä johtuen NO_x ilmoitetaan aina NO_2 :na. Sekä soodakattiloiden (50 mg NO_x /MJ) että puu- ja kuorikattiloiden (100 mg NO_x /MJ) NO_x :n ominaispäästöt ovat alhaiset hiilikattilan vastaavaan arvoon (450 mg NO_x /MJ) verrattuna. Soodakattiloiden ja puu- ja kuorikattiloiden NO_x -päästöt eivät ole merkittäviä. Arvot kuvaan 9 on saatu edellä mainitusta laajasta kattilaselvityksestä (3).



Kuva 8. Tyypipäästöjen kehitys.



Kuva 9. Tyypidioksidipäästöt Suomen eri tyyppisistä kattiloista vuonna 1987.

Kiintoaine

Energiantuotannossa savukaasujen kiintoaineen koostumus poikkeaa selluteollisuuden savukaasujen kiintoaineista. Energiantuotannossa poltetaan fossiilisia polttoaineita, mistä johtuen savukaasun kiintoaine koostuu polttoaineen epäorgaanisesta jäännöksestä eli tuhkasta (noin 50-80 % kiintoainemäärästä), polttoaineen palamatta jääneestä koksijäännöksestä (noin 10-50 % kiintoainemäärästä) sekä kaasumaisten pyrolyysikaasujen epätäydellisen palamisen takia syntyneestä noesta. Selluteollisuuden kattiloiden ja uunien savu- tai prosessikaasujen kiintoaineet taas ovat kemiallisia yhdisteitä, joiden talteenotto ja palauttaminen takaisin prosessiin on koko selluteollisuuden toiminnan kannalta katsoen ehdottoman välttämätöntä. Esimerkiksi poltettaessa soodakattilassa mustalipeää reagoi kattilassa tarkoituksellisesti aikaansaatu SO_2 höyrystyneen atomääriseen natriumin kanssa Na_2SO_4 :ksi. Meesauunin savukaasuissa kiintoaine on pääosin CaO :a ja CaCO_3 :a. Fossiilisia polttoaineita käytetään selluteollisuudessa vain tukipolttoaineina, joten tuhkaa, koksia ja nokea löytyy harvoin merkittävässä määrin savukaasuissa. Ainoastaan poltettaessa kuorta nk. kuorikattiloissa on savukaasujen kiintoaine luokiteltavissa tuhkakksi.

Vuonna 1991 pääsi Suomen metsäteollisuudesta ilmaan noin 19 300 tonnia erilaisia kiinteitä hiukkasia.

Pelkistyneet rikkiyhdisteet (TRS)

Sulfaattitehtaan hajun pääasiallisina aiheuttajina pidetään neljää pelkistynyttä rikkiyhdistettä, joista käytetään yleisnimitystä TRS-yhdisteet (TRS= Total Reduced Sulfur).

Nämä ovat

		hajukynnys (ppb)
- rikkivety	H_2S	0,4 ... 5
- metyylimerkaptani	CH_3SH	0,1 ... 3
- dimetyylisulfidi	$(\text{CH}_3)_2\text{S}$	1,0 ... 20
- dimetyylidisulfidi	$(\text{CH}_3)_2\text{S}_2$	0,8 ... 12

(Yksikkö ppb = $1 \text{ mm}^3 / \text{m}^3$)

Näiden yhdisteiden hajukynnys on hyvin alhainen. TRS- yhdisteitä muodostuu mm. keiton aikana. Tällöin puun ligniinin pilkkoutumistuotteet, jotka sisältävät mm. metoksyyliryhmiä ($\text{O}-\text{CH}_3$), muodostavat valkolipeän sulfidi (S^{2-})- ja hydro-sulfidi(SH^{1-})-ryhmien kanssa metyylimerkaptania. Keittoliuoksen pH on yleensä riittävän korkea estämään rikkivedyn muodostumisen. Osa metyylimerkaptanista hapettuu dimetyylisulfidiksi ja dimetyylidisulfidiksi. Näiden yhdisteiden liukoisuus keittoliuokseen on pieni. Ne rikastuvat keittimen höyryfaasiin vapautuen sieltä keittimen tyhjennysvaiheen aikana. Merkittävä osa keiton aikana syntyneistä pahanhajuisista pelkistyneistä orgaanisista rikkiyhdisteistä siirtyi aikaisemmin näiden puskukaasujen mukana ulkoilmaan. Nykyisin lauhtumattomat pusku-

kaasut ohjataan hajunkeräysjärjestelmään ja sitä kautta suoraan polttoon. Jatkuvatöimissä vuokeittimisä nämä hajukaasupäästöt ovat virtaukseltaan tasaisia ja ne voidaan suhteellisen helposti kerätä poltettavaksi.

Toinen tärkeä väkevien TRS-yhdisteiden lähde on mustalipeän haihdutus. Haihduttamalla mustalipeän kuiva-ainepitoisuutta nostetaan kiehattamalla lipeää alipaineessa. Vapautunut vesihöyry sisältää runsaasti pelkistyneitä orgaanisia rikkijhdisteitä. Vesihöyry lauhdutetaan ja lauhtumattomat kaasut kerätään poltettaviksi hajunhävitysyksikössä. Nykyisin väkevöinti tapahtuu yksinomaan haihduttamalla. Aikaisemmin loppuhaihdutus suoritettiin soodakattilalaitoksella suorassa savukaasuhaihduttimessa eli nk. harpassa. Tällöin savukaasujen rikkidioksidi ja hiilidioksidi laskivat mustalipeän pH:n niin alas, että mustalipeästä irtosi erittäin paljon TRS-yhdisteitä, jotka joutuivat savukaasujen mukana ulkoilmaan. Suoraa savukaasuhaihdutusta ei enää mm. tästä syystä suunnitella eikä rakenneta. Viimeiset harpat ovat jääneet pois käytöstä kesällä 1992.

Soodakattila ei ole kovinkaan merkittävä hajupäästölähde, koska se pyritään aina ajamaan parhaimmalla mahdollisella tavalla. Savukaasujen happi- ja häkäpitoisuutta seurataan tarkoin. Mikäli häkäpitoisuus savukaasuissa nousee, ilmaantuu savukaasuihin jonkin ajan kuluttua myös rikkivetyä. Tämä estetään lisäämällä polttoilmaa. Soodakattilasta peräisin olevia orgaanisia rikkijhdisteitä ei savukaasuissa esiinny. Myös rikkivedyn esiintyminen savukaasuissa on poikkeuksellista.

Meesauunin savukaasuissa saattaa esiintyä TRS-yhdisteitä, lähinnä rikkivetyä, mikäli meesa on heikosti pesty tai poltossa on happivajetta. Heikosti pestyssä meesassa on natriumsulfidia, joka muuttuu meesauunissa rikkivedyksi.

Klooriyhdisteet (Cl_2 , ClO_2)

Sellun valkaisun aiheuttamat klooripäästöt koostuvat lähinnä kloori- ja klooridioksidireaktoreiden sekä niitä seuraavien pesuvaiheiden höngistä ja huuvanpoistoilmoista. Tyypillisesti klooripäästö on vaihdellut 0,1-0,5 kg Cl /t sellua ja klooridioksidipäästö vastaavasti 0,1-0,3 kg ClO_2 /t sellua.

Klooriyhdisteitä (Cl_2 , ClO_2) syntyy valkaisimon kemikaaleja valmistettaessa ja niitä esiintyy myös itse valkaisuvaiheiden poistohuuruissa. Näiden määrää voidaan vähentää suorittamalla valkaisu mahdollisimman pienellä kloorikemikaaliyliäärällä. Yleensä klooripitoiset höngät johdetaan pesuriin, jossa ne hävitetään rikkidioksidipitoisella vedellä. Tavanomaisella tavalla valkaistaessa klooriyhdistejäämät ilmaan ovat tasoa 0,1 - 0,5 kg/ts. Pesuri poistaa näistä vähintään 80 %. Viranomaiset edellyttävät nykyään, että klooripäästöt pesurin jälkeen ovat alle 30 mg Cl_{tot} /m³n. Klooripäästöt määritetään titrimetrisesti.

4. SAVU- JA PROSESSIKAASUJEN PUHDISTUSMENETELMÄT

Savu- ja prosessikaasujen puhdistusmenetelmät ovat perinteisiä ja niillä on vakiintunut asema tehdassuunnittelussa. Sähkösuodatinta on perinteisesti aina käytetty

soodakattilan savukaasujen kiintoaineen talteenottamisessa. Nykyisin sähkösuodattimia käytetään myös meesauunien ja kuorikattiloiden savukaasujen puhdistukseen. Erilaisia pesureita käytetään pääasiallisesti kaasumaisten yhdisteiden, lähinnä rikkidioksidin, poistoon. Pesureita käytetään myös kiintoaineen poistoon sekä lämpöenergian talteenottoon. Hajuntorjunta eli TRS-yhdisteiden poistaminen pesureiden avulla on harvinaista. Hajuntorjuntaa harjoitetaan Suomessa yleisimmin siten, että väkevät ja joissain tapauksissa myös laimeat prosessikaasut kerätään yhteen ja poltetaan. TRS-yhdisteiden rikki muuttuu tällöin rikkidioksidiksi.

4.1 SÄHKÖSUODATIN

Sähkösuodattimen sovellutusalue savukaasujen kiintoaineen poistossa on viime vuosina jatkuvasti laajentunut. Sähkösuodatin on osoittautunut toimintavarmaksi laitteistoksi kaikissa sellutehtaan kattiloissa, ei vain soodakattilassa vaan myös meesauunissa, kuorikattilassa ja hiili/turvekattilassa.

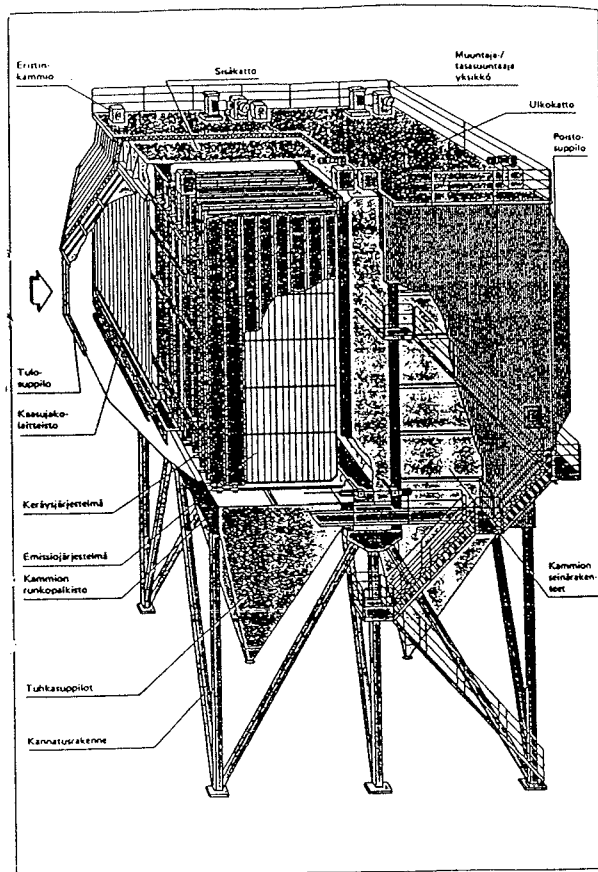
Sähkösuodattimen erotusaste on erittäin korkea, tyypillisesti 99,5-99,8 % ja kiintoaine-pitoisuus sähkösuodattimen jälkeen on nykyisin jo selvästi alle 100 mg/m³n.

Hiukkasten erottuminen kaasuvirrasta tapahtuu kolmessa eri vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa puhdistettava kaasuvirta johdetaan voimakkaan sähkökentän läpi, jolloin kaasusta vapautuu ioneja. Valtaosa muodostuvista ioneista on negatiivisia, ja ne ajautuvat positiivisille keräyslevyille. Pienehkö osa ioneista on positiivisesti varautuneita, ja nämä ajautuvat kohti emissioelektrodeja. Toisessa vaiheessa vapautuneet ionit tarttuvat kaasun sisältämiin, hiukkasiin, jotka saavat samalla varauksen ja erottuvat joko emissioelektrodeille tai keräyslevyille. Kolmannessa vaiheessa erottunut kiintoaine ravistetaan emissioelektrodeilta ja keräyslevyiltä erityisillä ravistuslaitteilla ja pudotetaan painovoimaisesti keräyssuppiloihin tai kuljettimille. Kiintoaine poistetaan suppiloista mekaanisin tai pneumaattisin kuljetinlaittein.

Sähkösuodatin, jonka rakenne on esitetty kuvassa 10, koostuu teräs- tai betoni-rakenteisesta suodatinkammioista, keräys- ja emissiojärjestelmästä sekä kaasunjako- ja korkeajännitelaitteista.

Suodatinkammion kantavana rakenteena voi olla joko teräspalkit tai teräsbetoni. Suodatinkammio on varustettu kaasun tulo- ja poistoyhteillä sekä tuhkasuppilolla. Kammio voi olla myös tasapohjainen, jolloin tarvitaan laahakuljettimet tuhkan poistamiseksi. Suodatinkammio on lämpöeristetty.

Keräysjärjestelmät koostuvat keräyslevyystöistä kannatuksineen sekä ravistuslaitteistoista. Keräyslevyt ovat profiloituja kiintoaineen poiston tehostamiseksi. Ravistuskoneiston tärkein osa on hammasvaihdemoottori, joka välittää ravistusakselin kautta käyttövoiman ravistusvasaroille. Ravistusvasarat aikaansaavat ravistussykäyksiä, joiden tiheyttä voidaan säätää.



Kuva 10. Sähkösuodattimen rakenne.

Emissiojärjestelmät koostuvat emissioelektrodeista, kannatuskehikoista ja ravistuslaitteistoista. Emissioelektrodit on valmistettu teräsnauhoista, jotka on kiinnitetty putkikehyksiin. Putkikehykset on kannakoitu suodatinkammiosta ja keräysjärjestelmästä eristimien avulla erotettuihin kannatuskehikkoihin. Ravistuslaitteisto on samantyyppinen kuin keräysjärjestelmissä.

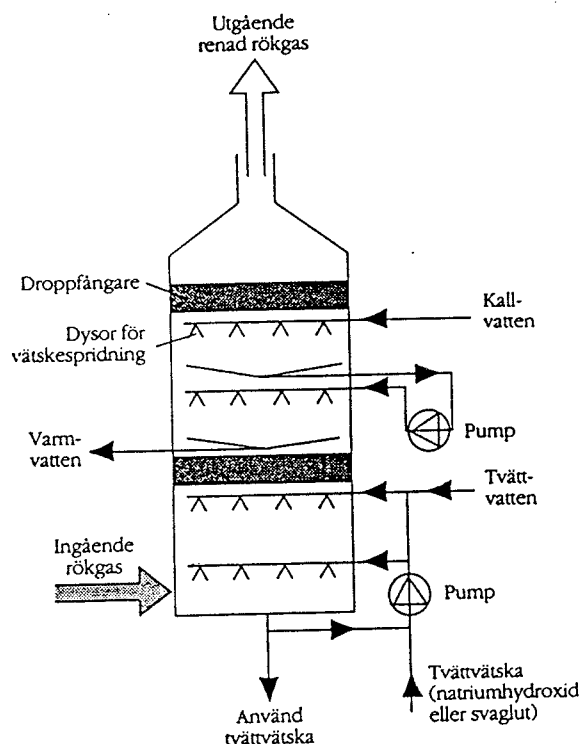
Kaasunjakolaitteilla aikaansaadaan kaasun tasainen jakautuminen koko suodattimen virtauspoikkipinnalle. Kaasun jakolaitteena voidaan käyttää esim. profiili- tai reikälevyritilää.

Korkeajännitelaitteiden pääosat ovat muuntaja/tasasuunnin, ohjauskaappi ja mahdolliset kauko-ohjauslaitteet.

4.2 PESURIT

Savu- ja prosessikaasuja puhdistetaan myös erityyppisillä pesureilla, kuten esimerkiksi venturi-, suihkutorni- tai täytekappalepesureilla. Vaikka nämä soveltuvat myös kiintoaineen poistoon, käytetään pesureita kuitenkin pääasiallisesti kaasumaisessa muodossa olevien yhdisteiden (mm. SO_2 , H_2S , Cl_2 , ClO_2) poistamiseen puhdistettavasta kaasuvirrasta. Pesureissa otetaan myös savukaasun sisältämä lämpö talteen. Kuvassa 11 on esitetty savukaasun rikkidioksidi-, kiintoaine- ja lämpösisäl-

lön talteenottamiseksi suunnitellun pesurin kaaviokuva. Tällaista pesurityyppiä käytetään soodakattilan savukaasujen loppupuhdistuksessa. Pesuri sijoitetaan sähkösuodattimen jälkeen.



Kuva 11. Kaaviokuva savukaasupesurista.

Pesurissa pesuneste ja kaasuvirtaus johdetaan vastavirtaperiaatteella keskenään mahdollisimman tehokkaaseen kontaktiin. Kaasuvirta johdetaan yleensä pesurin alaosaan ja pesuneste pesurin yläosaan. Riippuen pesunesteestä ja pH-alueesta pesurin toiminta perustuu joko fysikaaliseen imeytykseen, absorptioon tai kemiallisiin reaktioihin (hapetus/pelkistys) yhdistettynä absorptioon. Absorptiota on käytetty yleisesti esim. SO_2 :n ja H_2S :n poistoon ja kemiallista hapetusta/pelkistystä mm. hajurikkiyhdisteiden ja klooriyhdisteiden poistoon.

Pesurien pesunesteinä voi olla joko vesi (kiintoaineen poisto, SO_2 :n osittainen poisto), lipeä, NaOH tai hapetettu valkolipeä (SO_2 :n ja H_2S :n poisto). Pesunesteinä voi myös olla joko hapettava neste, esim. NaOCl (hajurikkiyhdisteiden poisto) tai pelkistävä neste, esim. SO_2 -vesi tai $\text{Na}_2\text{SO}_3/\text{NaHSO}_3$ -liuos (Cl_2 :n ja ClO_2 :n poisto).

Venturipesuri on yleensä kaksivaiheinen pesuri, jossa ensimmäinen pesuvaihe on vaakatasossa. Yleisesti käytetään pesunesteinä pelkkää vettä. Vettä suihkutetaan ensimmäisen vaiheen sisääntuloyhteeseen (venturiin) myötävirtaan kaasun kanssa. Toinen vaihe on pystyasennossa ja kiertonestettä (tai puhdasta vettä) suihkutetaan vastavirtaan kaasuvirtaukseen nähden ja vastaa suihkutornipesuria. Venturi-

pesuria on yleisimmin käytetty pölyn poistoon esim. meesauunien savukaasuista. Venturipesurissa ei käytetä täytekappaleita, ja sen tehokkuus kaasumaisten yhdisteiden poistossa on vain keskinkertainen.

Suihkutornipesuri on laite, jossa pesuneste pyritään suihkuttamaan pesurin yläosasta mahdollisimman tasaisesti ja pieninä nestepisaroina. Tällöin pesuneste joutuu kontaktiin alhaalta läpivirtaavan kaasun kanssa. Suihkutornipesuria on käytetty kiintoaineen ja kaasuyhdisteiden poistoon, mutta etenkin kaasukomponenttien erotusaste jää myös tässä tyypissä keskinkertaiseksi johtuen usein epätasaisesta kaasu/nestepintakontaktista pesurissa.

Täytekappalepesuri on erityisen tehokas, koska pesurin täytekappaleosa lisää oleellisesti reaktio- ja kontaktipintaa pesunesteen ja puhdistettavan kaasun välillä verrattuna esim. suihkutornipesuriin. Pesuneste jaetaan suutinputkistolla pesurin yläosassa tasaisesti yli täytekappalekerrospinnan. Kaasuvirtaus johdetaan pesurin alaosaan ja esipuhdistuksena voidaan tarvittaessa käyttää esim. vesisuihkutusta kiintoaineen poistoon. Jos esipuhdistusta käytetään, tarvitaan kaksi erillistä nestekiertoa täytekappaleosan tukkeutumisen estämiseksi. Täytekappalepesuri voi olla useampivaiheinen, jolloin erotusaste paranee. Täytekappaleitten materiaali voi olla teräs, muovi tai keraaminen aines. Etenkin muovimateriaalit ovat kehittyneet viime vuosina mm. korkeita lämpötiloja kestäviksi.

Seuraavassa on joitakin yleisimpiä sovellutuksia esitetty.

Käyttökohde	Pesurityyppi	Pesuneste
Soodakattilan savukaasut (SO_2 :n poisto, lämmön- talteenotto)	Suihkutorni, täytekappalepesuri	NaOH , hapetettu valkoliipeä, vesi
Meesauunin savukaasut (kiintoaineen poisto)	Venturipesuri	Vesi
Hajukaasukattilan savukaasut (SO_2 :n poisto)	Täytekappalepesuri	NaOH
Mäntyöljykeitäminen (H_2S :n poisto)	Täytekappalepesuri	NaOH , valkoliipeä, laihavalkoliipeä
Valkaisimo (kloori- ja ClO_2 -poisto)	Suihkutorni, täytekappalepesuri	SO_2 -vesi, Na_2SO_3 -liuos

4.3 HAJUKAASUJEN KERÄILY JA KÄSITTELY

Selluprosessissa muodostuu sekä väkeviä että laimeita hajukaasuja. Väkevien hajukaasujen kuten esimerkiksi keittämön lauhtumattomien kaasujen, haihduttamon tyhjöjärjestelmän kaasujen ja likaislauhteiden (sekundäärilauhteiden) höyrystrippauksen poistokaasujen rikkisisältö on tyypillisesti 1-2,5 kg S/t sellua. Ns. laimeita hajukaasuja ovat esimerkiksi sellun pesussa muodostuvat huuvaehöngät ja mustalipeäsäiliöiden poistohöngät. Laimeiden hajukaasujen hajurikkipäästö on yleensä 0,2-0,5 kg S/t sellua.

Taulukkoon 1 on kerätty likimääräiset TRS-päästöt sulfaattisellutehtaasta. Määrät ja pitoisuudet toki vaihtelevat käytännössä. Vaihtelu riippuu puulajista, sulfiditeetista sekä käytetyistä laitteistoista.

Taulukko 1. Sulfaattisellutehtaan TRS-päästöt (4).

	TRS kg S/tm	Määrä*) Nm³/tm	Pitoisuus mg/Nm³
Väkevät kaasut			
– Keittäminen	1,5 - 2,0	5 - 6	0,3·10 ⁶
– Haihduttamo	0,5 - 1,0	5 - 6	0,1·10 ⁶
– Lauhdestrippaus	0,5 - 1,0	25 - 30	0,06·10 ⁶
Yhteensä	3,5 - 4,5	35 - 42	0,1·10 ⁶
Laimeat kaasut	0,4 - 0,6	1200 - 1400	0,4·10 ³

*)Määriin sisältyy mahdollisen ilman lisäksi myös höyry.

Hajuhaitat sellutehtaan lähiympäristössä olisivat erittäin vakavat, mikäli väkeviä hajukaasuja ei lainkaan käsiteltäisi. Tästä johtuen on yleistynyt tapa imeä väkevät hajukaasut syntypisteistään ja polttaa ne. Hajukaasujen keräily ja siirto keittämöltä, haihduttamon tyhjöjärjestelmästä ja sekundäärilauhteiden höyrystrippauksesta suoritetaan nykyisin suljetussa järjestelmässä. Koska hajukaasut ovat tietyillä pitoisuusalueilla helposti räjähtäviä on tärkeää estää laimentavan ilman pääsy järjestelmään. Kaasujen siirto suoritetaan näin ollen höyryejektoreilla. Väkevien hajukaasujen poltto tapahtuu yleensä joko meesauunissa tai erillisessä hajukaasukattilassa, jossa on lämmöntalteenotto. Häiriötilanteissa otetaan yleensä käyttöön soihtupoltin, jotta voimakas hetkellinen hajupäästö voitaisiin välttää. Mikäli sellua keitetään jaksoittaisesti eräkeittimissä kerätään väkevät puskuhöngät ensin suureen kaasukelloon, josta hajukaasut voidaan syöttää tasaisesti polttoon.

Täydellisessä hajuntorjunnassa väkevien hajukaasujen poltto ei yksinään riitä, vaan myös nk. laimeat hajukaasut, esimerkiksi erilaiset säiliöhöngät on kerättävä yhteen ja poltettava. Laimeiden hajukaasujen keräily ja poltto on suoritettava mahdollisimman täydellisenä hajuntorjunnan onnistumisen kannalta, koska vähäisetkin laiminlyönnit hajukaasujen keräilyssä saattavat oleellisesti huonontaa hajuntorjunnan tehokkuutta tehtaan lähiympäristössä. Suomessa harjoitetaan täydellistä hajuntorjuntaa vain muutamassa tehtaassa.

Laimeiden hajukaasujen keräilyjärjestelmä käsittää yleensä useita keräilyalueita. Keräilyalueet puhallinjärjestelmineen liitetään yhteiseen runkoputkistoon ja kaasut johdetaan useimmiten soodakattilan tertiääri- tai sekundääri-ilman joukkoon. Laimeat hajukaasut voidaan myös polttaa joko meesauunissa, joskus jopa kuorikattilassa tai erillisessä tätä tarkoitusta varten rakennetussa hajukaasukattilassa. Polttopaikan valinta riippuu aina tehdaskohtaisista olosuhteista.

Laimeat kaasut voidaan myös käsitellä pesurissa, missä pesunesteenä on esimerkiksi valkolipeää. Pesurit ovat hajureduktiossaan kuitenkin epätäydellisiä. Pesurien käyttö laimeiden hajukaasujen käsittelyssä on vain osittaisratkaisu hajupäästön vähentämisessä johtuen hajuyhdisteiden matalasta hajukynnyksestä.

Poltto

Mikäli hajukaasut poltetaan erillisessä yksikössä voidaan poltossa syntyvä rikki-dioksidi imeyttää esim. valkaisimohönkien puhdistuksessa käytettävään pesunesteeseen. Vaihtoehtoisesti talteenotettu rikki voidaan viedä kemikaalikiertoon. Pyrittäessä pienentämään koko tehtaan kaasumaisia rikkipäästöjä, on hajurikkiemissio pidettävä jo tästä syystä tehtaan sisäisessä kemikaalikierrossa. Tällöin sellutehtaan kemikaalitaseen (Na_2/S) hallinta edellyttää tulevaisuuden sellutehtaalta yleensä erillistä regenerointiyksikköä, jossa natriumsulfaattia valmistetaan rikkihappoa ja natriumhydroksidia prosessin tarpeisiin (olettaen, että tehdas valmistaa mäntyöljyä).

Absorptio

Väkevät hajukaasut voidaan myös imeyttää sopivaan nesteeseen. Esimerkkinä tällaisista prosessiratkaisuista voidaan mainita kaasujen sisältämän rikkivedyn ja metyyliimerkaptaanin (osan) imeyttäminen takaisin aktiiviseksi keittokemikaaliksi valkolipeäkiertoon esim. valkolipeäpesurissa sekä em. pesurin läpäisevien hajukaasuyhdisteiden poltto erillisessä polttimessa rikkidioksidiksi, jonka talteenotto tapahtuu esim. lipeäpesurissa (NaOH).

Adsorptio

Adsorptiomenetelmät perustuvat pääasiassa aktiivihillen käyttöön. Aktiivihilli on tehokas hajurikkiihdisteiden adsorbentti, mutta ongelmaksi muodostunee hiilen regenerointi. Ellei hiiltä regeneroida, on mahdollista käyttää kertakäyttöisiä paketteja, mutta tällöin on taas ongelmana rikkipitoisen hiilijätteen käsittely. Jokaisen lipeäsäiliön hönkäputkeen asennettu aktiivihillisuodatin on mielenkiintoinen vaihtoehto mm. laimeiden hajukaasujen käsittelyssä. Suomen ilmasto-olosuhteet estänevät kuitenkin edellämainitun kaltaiset sovellutukset.

Katalyyttinen poltto

Katalyyttisessä poltossa hajurikkiihdisteet voidaan hapettaa tavanomaista termistä polttoa 300-500 °C alhaisemmassa lämpötilassa. Katalyyttinä käytetään useimmiten platinapäällysteistä keraamista materiaalia, jolla on suuri ominaispinta-ala. Koska

poltto tapahtuu alhaisessa lämpötilassa ja hyvin pienellä ilmaylimäärällä, on mahdollista rakentaa pienikokoisia yksiköjä lähelle hajupäästöjen syntypaikkoja. Katalyyttisellä poltolla on kuitenkin myös useita toimintarajoituksia, joista herkkyys pölylle ja katalyytin inaktivoituminen mm. lyijy- ja fosforiyhdisteiden vaikutuksesta ovat tärkeimpiä. Katalyyttisessä poltossa hapetettavien yhdisteiden pitoisuus tulee olla lisäksi riittävän korkea, vähintään $0,5 \text{ g/m}^3$. Katalyyttistä polttoa on kokeiltu Suomessa. Käytännön sovellutustyötä tarvitaan prosessin toimintavarmuuden ja taloudellisuusnäkökohtien selvittämiseksi.

Rikin talteenotto suoraan hajukaasuista

On olemassa suuri joukko rikin talteenottomenetelmiä, joissa hajuyhdisteiden rikki muutetaan eri keinoin alkuainerikiksi. Eräs esimerkki on Shellin ja Dow Chemicalin kehittämä ja patentoima SulFerox-prosessi, missä käytetään kelaatinmuodostusta hyväksi (5).

Biologiset menetelmät

Hajuntorjunnassa on haisevia lauheteita käsitelty myös biologisesti aktiivisissa kuorisuotimissa. Tapa ei kuitenkaan ole laajalle levinnyt.

4.4 VALKAISIMOHÖNKIEN KÄSITTELY

Vaikka valkaisimohönkiä käsitellään lähes poikkeuksetta sellutehtailla, on vasta aivan viime vuosina ruvettu kiinnittämään huomiota kloorin ja klooridioksidin poiston tehokkuuteen. Konventionaalisessa suodinvalkaisimossa kloorikemikaali

pitoisia hönkiä kerätään sekä kloori- ja klooridioksiditorneista että em. tornien jälkeisistä pesureista. Hönkien siirto tapahtuu puhaltimien avulla.

Hönkäpesuri on useimmiten suihkutornityyppinen. Täytekalpepesuri olisi tehokkuutensa vuoksi kuitenkin suositeltavampi ratkaisu. Hönkäpesurin jälkeen kaasut puhalletaan ulkoilmaan ja pesunestekierron ylivuoto ohjataan tehtaan valkaisu-prosessiin uudelleenkäyttöön. Pesunesteenä käytetään mm. valkaisimon alkaalivaiheen suodosta tai NaOH:a. Kehittyneemmissä laitteistoissa pesunesteenä on käytetty SO_2 -vettä ja natriumsulfiitti/bisulfiittiliuosta, jota saadaan joko alkuainerikkiä tai hajukaasuja polttamalla ja imeyttämällä syntynyt rikkidioksidi SO_2 -pesurissa veteen.

5. MAHDOLLISUUDET VÄHENTÄÄ PÄÄSTÖJÄ

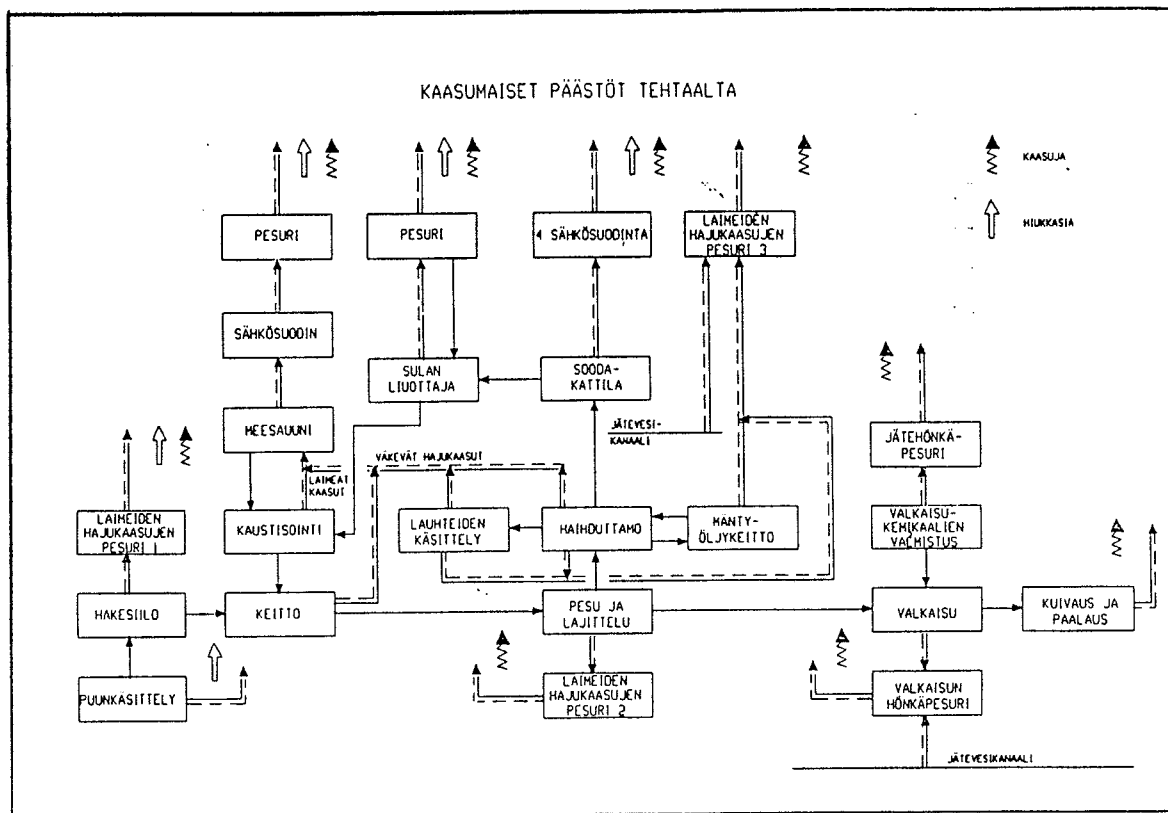
Rikkipäästöt

Modernissa sulfaattisellutehtaassa rikkipäästöt ilmaan eivät muodosta teknillistä ongelmaa, vaan ne voidaan pienentää halutulle tasolle, tarvittaessa jopa lähes nollaan. Edellytyksenä on, että tehdas kerää ja käsittelee väkevät ja laimeat hajukaasunsa ja ottaa käsittelyssä muodostuneen rikkidioksidin talteen savukaasuista.

Pesusysteemistä riippuen rikki voidaan ottaa talteen rikkidioksidina, rikkihappona tai alkuainerikkinä.

Soodakattila on menettämässä asemansa sulfaattiselutehtaan suurimpana rikkidioksidilähteenä. Tehtaassa, jossa mustalipeä väkevöidään 70...80-prosenttiseksi ennen polttoa, soodakattilan rikkidioksidipäästö alenee liki nollaan. Tällaisen tehtaan rikkidioksidipäästöt keskittyvät lähes kokonaisuudessaan meesauunille. Rikin talteenottoon riittää tällöin periaatteessa kaksi kaasunpesuriä: yksi meesauunin ja toinen hajukaasujen destruktiouunin savukaasuille. Soodakattilan savukaasujen pesemisen tarpeellisuus on harkittava erikseen.

Eräälle sulfaattiselutehtaalte asennettiin kaksi vuotta sitten mustalipeän painekuუმennuslaitteisto, minkä seurauksena soodakattilan rikkipäästöt (rikkidioksidi ja hajurikki) laskivat tasolta 1,5 kg SO₂/t sellua tasolle 0,2 kg SO₂/t sellua. Tehtaan kokonaisrikkipäästö (SO₂) oli vuonna 1991 4-5 kg SO₂/t sellua. Meesauunin poistokaasuille on tämän jälkeen asennettu kaasunpesuri, jonka avulla voidaan alentaa rikkipäästöjä. Kehitystyötä tullaan jatkamaan vuoden 1993 aikana optimoimalla pesurin ajomalleja. Tehtaan kaasunkäsittelyjärjestelmä on esitetty kuvassa 12.



Kuva 12. Erään tehtaan kaasunkäsittelyjärjestelmä.

Typenoksidipäästöt

On todennäköistä, että sellutehtaat joutuvat pienentämään myös typenoksidipäästöjään, vaikka päästöt eivät ole erityisen suuret. Metsäteollisuuden osuus vuonna 1991 oli noin 5 % maan NO_x-päästöistä. Noin kolmannes tästä määrästä oli lähtöisin selluprosessista ja loput massa- ja paperiteollisuuden voimantuotannosta. Sellutehtaan suurin typenoksidien lähde on soodakattila, jonka osuus tehtaan typenoksidipäästöjen kokonaismäärästä on 50-60 %. Päästöjä voidaan vähentää monella eri tavalla. Yksi tapa perustuu termiseen ei-katalyyttiseen pelkistykseen. Terminen pelkistys on homogeeninen kaasufaasireaktio, jossa savukaasuihin ruiskutettavan tyyppä sisältävän pelkistävän kemikaalin avulla savukaasujen typenoksidit reagoivat typeksi ja vedeksi. Yleisimmin käytettyjä kemikaaleja ovat ammoniakki ja urea. NO_x-vähenemä on yli 60 %. Aiheesta on kirjoitettu runsaasti (6).

Kiintoainepäästöt

Sellutehtaiden kiintoainepäästöt hallitaan pääsääntöisesti sähkösuodattimilla ja pesureilla. Talteenottoaste on nykyisin korkea, joten kiintoainepäästöt ovat absoluuttiarvoiltaan matalia. Kiinnostus kohdistuu tätä nykyä kasvaneessa määrin sähkösuodattimien ja muiden kiintoaine-erottimien läpi tunkevien pienhiukkasten (0,01-1µm) talteenottoon. Alalla tapahtuu mielenkiintoista uutta kehitystä, esimerkiksi VTT:llä tutkitaan pienten hiukkasten agglomeroitua.

6. PROSESSI- JA PUHDISTUSLAITTEIDEN KÄYTÖN TARKKAILU

Prosessi- ja puhdistuslaitteiden käytön tarkkailu palvelee ensisijaisesti prosessia. Vaikka useimmilla käytöntarkkailun mittaussuureilla ei suoranaisesti seurata prosessin aiheuttamia päästöjä ilmaan, voidaan prosessin hallittavuutta kuvaavien seurantaparametrien perusteella kuitenkin päätellä jotakin vallitsevasta päästötasosta ilmaan. Mikäli tietyn häiriötilanteen aiheuttama päästö ilmaan tunnetaan esimerkiksi aikaisempien mittauksen perusteella, voidaan päästön suuruutta arvioida kerran suoritetun mittauksen jälkeen käytön tarkkailun antamien tietojen sekä häiriön kestoajan perusteella.

6.1 SÄHKÖSUODATTIMEN KÄYTÖN TARKKAILU

Muuntaja/tasasuuntaajat syöttävät emissiojärjestelmiin negatiivista tasajännitettä. Ohjauskaapin säätölaitteet ohjaavat tasasuunninta siten, että jännitetaso pysyy mahdollisimman lähellä läpilyöntijännitettä. Läpilyönnin jälkeen säätölaitteisto pudottaa jännitetasoa ennalta asetettujen arvojen mukaisesti ja rupeaa nostamaan jälleen jännitetasoa läpilyönnin tyyppin mukaan.

Muuntaja/tasasuuntaajien ohjausjärjestelmät voidaan kytkeä tietokoneen välityksellä ravistusjärjestelmien yhteyteen, jolloin saavutetaan erittäin tehokas kiintoaineen erotus. Sähkösuodattimen sähköisen toiminnan tarkkailemiseksi on keskus- tai paikallisvalvomoon asennettu piirturit, joiden avulla seurataan suodattimen tasavirtapuolen jännitettä ja virtaa. Lisäksi hälytykset sähköhäiriöistä siirretään

valvomoon. Sähkösuodattimet ovat joko yksi- tai useampikammioisia ja -kenttäisiä. Tällöin jokaisen kentän jännite ja virta mitataan. Tukkeutumisen estämiseksi mitataan jatkuvasti myös paine-ero. Sähkösuodattimen jälkeen on nykyisin tavanomaista asentaa jatkuvatoiminen kiintoainepitoisuuden mittausta. Laitteella tarkkailaan suodattimen kiintoainepoiston tehokkuutta.

6.2 PESURIEN KÄYTÖN TARKKAILU

Pesurien toimintaa ohjataan säätämällä kiertävän pesuliuoksen pH:ta ja tiheyttä. pH vakioidaan tietyllä alueella riippuen poistettavasta kaasukomponentista ja pesunesteestä. pH säädetään lisäämällä pesunestettä pesukiertoon. Kiertoliuoksesta haihtuva vesi korvataan tuorevedellä kiertoliuoksen tiheyden säädön perusteella. Kiertoliuoksen määrää pidetään sopivana poistamalla kiertoliuosta liuossäiliön pinnan säädön mukaan. Pesurissa suoritetaan em. syistä johtuen paine-ero-, paine- ja lämpötilamittauksia. Paine-ero pesurin yli mitataan tukkeutumisen välttämiseksi. Kiertoliuoksen paine ja määrä sekä puhdistettavan kaasuvirran lämpötila mitataan ennen ja jälkeen pesurin.

Pesurien jälkeen on nykyisin tavanomaista asentaa mittalaitteet (SO_2 -, H_2S , TRS-mittaukset), joilla normaalin käytön tarkkailun ohella voidaan seurata pesurien toimintatehokkuutta.

6.3 HAJUKAASUJEN KÄSITTELYN KÄYTÖN TARKKAILU

Väkevien hajukaasujen siirto ja käsittely suljetussa systeemissä edellyttää melko pitkälle menevää käytön tarkkailua ja ohjausta. Lähes poikkeuksetta väkevien hajukaasujen käsittelyn tarkkailu ja ohjaus on nykyisin liitetty koko tehtaan tehdasautomaatiojärjestelmään.

Oleelliset käytön tarkkailuun liittyvät toiminnot ovat:

- keräilykohteiden tiiviiden tarkkailu (ylipaine/alipaine, happipitoisuus)
- järjestelmän käyttöturvallisuuden (ylipaine/alipainehälytykset, virtaamamittaukset, murtolevyjen ja liekinestimien kunto) tarkkailu
- polton (mm. liekinvalvojan kunto) tarkkailu
- savukaasujen rikkidioksidin talteenoton (SO_2 :n mittausta pesurin jälkeen) tarkkailu

Laimeiden hajukaasujen käsittelyn käytön tarkkailussa on kyse lähinnä puhallinjärjestelmien tarkkailusta, jolloin tärkeimmät tarkkailusuureet ovat:

- putkistojen paineet, virtaamat, puhaltimien toiminta
- kondenssivedenpoiston seuranta
- polttopaikan seuranta (hajupitoinen ilma polttoon/ulos)

Eräs oleellinen käytön tarkkailuun liittyvä yksityiskohta on varmistaa häiriötilanteissa, ettei hajukaasuja puhalleta putkistoja myöten tehdastiloihin.

6.4 VALKAISIMOHÖNKIEN KÄSITTELYN KÄYTÖN TARKKAILU

Valkaisimohönkien siirrossa puhallinjärjestelmien toiminnan seuranta ja siirto-putkistoissa vallitsevien paineiden mittaukset ovat tärkeimmät tarkkailusuureet. Hönkäpesurin toimintaa tarkkaillaan pesunestekierron virtaama- ja painemitauksen avulla. Paine-ero pesurin yli mitataan tukkeutumisen estämiseksi. Kloorikemikaalipitoisuudet pesurin jälkeen analysoidaan määrääjoin pesurin tehokkaan toiminnan varmistamiseksi.

7. PÄÄSTÖJEN TARKKAILU

Sekä ilmansuojelulaki, asetukset ja lääninhallitusten päätökset edellyttävät, että toiminnanharjoittaja on tietoinen päästöjensä määrästä ja koostumuksesta sekä puhdistuslaitteittensa erotuskyvystä. Määritettäessä esimerkiksi tunti-, vuorokausi- tai vuosipäästöjä on tärkeää tuntea yhdisteiden massakonsentraation lisäksi myös savukaasun tilavuusvirta. Tilavuusvirran suuruus määrää usein itse päästön suuruuden sekä sen suhteellisen merkityksen. Monasti riittää pelkän tilavuusvirran määrittäminen ja tietyn yhdisteen massakonsentraation arviointi. Todellisuudessa päästöt määritetään päinvastoin eli tietyn yhdisteen massakonsentraatio mitataan hyvinkin tarkkaan ja tilavuusvirta arvioidaan.

Monet sellutehtaat ovat jo laatineet omia tarkkailuohjelmiaan. Nämä ohjelmat kannattaa laatia mahdollisimman huolellisesti, koska juuri näiden tehtaan itse laatimien ja lääninhallitusten hyväksymien ohjelmien mukaisesti toteutetaan tehtaan päästöjen tarkkailu.

Käytössä olevat tarkkailuohjelmat ovat rakenteeltaan kahden tyyppisiä. Toinen rakentuu olettamukselle, että kerran määritettyjen päästökertoimien käyttö on riittävä ja toinen taas olettamukseen, että vain päästöjä mittaamalla saavutetaan riittävä tietous päästöjen määrästä ja laadusta.

Päästökertoimia käytetään Suomessa ainakin yhdellä tehtaalla. Tehdas pyrkii tällä päästöjen tarkkailujärjestelmällä mahdollisimman häiriöttömään ja ilmansuojellisesti parhaimpaan prosessi- ja puhdistuslaitteiden ajotapaan. Järjestelmä perustuu siihen, että tehtaalla tunnetaan kaikki oleelliset päästölähteet, joiden normaali-ajan päästötasot on mittauksin määritetty. Myös eri tyyppisten häiriöiden aiheuttamat päästötasot on yritetty arvioida. Ilmansuojellisesti merkittävät prosessiarvot sekä ylitysajat kirjataan työvuorojen päiväkirjoihin. Näistä lähtötiedoista lasketaan sisäiseen käyttöön tarkoitetut kuukausikeskiarvot kiintoaine-, rikkidioksidi-, typpioksidi- ja TRS-päästöille (t/kk). Vuoden lopussa viranomaisille toimitetaan vastaavalla tavalla lasketut vuosikeskiarvot.

Oleellista tarkkailuohjelmassa ovat siis laskentakaavat, joissa on erilaisia empirisesti määritettyjä päästökertoimia ja prosessitietoja. Näitä laskentakaavoja hyväksi käyttäen lasketaan mikrotietokoneella oleellisimmille päästöille niiden kuukausi- ja vuosikeskiarvot. Mittauksia ei suoriteta muuten kuin tarkistusmielessä.

Eräänä esimerkkinä mittauksiin perustuvasta päästöjen tarkkailuohjelmasta voidaan esittää erään ruotsalaisen sellutehtaan tarkkailuohjelma. Tarkkailu-

ohjelma lupaehtoineen on esitelty seikkaperäisesti KCL:n tiedotteessa (7).

Tarkkailuohjelmassa luetteloidaan vastuuhenkilöt paikallisjohtajasta ympäristönsuojeluinsinööriin. Tarkkailuohjelmassa on esitetty voimassaolevat lupaehdot.

Tehtaan päästötarkkailu on rakentunut velvoitetarkkailusta sekä suppeasta että laajast velvoitemittauksesta.

Velvoitetarkkailunsa tehdas tekee itse. H_2S , SO_2 ja Cl_2/ClO_2 määritetään kerran viikossa, mutta kiintoaine vain kerran joka kolmas kuukausi. Jatkuvatoimisilla mittareilla seurataan soodakattilan savukaasujen rikkidioksidi- ja rikkivety-pitoisuutta sekä meesauunin savukaasujen rikkivety-pitoisuutta. Soodakattilalta, kuorikattilalta, öljykattilalta ja meesauunilta kerättävät prosessisuureet kirjataan päivittäin ja pidetään arkistoituna valvontaviranomaisia varten. Myös em. jatkuvatoimisten rikkidioksidi- ja rikkivetymittareiden rekisteröimät tiedot tietyltä vuodelta arkistoidaan vähintään seuraavan kahden vuoden ajan.

Tehdas valvoo omaa velvoitetarkkailuaan suorittamalla kerran vuodessa suppean valvontamittauksen. Kiinteästi asennetut päästönmittauslaitteistot ja hajunhävittämisjärjestelmän toiminta tarkastetaan tässä yhteydessä. Kuuden tunnin aikana mitataan NO_x , H_2S ja kiintoaine tietyissä tarkkailupisteissä. Myös sahalaitoksen pölynerottimen toimintakunto tarkastetaan.

Ulkopuolinen mittaja suorittaa laajan valvontamittauksen joka kolmas vuosi pääasiallisesti 6 tunnin aikana kaikissa tarkkailupisteissä samanaikaisesti. Näytteitä pyritään näiden kuuden tunnin aikana ottamaan jatkuvasti. Valvontamittausten aikana kalibroidaan myös kiinteästi asennetut päästönmittauslaitteistot sekä tarkastetaan hajunhävittämisjärjestelmän toiminta.

Tehtaan päästöjen tarkkailupisteet ja niissä suoritettavat määritykset on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Valvontamittauksen tarkkailupisteet ja niissä suoritettavat määritykset.

	Tarkkailupiste								Määritykset		
	Tilavuus- virta	Lämpö- tila	H_2S	SO_2	Orgaaniset sulfidit	Kiinto- aine	Cl_2 ja ClO_2	NO_x			
1.	*	*	*	*	*	*		*			
2.	*	*	*		*	*					
3.	*	*				*					*
4.	*	*	*	*							
5.	*	*				*		*			
6.	*	*	*	*	*	*		*			
7.	*	*	*		*		*				
8.	*	*				*		*			

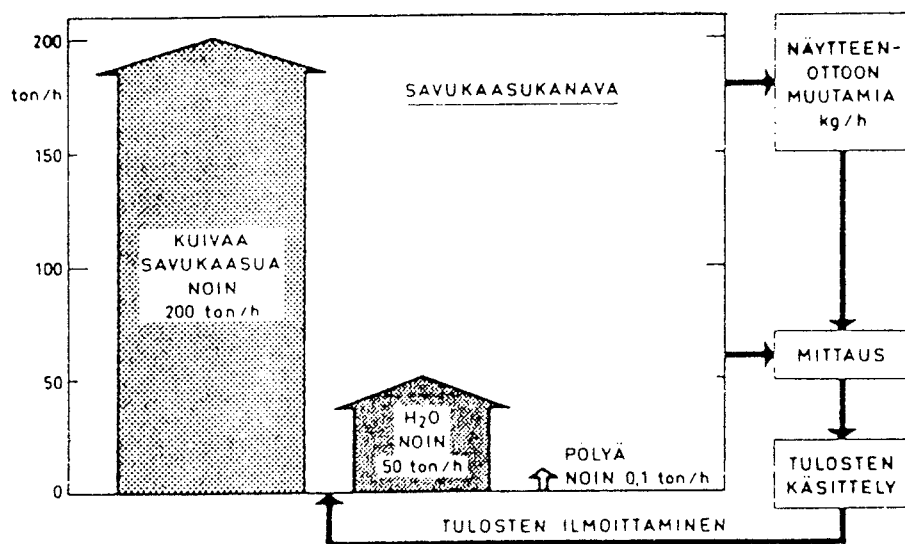
Tehtaalla on kahdeksan (8) tarkkailupistettä. Ne sijaitsevat soodakattilan savupiipussa pesurin jälkeen (1), sulaliuottajan hönkäpesurin jälkeen (2), kuorikattilan puhdistimen jälkeen (3), hajujen hävittämisuunin savupiipussa (4), öljykattilan savupiipussa (5), meesauunin savupiipussa puhdistimen jälkeen (6), sellutehtaan piipussa (7), johon valkaisupäästöt johdetaan sekä kuorikuivaimen puhdistimen jälkeen (8).

Tilavuusvirrat määritetään pääasiallisesti laskien polttoainetiedoista tai arvioiden. Valvontamittausten aikana mittaustuloksia täydentämään kerätään soodakattilalta, kuorikattilalta, öljykattilalta ja meesauunilta kaikki oleelliset prosessisuureet. Sekä velvoitetarkkailussa että velvoitemittauksissa mittausten menetelmät ovat pääasiallisesti käsinäytteenottoon perustuvia. Ne eivät poikkea merkittävästi suomalaisista vastaavista menetelmistä. Menetelmät on seikkaperäisesti kuvattu em. KCL:n tiedotteessa.

7.1 PÄÄSTÖMITTAUS

Sellutehtaan päästömittauksen tavoitteena on selvittää ja varmistaa riittävällä tarkkuudella normaalin ajotilanteen päästötasot sekä niissä tapahtuvat muutokset. Yksinkertaisimmillaan päästö (kg/h) on savu- tai prosessikaasun tilavuusvirran ($\text{m}^3\text{n/h}$) ja sen sisältämän yhdisteen massakonsentraation ($\text{mg}/\text{m}^3\text{n}$) tulo. Päästömittauksessa mitataan tämän tulon tekijät noudattaen hyväksyttäviä menettelytapoja. On syytä painottaa, että päästömittaus on vain osa päästöjen tarkkailuun liittyvästä työstä. Päästötarkkailun muut keinot, kuten ennenkaikkea em. prosessi- ja puhdistinlaitteiden käytön tarkkailu sekä hallinnolliseen tarkasteluun soveltuva taselaskenta, on aina syytä käyttää täysimääräisesti hyväksi. Pelkkä taselaskelmien käyttö päästömittauksia korvaavana toimintana ei voida pitää suositeltavana tai riittävänä päästöjen tarkkailussa.

Kuvassa 13 on havainnollistettu päästömittauksen yleinen toimintamalli.

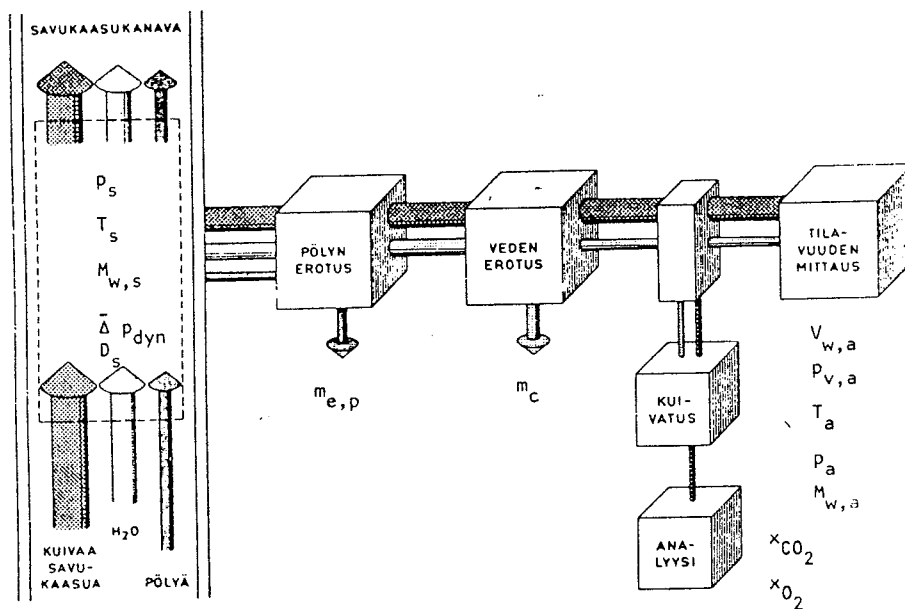


Kuva 13. Päästömittauksen yleinen toimintamalli (8).

Vaikka markkinoilla on olemassa joukko kiintoaineen tai rikkidioksidin määrittämiseen soveltuvia nk. in situ- mittalaitteita, jotka eivät edellytä näytteenottoa, perustuu päästömittaus, riippumatta siitä suoritetaanko se käsinäytteenottoon perustuvalla menetelmällä vai automaattisesti toimivalla mittalaitteella, edelleenkin useimmiten näytteenottoon. Päästömittauksessa kerätään näytteenottolaitteistolla savukaasuvirrasta vain häviävän pieni osa, suuruusluokaltaan muutamia kg näytekaasua/h. Tämän näytekaasuvirran tilavuus ja sisältö määritetään mittaamalla. Samanaikaisesti mitataan myös savukaasuvirran tietyt suureet, kuten esim. dynaaminen paine. Näistä mittaustuloksista lasketaan savukaasukanavassa virtaavat massavirrat. Useimmiten kiinnostaa vain massavirta pöly ja massavirta rikkidioksidi.

7.1.1 Näytteenotto ja -käsittely päästömittauksissa

Näytteenoton yleinen periaate on esitetty kuvassa 14. Mikäli kuvaan piirrettäisiin "Veden erotus"- ja "Tilavuuden mittaus"-lohkon väliin yhdiste X:lle oma lohko, jolle annettaisiin nimi "Yhdiste X:n erotus", tämä kuva olisi yleispätevä selvitetäessä minkä tahansa yhdisteen päästömittauksia.



Kuva 14. Näytteenoton yleinen periaate (8).

Kiintoainepäästön määrittämisessä kerätään kiintoainetta joko kuivana suodattimelle tai johonkin liuokseen. Näytteenoton jälkeen suodattimen tai liuoksen massan lisäys rekisteröidään. Mikäli taas on kyse jonkin kaasumaisen yhdisteen määrittämisestä, poistetaan useimmiten kiintoaine ensin näytekaasuvirrasta ennen varsinaista analysointia. Kiintoainepäästön määrittämisessä käytettävät suodattimet voivat olla muodoltaan joko taso- tai kuppisuodattimia, materiaaliltaan joko teflonia, kvartsiavilaa tai jotakin muuta sopivaa materiaalia. Punnitustulos ($m_{e,p}$) mää-

rää kiintoainepäästön suuruuden. Mikäli kiintoaineen määrittämisessä käytetään absorptioliuosta, se voi olla joko vettä, suolahappoa tai jotakin muuta sopivaa nestettä riippuen kerättävän kiintoaineen liukoisuudesta tähän absorptioliuokseen. Esimerkiksi soodakattilan kiintoaine (Na_2SO_4) määritetään nk. märkämene-
telmällä imemällä näytekaasua tislatus veden läpi, jolloin näytekaasun sisältämä kiintoaine liukenee veteen. Meesauunin kiintoaine (CaO ja/tai CaCO_3) määritetään useimmiten imemällä näytekaasua laimean suolahapon läpi. Tuntemalla etukä-
teen kiintoaineen koostumus, voidaan analysoimalla nämä vesi- tai suolahappo-
liuokset (Na^+ ja Ca^{2+}) laskea kiintoaineen massakonsentraatio näytteessä ja siitä edelleen kiintoaineen pitoisuus piipussa.

Näytteenotossa vesi, joka savukaasukanavassa esiintyy yleensä höyrynä tai sumu-
na, jopa pisaroina, on syytä erottaa näytekaasuvirrasta esimerkiksi lauhduttamalla.
Näytteenoton aikana erottunut veden massa (m_c) punnitaan.

Tilavuusmittausyksikössä mitataan kaikki näytekaasun tilavuutta kuvaavat oleel-
liset suureet, kuten näytteenoton aikana imetty kokonaistilavuus ($V_{w,a}$), paine (p_a),
lämpötila (T_a). Analyysilohkossa analysoidaan näytekaasun kemiallinen koostu-
mus. Jotta näytteenotossa ja analysoinnissa saadut mittaustulokset voitaisiin
sopeuttaa kanavan olosuhteisiin tulee lopuksi savukaasukanavan halkaisija (D_s),
nopeutta kuvaava dynaaminen paine (Δp_{dyn}) sekä kanavan paine (p_s) ja lämpötila
(T_s) mitata.

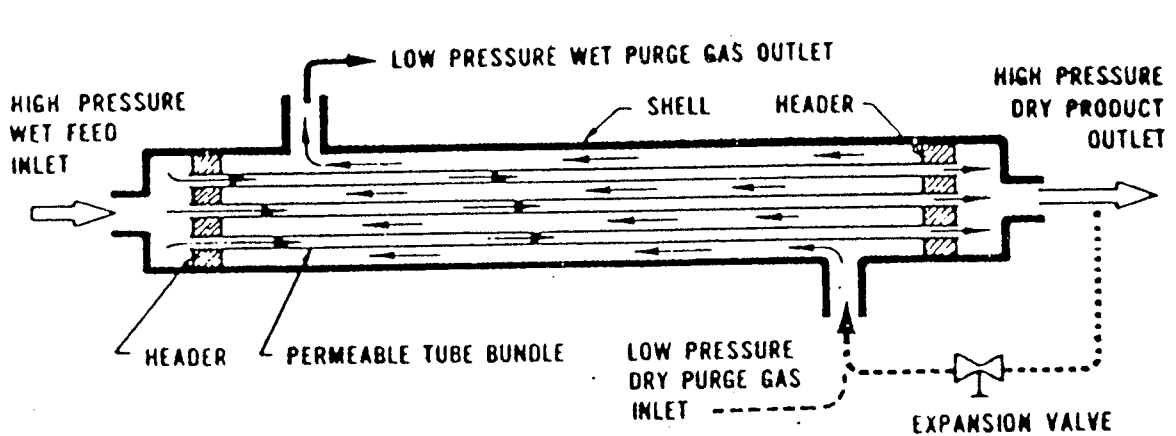
Näytteenotto- ja käsittelylaitteistot eivät paljon poikkea toisistaan. On oikeastaan
yhdenmukaista, käytetäänkö niitä kiintoaineen vai kaasumaisten yhdisteiden
mittaamiseen. Seuraavat yleiset perusvaatimukset on kuitenkin syytä ottaa
huomioon kaasumaisia yhdisteitä kerätettäessä:

- Kiintoaine on hyvä erottaa näytekaasusta jo sondin kärkeen asennetulla erotti-
mella. Usein on vielä tarpeen näytekaasun hienosuodatus juuri ennen analy-
sointia. Sondin kärkeen asennettu erotin on voitava näytteenoton aikana
automaattisesti puhdistaa tukkeutumisen välttämiseksi.
- Selluteollisuuden savu- ja prosessikaasut sisältävät runsaasti vesihöyryä. Esim.
soodakattilan savukaasuista noin 30 tilavuusprosenttia on pelkkää vesihöyryä.
Näin ollen on tärkeää erottaa mahdollisimman selektiivisesti vesihöyry näyte-
kaasusta siten, etteivät rikkiyhdisteet saman tien häviä tai muuta olomuotoaan
näytekaasussa. Vesihöyryn hallitsematonta lauhtumista näytteenottolaitteiston
putkistossa on kaikin keinoin vältettävä.

Vesihöyryn hallitsematon lauhtuminen voidaan tehokkaasti välttää käyttämäl-
lä lämmitettyjä teflonputkia. Mikäli näytekaasua imetään esim. savukaasupesu-
rin jälkeisestä kanavasta, on itse sondinkin syytä olla lämmitetty. Useimmiten
on kuitenkin täysin riittävää käyttää lämpökaapelia, joka ylläpitää noin 80 °C:n
vakiolämpötilaa putkistossa.

Usein erotetaan vesihöyry näytekaasusta lauhduttamalla, jolloin näytekaasun
lämpötila lasketaan hallitusti kastepisteen alapuolelle. Tarvittaessa lauhtunut
määrä voidaan punnita ja analysoida. Tällöin on vaarana, että osa rikkiyhdis-

teistä liukenee lauhteeseen. Vesihöyry voidaan kuitenkin erottaa selektiivisesti näytekaasusta suuremmilla rikkihäviöillä käyttämällä nk. permeaatiokuivainta. Kaupallisessa muodossa tällainen permeaatiokuivain koostuu useista vettä selektiivisesti läpäisevistä putkista (kuva 15).

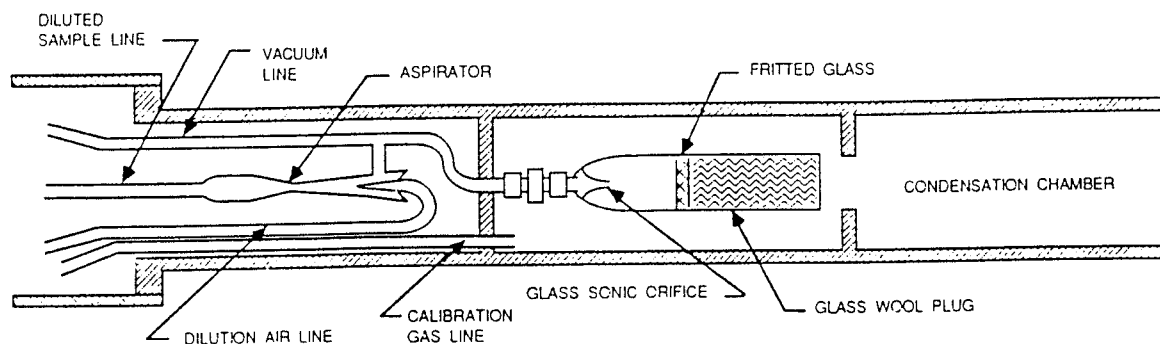


Kuva 15. Kaupan oleva permeaatiokuivain (8).

Putkia saattaa samassa kuivaimessa olla sataakin. Kuivain olisi syytä sijoittaa lämmitettyyn tilaan, ettei hallitsematonta lauhtumista kuivaimen putkistossa tapahdu. Tässä kuivaimessa on vesihöyryä selektiivisesti läpäiseviä membraaneja. Ylläpitämällä membraanin toisella puolella alipainetta sekä poistamalla membraanin läpi permeoitunut vesihöyry kuivan ilmavirtauksen avulla voidaan näytekaasua kuivattaa noin 2 l/min ilman merkittäviä rikkihäviöitä. Suoritetun testien perusteella esim. H_2S -häviö on todettu merkityksettömäksi ja SO_2 -häviöt vain 4 %:ksi kuivatettaessa H_2S - ja SO_2 -pitoista näytekaasua, joka ennen käsittelyä sisälsi 20 % (tilavuus) vettä.

- Näytteenotto- ja käsittelylaitteistoon tulee voida syöttää kalibrointi- ja nollakaasua näytteenoton yhteydessä hallitusti.
- Näytteenotto- ja käsittelylaitteiston ne osat, jotka joutuvat suoraan kosketukseen näytekaasun kanssa, tulee valmistaa kestävästä ja kemiallisesti riittävän inertistä materiaalista.

Suomessa on laajan suosion saavuttanut laimennussondi (kuva 16), jossa näytekaasu laimennetaan inertillä kaasulla hallitusti. Tällöin näytekaasun vesisisältö ei häiritse analysointia. Laimennetusta näytekaasuvirrasta poistetaan ensin näytekaasun sisältämä SO_2 , jonka jälkeen näytekaasun pelkistyneet rikkiyhdisteet hapetetaan korkeassa yli 800 °C:n lämpötilassa rikkidioksidiksi ja analysoidaan tavallisella rikkidioksidianalysaattorilla. Korkeassa lämpötilassa palavat myös tietyt määritystä häiritsevät orgaaniset yhdisteet kuten terpeenit.



Kuva 16. Periaatekaavio laimennussondista.

7.1.2 Analyysimenetelmät päästömittauksissa

Päästömittauksissa käytetään yleensä standardisoituja menetelmiä tai tyyppi-hyväksytyjä mittalaitteita. Kerätyn näytteen analysoinnissa (H_2S , SO_2 , TRS, Cl_2 ja ClO_2) käytetään myös vakiintuneen aseman saavuttaneita märkäkemiallisia menetelmiä, kiintoainenäytteiden analysoinnissa gravimetristä tai kemiallista analysointia. Esimerkiksi soodakattilan kiintoainepäästöjä määritettäessä riittää Na:n massakonsentraation määrittämiseen tavallinen liekkifotometri. Kaasumaisten rikkiyhdisteiden (SO_2 ja TRS = H_2S + MM + DMS + DMDS) komponenttikohtaiseen määrittämiseen soveltuu erinomaisesti kaasukromatografia. Analyysitulokset ilmoitetaan yksikössä $\text{mg}/\text{m}^3\text{n}$ (kuivaa kaasua).

7.1.2.1 SFS-standardimenetelmät

Suomessa on kohta kahden vuosikymmenen ajan määrätietoisesti laadittu ulkomaisiin tunnettuihin standardimenetelmiin nojautuen päästömittaukseen soveltuvia SFS-standardimenetelmiä. Seuraavassa luettelossa on esitetty käytössä olevat SFS-päästömittausmenetelmät.

- | | |
|----------|--|
| SFS 3866 | : Kiintoaineen määrittäminen manuaalisella menetelmällä
2. painos, 1990-12-21 |
| SFS 3869 | : Kaasumaisten päästöjen määrittäminen. 1982-04-05 |
| SFS 5265 | : Rikkidioksidin massakonsentraation määrittäminen thorini-
menetelmällä. 1987-01-26 |
| SFS 5293 | : Rikkivedyn massakonsentraation määrittäminen jodometrisellä
titrausmenetelmällä. 1987-02-23 |
| SFS 5412 | : Palamiskelpoiset savukaasut. Hiilimonoksidin määrittäminen ei-
dispersiivisellä infrapuna-absorptio-menetelmällä.
1987-12-07 |
| SFS 5624 | : Savukaasun tilan määrittäminen. 1990-06-04 |

- SFS 5625 : Mittausyhteiden asentaminen kanavaan. 1990-08-04
 SFS 5727 : Pelkistyneiden rikkiyhdisteiden massakonsentraation määrittäminen nesteabsorptiotekniikalla. 1992-08-24

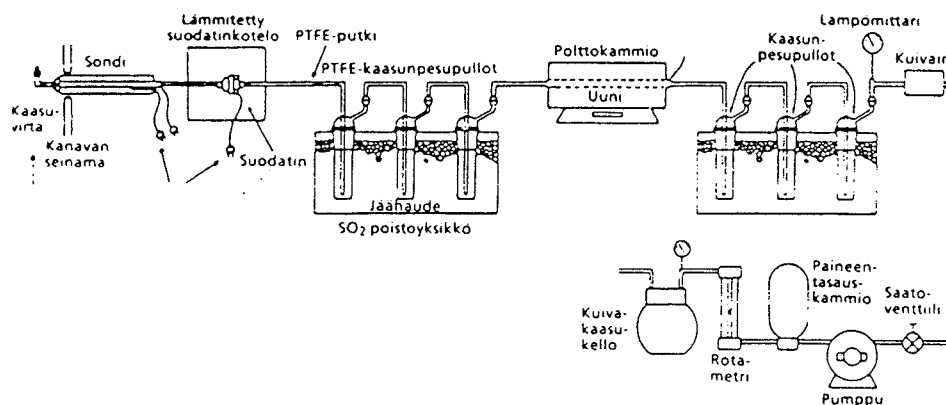
Standardimenetelmistä tärkein on SFS 3866. Kiintoaineen määrittämisen hallitseminen luo pohjan päästömittauksissa käytettävien muiden menetelmien ymmärtämiselle ja käytölle. Tässä menetelmässä on käsitelty myös tilavuusvirran mittausta.

Standardimenetelmä SFS 5265 antaa riittävän hyvät mahdollisuudet määrittää savukaasun rikkidioksidi. Menetelmässä näytekaasun sisältämä SO_2 hapettuu absorptioliuoksen vetyperoksidin vaikutuksesta rikkihapoksi. Muodostunut sulfaatti määritetään bariumperkloraatilla titraten ja thorini-indikaattoria käyttäen.

Savukaasun rikkivety määritetään standardimenetelmällä SFS 5293. Menetelmässä absorptioliuoksen kadmiumasetaatti reagoi kaasussa olevan rikkivedyn kanssa muodostaen kadmiumsulfidia, joka määritetään jodometrisesti.

Standardimenetelmät SFS 5412, 5624 ja 5625 liittyvät päästömittauksen oheisselvityksiin ja -toimiin.

Pelkistyneiden rikkiyhdisteiden kokonaismäärän määrittämiseksi on äskettäin vahvistettu SFS-standardi SFS 5727. Näytteenottolaitteiston periaate on esitetty kuvassa 17.



Kuva 17. TRS-yhdisteiden näytteenotto (9).

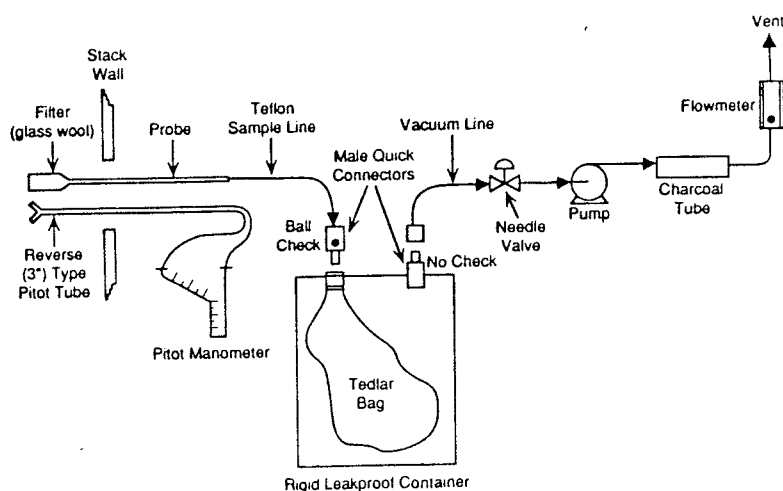
Kanavasta imettävä näytekaasuvirta johdetaan ensin SO_2 -poistoyksikön läpi, jolloin näytekaasuvirrasta poistuu selektiivisesti näytekaasun alunperin sisältämä SO_2 . Tämän jälkeen näytekaasuvirta johdetaan polttokammioon, missä näytekaasun TRS-yhdisteet hapettuvat termisesti rikkidioksidiksi. Polttokammioista näytekaasuvirta johdetaan absorptioyksikön kautta tilavuusmittausyksikköön. Absorptioyksikössä TRS-yhdisteistä peräisin oleva näytekaasun SO_2

hapettuu absorptioliuoksena käytettävän vetyperoksidin vaikutuksesta rikkihapoksi. Näin muodostunut näyte titrataan bariumperkloraatilla thorini-indikaattoria käyttäen.

7.1.2.2 Muut menetelmät

Määritettäessä TRS-yhdisteitä komponenttikohtaisesti menetellään toisin kuin standardimenetelmässä SFS 5727 on esitetty. Näytteenotossa käytetään nesteabsorption sijaan laminaattipussia, johon näytekaasu kerätään. Näytekaasu on käsiteltävä samalla tavalla kuin muissakin menetelmissä, siis sen tulee olla kuiva ja hiukkasista vapaa. Näytekaasun siirtämiseen laminaattipussiin voidaan käyttää letkupumppua. Suomessa on levinnyt KCL:n kehittämä ja käyttämä näytekaasun siirtomenetelmä, missä näytteenottolaitteiston viimeisenä osana oleva laminaattipussi sijaitsee säiliössä, johon imetään tyhjiö. Tällöin pussi täyttyy tutkittavalla savukaasulla. Pussi vietään laboratorioon analysoitavaksi. Analysointi tapahtuu kaasukromatografilla.

Vastaavanlainen näytteenottojärjestelmä on esitetty amerikkalaisessa ilmansuojelualan lehdessä (10) elokuussa 1991. Kuvassa 18 on esitetty koko näytteenottolaitteisto sekä kuvassa 19 itse säiliö.

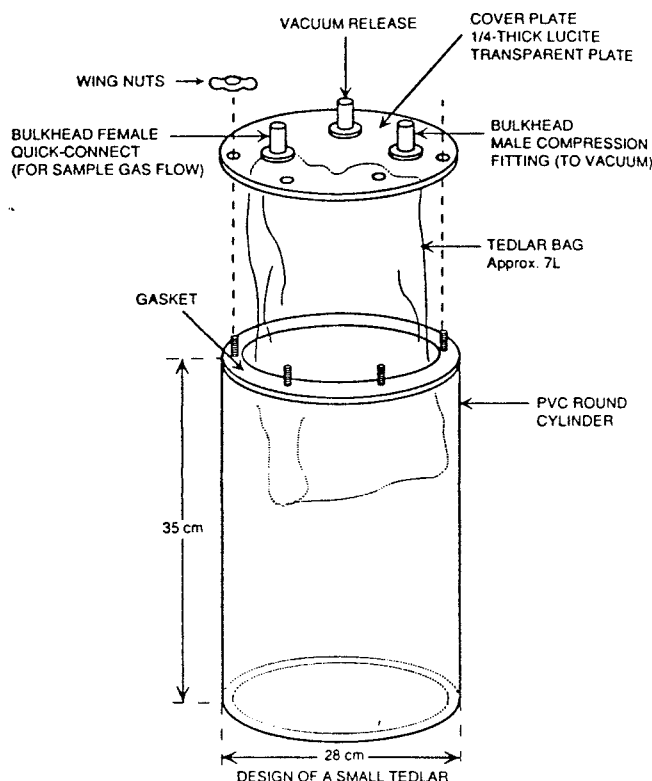


Kuva 18. Näytteenottolaitteisto (laminaattipussi).

Kaasukromatografisessa analyysissä rikkiyhdisteet erotetaan toisistaan käyttäen sopivaa kolonnia ja rikkispesifistä liekkifotometridetektoria. Kaasukromatografian kenttäkäyttö jatkuvatoimisena päästömittauslaitteistona ei ole yleistynyt.

Kloori-/klooridioksidianalyysi perustuu perinteiseen joditisulfaattimääritykseen, jossa kaasunäyte absorboidaan puskuroiduun jodiliuokseen ja titrataan tiosulfaatilla ensin pH:ssa 7,5 - 8 ja sitten happamassa liuoksessa.

Kiinnostus savukaasuissa esiintyviin kloorattuihin orgaanisiin yhdisteisiin on viime vuosina kasvanut. Esimerkkinä voidaan mainita polykloorautuneet dibentso-p-dioksiinit ja dibentsofuraanit (PCDD ja PCDF), kloorifenolit, klooribentseenit ja polyklooratut bifenyylit (PCB). Suuren ryhmän muodostavat myös polyaromaattiset hiilivedyt (PAH). Myös savukaasun raskasmetalleista ollaan kiinnostuneita.



Kuva 19. Evakuoitavissa oleva säiliö (laminaattipussi).

Näytteenotto tapahtuu periaatteessa aivan samalla tavalla kuin tavanomaisessa näytteenotossa. Koska orgaanisia klooriyhdisteitä on savukaasussa erittäin vähän, on näytteenotossa ja laitteiston materiaalivalinnoissa oltava sangen huolellinen. Myös näytteenottoaika pitenee huomattavasti. Tällaisten orgaanisten klooriyhdisteiden näytteenotosta ja analysoinnista on kirjoitettu runsaasti (11).

PCDD - ja PCDF - määritykset suoritetaan korkean erotuskyvyn kaasukromatografi/massaspektrometriyhdistelmällä puhdistetusta ja esikäsitellystä näytteestä. Saatujen pitoisuuksien perusteella lasketaan näytteille toksisuusekvivalentti sekä kansainvälisten (I-TEF) että Eadon-kertoimien mukaisesti.

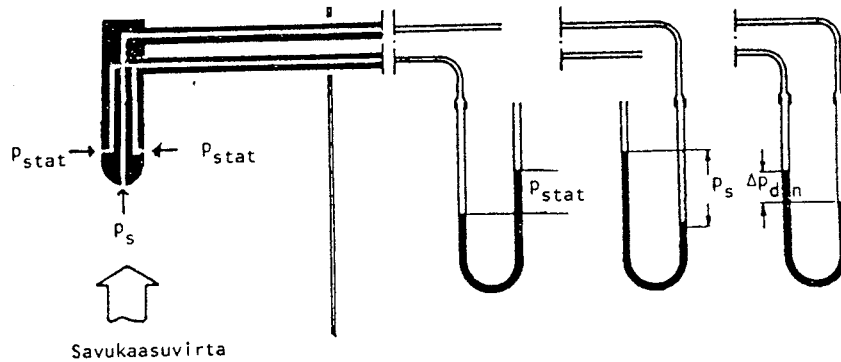
Kloorifenolit määritetään kaasukromatografisesti käyttäen EC-detektoria ja sisäistä standardia.

PCB-yhdisteet ja klooribentseenit määritetään myös kaasukromatografisesti EC-detektorilla käyttäen edellisten analysoinnissa sisäistä standardia ja jälkimäisten ulkoista standardia.

PAH-yhdisteet määritetään kaasukromatografi/massaspektrometrillä käyttäen ionimonitorointitekniikkaa (SIM = Selected Ion Monitor) ja sisäistä standardia. Raskasmetallit määritetään lentotuhkasta ja/tai kaasunpesupulloon kuplitetusta näytteestä käyttäen atomiabsorptiospektrometriä.

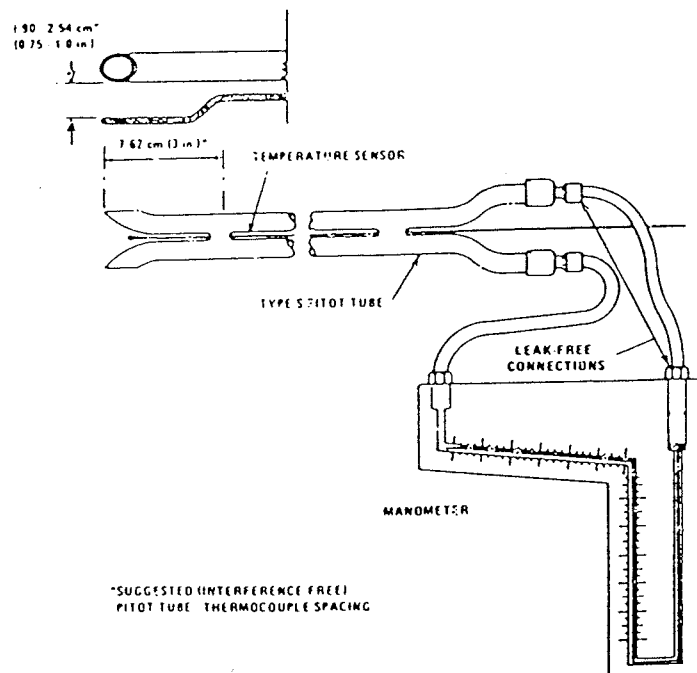
7.1.3 Tilavuusvirtamittaus

Savukaasun keskimääräinen nopeus ja tilavuusvirta määritetään kaasun tiheyden sekä nopeuden aiheuttaman keskimääräisen dynaamisen paineen avulla. Dynaamisen paine-eron mittauksen periaate on esitetty kuvassa 20.



Kuva 20. Periaatekuva dynaamisen paine-eron mittauksesta (8).

Dynaaminen paine eli kanavan kokonaispaineen ja staattisen paineen välinen paine-ero mitataan vakiintuneen tavan mukaisesti tosin S-tyyppin pitotputkella eikä kuten kuvassa on esitetty Prandtlin-pitotputkella. Kuvassa 21 on esitetty savukaasun nopeuden mittaamiseen tarvittavan S-tyyppin pitotputkilaitteiston kokoonpano.



Kuva 21. S-tyyppin pitotputki manometreineen ja termoelementteineen (12).

Itse pitotputki tehdään kahdesta ruostumattomasta teräsputkesta. Tarkemmat kuvaukset tilavuusvirtamittauksesta löytyy standardimenetelmästä SFS 3866:sta tai EPA menetelmä 2:sta.

7.1.4 ON LINE-mittaukset

Fysikaalisiin mittausmenetelmiin perustuvien laitteiden kehitys ja käyttö päästömittauksissa on lisääntynyt. Mittauksia on suoritettu sekä kanavan läpi mittavilla että näytettä ottavilla laitteistoilla. Jälkimmäisistä on toistaiseksi ollut parempia kokemuksia. On myös osoittautunut, että yhdessä paikassa hyvin toimiva laitteisto ei välttämättä toimi hyvin toisessa paikassa toisenlaisissa olosuhteissa. On line-mittauksissa on tärkeätä, ettei näytteenotossa jäähdytyksen tai muun esikäsitteilyn ansiosta poisteta määritettävää komponenttia. Mm. VTT:n tutkimuksissa (10) on todettu, että riippuen käsittelymenetelmästä vesi-höyryllä on suuri vaikutus SO_2 -, NO - ja NO_2 -pitoisuuksiin. Käytettäessä laimennussondia, näytekäasun kosteudella ei ollut kovin merkittävää vaikutusta tutkittavien kaasujen pitoisuuksiin. Sensijaan perinteinen kaasunäytteen kondensoimalla tapahtuva kuivaus pienensi SO_2 -pitoisuuksia ja erityisesti NO_2 -pitoisuuksia, koska kyseiset kaasut absorboituivat veteen ja näin osa niistä poistui analysoitavasta näytekäasuvirrasta.

Suurimmat virhelähteet kaasupäästöjen jatkuvatoimisessa analyysissä ovat väärin suoritettu näytekäasun jäähdytys sekä analysaattorin mahdollinen epälineaarinen toiminta. Ne saattavat yhdessä aiheuttaa useiden kymmenien prosenttien virheen mittaustuloksiin.

Jatkuvatoimisia mittareita on käytetty pääasiassa O_2 -, CO -, CO_2 -, SO_2 /TRS- ja NO_x -mittauksiin. Mittaustulokset on taltioitu sekä piirturille että tietokoneen muistiin. Tietokoneen muistissa olevat tiedot ovat helposti laskennallisesti muokattavissa.

Kaasujen happipitoisuuden jatkuvatoimista mittaamista on perinteisesti käytetty palamisen tarkkailussa. Happi on paramagneettinen kaasu, mitä ominaisuutta käytetään mittauksessa. Mittaus tapahtuu kanavan ulkopuolelta.

Happimittaus ZrO_2 -antureilla voidaan suorittaa myös suoraan savukanavassa, jolloin ei tarvita näytteenottojärjestelmää. Hyvä happimittareiden oikeellisuuden tarkistustapa on tehdä Orsat-mittaus.

CO/CO_2 - mittauksissa käytetään yleisesti ei-dispersiivisiä infrapuna - analysointilaitteita esim. prosessitarkkailussa. Ei-dispersiivisessä analysointilaitteissa käytetään hyväksi laajempaa infrapunan spektrialuetta; dispersiivisessä rakenteessa käytetään sen sijaan määrättyjä aallonpituuksia.

SO_2 -mittaus perustuu useimmiten UV/fluoresenssi-periaatteeseen. UV-säteilyllä viritetty SO_2 -molekyyli emittoi palatessaan perusenergiatasolleen sille ominaista säteilyä. Tämän säteilyn voimakkuus on verrannollinen näytekäasun SO_2 -pitoisuuteen. Säteilyn voimakkuus mitataan.

TRS-mittauksissa käytetään SO₂-skrubberia, TRS-konvertteria sekä em. SO₂-analysointia. Näytekaasun sisältämä SO₂ poistetaan ensin kiinteätä täytettä sisältävässä SO₂-skrubberissa. Skrubberitäyte on uusittava riittävän usein. TRS-konvertterissa pelkistyneet rikkiyhdisteet hapetetaan ennen mittausta SO₂:ksi. Hapetuslämpötilan tulee olla riittävän korkea (850-870 °C), jotta hapettuminen tapahtuu täydellisesti. Tulokseksi saadaan TRS-yhdisteiden kokonaismäärä SO₂:na ilmaistuna.

NO_x-mittauksissa käytetään kemiluminisenssi-menetelmää. Tällöin säteilyllä viritetty NO₂-molekyyli luovuttaa palatessaan takaisin perusenergiatasolleen sille tyypillistä säteilyä. Tämän säteilyn voimakkuus on verrannollinen mitattavaan NO₂-pitoisuuteen. Säteilyn voimakkuus mitataan.

Kemiallisten kennojen käyttö kaasujen mittaamisessa on voimakkaasti lisääntynyt. Kennon ikä lyhenee, jos savukaasussa esiintyy esim. lyijyä tai savukaasu sisältää hapen ohella huomattavan määrän palavia kaasuja.

Suomen Metsäteollisuuden Keskusliiton vuonna 1991 suorittaman tiedustelun perusteella 80 % selluteollisuuden viidestätoista (15) jatkuvatoimisesta SO₂-mittarista tarkkaili soodakattiloiden ja 20 % meesauunien savukaasujen SO₂-pitoisuutta. Pelkistyneitä rikkiyhdisteitä (TRS) jatkuvatoimisesti mittaavia laitteita oli selluteollisuudessa yhteensä kymmenen (10). Näistä 60 % oli sijoitettu soodakattiloille ja 40% meesauuneille. Typenoksia ei jatkuvatoimisesti mitattu missään. Jatkuvatoimisia savukaasun kiintoainetta mittaavia laitteita oli selluteollisuudessa yhteensä kahdeksan (8) kappaletta. Neljä niistä oli soodakattiloilla, yksi meesauuneilla ja kolme kuorikattiloilla.

7.2 KALIBROINTI

Kaasupäästöjen mittauksiin käytettyjen laitteiden tai menetelmien kalibrointiin tarvitaan vähintään neljä eri pitoisuutta olevaa kaasuseosta, jotka useimmiten valmistetaan laimentamalla painepullon kaasua kalibroinnille sopiviin pitoisuuksiin.

Menetelmät, joilla valmistetaan pitoisuudeltaan tunnettuja kaasuja, jaetaan tavallisesti kahteen luokkaan, staattisiin eli annosmenetelmiin ja dynaamisiin eli jatkuvavirtausmenetelmiin.

Staattisissa menetelmissä sekoitetaan tunnettu tilavuus kaasua tunnettuun tilavuuteen laimennuskaasua. Laimentaminen voi esimerkiksi tapahtua ruiskuttamalla injektoruiskulla tietty tilavuus laimennettavaa kaasuseosta laminaattipussissa sijaitsevaan tiettyyn tilavuuteen laimennuskaasua.

Dynaamisissa menetelmissä johdetaan tunnettu tilavuusvirta kaasua, kaasuseosta tai nestettä laimennuskaasuvirtaan joko jaksottain tai jatkuvasti. Suomessa tunnetuin menetelmä on permeaatioputki-menetelmä. Dynaamisilla menetelmillä tuotetaan siis kaasuseoksia jatkuvina kaasuvirtoina.

Kalibroinnista on maailmalla kirjoitettu paljon toinen toistaan hienompia menetelmäkuvauksia. Esimerkiksi ISO/TC 158 (Analysis of Gases) ja American Society for Testing and Materials ovat julkaisseet useita standardeja tai standardiehdotuksia.

Seosten valmistuksessa käytetään etupäässä tilavuusmittauspumppuja, ajottaista- ja jatkuvaa ruiskutusta, kapillaareja, kriittisiä suuttimia, massavirtasäätimiä, diffuusiota ja permeaatiota. Erityisesti hyvin laimeita seoksia käsiteltäessä laitteiston materiaali tulee olla korroosion kestävä ja inerttiä. Riittävän tarkan kalibrointikaasun valmistus vaatii huolellista laitteiston käyttöön paneutumista ja kaasujen ominaisuuksien tuntemusta. Valmistettujen kaasujen etukäteen lasketut pitoisuudet täytyy ainakin alkuun tarkastaa sopivilla analyysimenetelmillä.

Mikäli laboratorio tarvitsee vain joitakin kalibrointikaasuja ei niiden valmistaminen omalla laitteistolla kannata, vaan kaupallisten kaasuseosten ostaminen on halvempaa. Laatukin saattaa olla parempi, koska kaasuseosten valmistustekniikkaan on todella perehdyttävä. Toisaalta kaupasta saatavien erikoiskaasuseosten pitoisuuksiinkaan ei pidä luottaa, ei edes silloin kun kaasusäiliön sisällöstä on olemassa analyysitodistus, koska sen pitoisuudessa saattaa ajan myötä tapahtua muutoksia.

Allaolevassa taulukossa 3 on luetteloitu ISO/TC 158 mukaiset kalibrointikaasuseosten valmistusmenetelmät. Näitä menetelmiä on lyhyesti käsitelty KCL:n esiselvityksessä "Kaasuseosten valmistaminen laboratoriossa mittalaitteiden kalibrointia varten".

Taulukko 3. Kalibrointikaasuseosten valmistus ISO/TC 158 mukaisesti.

numero	nimilyhenne	menetelmä		käyttöalue
		staat- tinen	dynaa- minen	
ISO 6142	weighing method	+		10^{-6} -1(M)
ISO 6144	static volumetric methods	+		10^{-6} -1(v/v)
ISO 6146	manometric method	+		
DIS/6145/2	volumetric pump		+	10^{-2} -1(v/v)
DIS/6145/3	periodic injection		+	10^{-6} - 10^{-2} (v/v)
DIS/6145/4	continuous injection		+	10^{-5} - 10^{-2} (v/v)
DIS/6145/5	capillary		+	10^{-8} -1 (v/v)
DIS/6145/6	sonic orifices		+	10^{-3} -1 (v/v)
DIS/6145/7	massflow controllers		+	10^{-3} -1 (v/v)
DIS/6145/8	diffusion		+	10^{-7} - 10^{-4} (v/v)
ISO 6349	permeation		+	10^{-4} - 10^{-5} (v/v)
ISO 7395	mass dynamic method		+	0,01 M
ISO 6147	saturation method		+	

7.3 EPÄSUORAT MITTAUKSET

Päästömittauksissa voidaan käyttää myös epäsuoria mittauksia. Esim. soodakattilassa on todettu selvä CO/H₂S-korrelaatio: kun CO pitoisuus kohoaa, H₂S-pitoisuuskin lisääntyy savukaasussa. CO-mittareista on hyviä kokemuksia prosessimittauksissa, joten CO-mittauksella olisi käyttöä kattilan ohjauksessa ja H₂S-pitoisuuksien nousun seurannassa SO₂/TRS-mittauksen asemasta. Koska CO/H₂S-korrelaatio on riippuvainen kattilasta, selvitykset on tehtävä kattilakohtaisesti. Tällaisia selvityksiä ei liene tehty Suomessa.

7.4 TASELASKELMAT

Taselaskelmia käytetään sekä hallinnollisessa tarkastelussa että teknillisissä selvityksissä.

Hallinnollisessa tarkastelussa taselaskelmia käytetään luomaan yleiskuva tehtaan kaikkien päästöjen tasosta. Taselaskenta voi olla yksinkertaisia rikin kulkua prosessin sisään ja ulos koskevia laskelmia tai sisältää rikin kierron ja päästöt kaikista osaprosesseista ja koko tehtaasta. Jälkimmäiset laskentatavat on laadittava ja testattava tehdaskohtaisesti. Erilaisten mallien käytössä on oltava kriittinen ja käytettävä riittävän pitkäaikaiseen seurantaan perustuvia laskentatapoja. Vain tehdaskohtaisella seurannalla ja tulosten tilastollisella tarkastelulla pystytään luotettavasti määrittämään tehtaan keskimääräinen päästötaso ja vertaamaan näitä päästötasojen asetettuihin raja-arvoihin.

Teknillisissä selvityksissä taselaskelmilla pyritään sensijaan hahmottamaan esimerkiksi rikkipäästöjen vähentämisen vaikutuksia sulfaattisellutehtaan rikki-natriumtasapainoon sekä löytämään ratkaisuja syntyviin ongelmiin. Esimerkiksi kertyvän rikin ongelmaan voidaan etsiä ratkaisuja simuloimalla sulfaattisellutehtaan rikki-natriumtasetta tarkoitusta varten laadituilla simulointiohjelmilla. Vaikka näillä simulointiohjelmilla ei saavuteta absoluuttisen oikeita arvoja, ovat ne kuitenkin suuntaa-antavina ja ennakoivina työvälineinä käyttökelpoisia ratkaistaessa erilaisia taseongelmia. Simulointiohjelmilla on esimerkiksi voitu osoittaa, että rikkitaso voidaan pitää hallinnassa vähentämällä kiertoan tulevan rikin absoluuttista määrää merkittävästi, käsittelemällä prosessissa syntyvä natriumsulfaatti uudelleen käyttökelpoisiksi kemikaaleiksi tai poistamalla rikkiä savukaasupesureilta alkuaikain. Simulointiohjelmilla tehtyjen teknisten havaintojen toteuttaminen käytännössä on tietysti jo eri asia.

Taselaskelmissa käytettävät lähtötiedot on aina tavalla tai toisella mitattava. Kaikkiin mittauksiin sisältyy virheitä ja nämä virheet vaikuttavat näinollen myös taselaskelmien lopputulokseen. Koelaskelmin voidaan osoittaa 10 %:n virheen jossakin lähtötiedossa aiheuttavan tietyissä tapauksissa yli 50 %:n virheen lopputuloksessa. Lähtötietojen virheiden merkitys luonnollisesti kasvaa, kun päästötasot pienenevät.

Tehtaan rikkitase kannattaa usein laskea osaprosesseittain. Todennäköisyys kaikkien virheiden maksimoitumiseen pienenee, kun tulos koostuu suuremmasta joukosta

osatekijöitä. Koelaskelma tällaisella mallilla osoitti rikkipäästön ilmaan muuttuvan noin 3 %, kun tilapäinen natriumsulfaattihäviö oli kasvanut 135 %.

Valtakunnallinen ongelma on se, että vuositasolla ainetaselaskennan kautta saadaan monilla tehtailla jopa yli 30 % suurempia tuloksia kuin mitaten! Ilmaistuna yksikössä kg SO₂/tonni sellua saattaa ero olla luokkaa 1 kg SO₂/tonni sellua. Tämä vallitseva ristiriita mittauksen ja ainetaselaskennan välillä olisi selvitettävä valtakunnallisena tutkimustehtävänä. On syytä pitää mielessä, että valtioneuvoston asettama raja-arvo on 4 kg SO₂/tonni sellua ja että eräät lääninhallitukset ovat päätöksissään vaatineet raja-arvoksi 2 kg SO₂/tonni sellua.

8. ULKOILMAN LAADUN TARKKAILU

Toiminnanharjoittajan tulee ilmansuojeluilmoituksessa esittää käytettävissä olevat tiedot alueen ilman laadusta sekä esittää näkemyksensä siitä, miten ilman laadun tarkkailu tulisi järjestää. Lisäksi hänen tulee olla tietoinen päästöjen todennäköisestä leviämisestä.

Ulkoilman laadun tarkkailu perustuu useimmiten leviämismallilaskennalla saatuihin tuloksiin ja niistä vedettyihin johtopäätöksiin. Mikäli tehtaalla on tarkat tiedot päästöistään, voidaan kaasujen leviäminen ja niiden pitoisuudet tietyillä alueilla laskea tietokoneella eikä varsinaista ulkoilman laadun mittausta tarvita. Jos mittaukset kuitenkin erinnäisistä syistä johtuen todetaan tarpeellisiksi on yleinen tapa, että kunta tai kaupunki yhteistyössä teollisuuslaitoksen kanssa suorittaa mittaukset lääninhallituksen hyväksymän ohjelman mukaisesti. Laitehankinta- ja käyttökustannusten jakoperusteista sovitaan etukäteen.

Paitsi ulkoilman rikkipitoisuuden mittamista kerätään eräillä paikkakunnilla myös laskeumaa. Laskeumanäytettä kerätään kuukauden verran, jonka jälkeen keräimeen kerääntynyt näyte analysoidaan. Myös bioindikaattoritutkimuksia suoritetaan.

Rikkidioksidi- ja TRS-pitoisuuden seurantaa voidaan suorittaa sopivalla etäisyydellä tehtaasta vallitsevan tuulen suunnan alle sijoitettavilla rikkidioksidianalysaattoreilla. Usein on kuitenkin suositeltavampaa käyttää useita analysointoreita. Tulostus suoritetaan joko kerran tunnissa tai vuorokaudessa.

Bioindikaattoritutkimuksilla seurataan päästöjen vaikutuksia tehtaan lähiympäristössä. Tällaisia tutkimuksia ovat puuston kunnon kartoitus, havuneulasten, rikkipitoisuus, jäkälän esiintyminen, harsuuntumisaste jne. Tällaisia tutkimuksia tehdään noin 3-10 vuoden välein. Näytteenotossa tulee käyttää standardimenetelmiä ja ottaa huomioon oikea luonnonkierron ajankohta. Näytealueet sijoitetaan ja analyysit tehdään SFS-standardien 5669 ja 5670 sekä VTT-5310-80 mukaisesti.

9. RAPORTOINTI

On tärkeää kehittää raportointirutiineja. Alkamassa oleva sisäinen ympäristönsuojelutarkastusmenettely saattaa ohjata kehitystä. Raportoinnin selkeyttä parantaa avain-

lukujen sekä grafiikan käyttö. Perusperiaate on se, että tehtaan sisäinen raportointi luo selkeän pohjan viranomaisille laadittaville yhteenvedoille (vuorokausi-viikko-kuukausi-vuosiraportit). Vuoden lopussa kuukausiraportit yhdistetään vuosiraportiksi, jotka lähetetään viranomaisille. Vuosiraporttiin liitetään myös mittausten tulokset huomautuksineen, sekä yhteenvedo tuotanto- ja käyntioloista.

Paikalliselle ympäristö- ja terveyslautakunnalle on välittömästi tiedotettava huomattavista häiriöistä tuotannossa. Yhteistyössä lautakunnan kanssa on päätettävä mahdollisista toimenpiteistä, jotka vähentävät tai estävät laajemman vahingon syntymistä. Tämän jälkeen vasta tiedotetaan lääninhallitukselle häiriötilanteesta.

9.1 TEHTAAN SISÄINEN RAPORTOINTI

Tehtaan sisäisestä raportoinnista on hyvin vaikea kirjoittaa ohjetta tai mallia. Pääperiaate on, että käytöntarkkailun tuloksia hyödynnetään mahdollisimman pitkälle ja että päästöjä seurataan yhtä intensiivisesti kuin prosessia yleensä. Erittäin tärkeätä on se, että tehtaalla on tarkoin mietitty, mitä ympäristöraportissa pitää olla ja että siihen on nimetty henkilö.

9.2 VIRANOMAISILLE TEHTÄVÄT YHTENVEDOT

Viranomaisille tehtävät yhteenvedot laaditaan viranomaisten omalle lomakkeelle (Liite 1). Lisäksi ilmansuojelupäätöksessä on edellytetty tehtäväksi yrityskohtaisia selvityksiä puhdistinlaitteiden toiminnasta ja häiriötilanteista vuoden aikana.

9.3 PÄÄSTÖTIETOJEN ILMOITTAMINEN

Sellutehtaan kokonaispäästöihin luetaan päästöt soodakattiloilta, sulan liuottajilta, meesauuneilta, klooridioksidin valmistuksesta, hajukaasujen polttolaitokselta, valkaisimolta sekä hajapäästöt erilaisista säiliöistä.

Päästötiedot ilmoitetaan viranomaisille toimitettavassa vuosiraportissa seuraavassa muodossa:

Hiukkaset [Na_2SO_4 , CaO , CaCO_3 , noki]

Hiukkaset: kg/a

Määriteltävä onko käytetty märkä-
vai kuivamenetelmää.

Rikinyhdisteet [SO_2 , H_2S , CH_3SH , $(\text{CH}_3)_2\text{S}$,
 $(\text{CH}_3)_2\text{S}_2$]

Vain kaasumaiset yhdisteet
huomioidaan vuosiraportissa.
Laskelmissa ei näin ollen esim.
kiintoaineeseen sitoutunutta rikkiä
oteta huomioon.

SO_2 : kg(S)/a

	TRS: kg(S)/a
Typenoksidit [NO, NO ₂ , N ₂ O]	NO _x : kg (NO ₂)/a
Klooriyhdisteet [Cl ₂ , ClO ₂]	Cl _{tot} : kg(Cl ₂)/a

Sellutehtaan päästöt eritellään vuosiraportissa sellun valmistuksen ja voimantuotannon päästöihin. Kuorikattila ja apukattilat luetaan voimantuotantoon. Monilla tehdaspaikkakunnilla on sellutehtaan lisäksi paperi-, kartonki- ja levytehdas. Näistä johtuvia päästöjä ei lasketa mukaan sellutuotannon päästöihin.

10. KOULUTUS

Pääsääntönä on, että tehdas itse mittaa ja seuraa päästöjensä vastaavalla tavalla kuin jätevesisektorilla. Tämä edellyttää, että sekä päästöjen mittaajilla että prosessin hoitajilla on riittävä ammattitaito suoriutua tehtävistään. Mittaajien tulee hallita voimassa olevat mittaustandardit, analyysi- ja tulostusmenetelmät sekä olla riittävästi perillä mitattavan kohteen prosessiolosuhteista. Prosessinhoitajien taas tulee olla selvillä prosessiensa aiheuttamista ympäristöpäästöistä niin ilmaan, veteen kuin kiinteisiin jätteisiin. Mittauksista vastaavan tulee edellämainittujen seikkojen lisäksi osata prosessia riittävästi. Hänen tulee osata laatia mittaussuunnitelma niin, että prosessin tila ja sen vaihtelut tulee otetuksi huomioon. Jatkuvatoimisista mittalaitteista vastaavilla tulee olla riittävät tiedot laitteiden huollosta, näytteenotto-
linjojen puhdistuksesta ja kalibroinnista. Edellämainitut seikat koskevat myös ulkopuolisia konsulttimittaajia.

Päästöt ja niiden riippuvuus prosessin ohjauksesta, puhdistinlaitteet ja niiden toiminta sekä päästölähteet tulee selvittää jo työnopastuksen yhteydessä.

Mittaajien pätevytyymiseen tähtääviä, useiden päivien mittaisia kursseja, joilla käsitellään mm. jatkuvatoimisten mittalaitteiden periaatteita, toimivuutta, huoltoa ja kalibrointia, järjestävät useat koulutukseen erikoistuneet tahot.

11. PÄÄSTÖJEN TARKKAILUN KUSTANNUKSET

Itse päästöjen mittaukset ja käyttötarkkailusta saatavien tietojen muotoileminen ja hyödyntäminen raportoinnissa aiheuttaa tätä nykyään huomattavia kustannuksia sekä henkilö- että laitepuolella. On kuitenkin syytä painottaa, että yksinkertaistamalla ja systematisoimalla mittaus- ja raportointitoimintoja voidaan kustannukset pitää kurissa.

-Laitekulut

Tyypillisiä laboratoriolaitehankintakuluja ovat

- kiintoaineen keräyslaitteisto	100.000 mk - 150.000 mk
- kaasukromatografi	150.000 mk
- pitot-putket oheislaitteineen	20.000 mk
- kalibrointikaasut, kalibrointilaitteet	50.000 mk
- muita oheislaitteita näytteenotossa ja laboratoriossa	150.000 mk

Tyypillisiä laitehankintakuluja on line-mittauksissa

- laser-pölymittarit	40.000 mk - 60.000 mk
- laimennussondi	50.000 mk - 100.000 mk
- SO ₂ -mittari + TRS-konvertteri	80.000 mk - 150.000 mk
- laitteiden asennus, tiedonsiirto, raportointijärjestelmät	100.000 mk - 250.000 mk

- Henkilöresurssit

Ilmapäästöjen tarkkailussa tarvitaan henkilöresursseja mittaussuunnitelman valmisteluun, mittaamiseen, raportointiin ja laitteiden kalibrointiin sekä huoltoon vähintään 1 - 2 laboranttitasoista, asiallisen koulutuksen saanutta mittaajaa ja tietojenkerääjää vakinaisesti sekä huoltohenkilökuntaa automaatio- tai instrumenttiosastolta. Mittaussuunnitelmien, yhteenvetojen ja erilaisten raporttien laatiminen vaatii noin 2-4 ins. kk/a.

- Ulkopuoliset tutkimukset

Leviämismallilaskelmien suorittaminen maksaa tapauksesta riippuen noin 300 000 mk/kerta ja bioindikaattoritutkimukset noin 100 000 - 250 000 mk/kerta.

Ilmanlaadun tarkkailussa käytettävien tarkkailuasemien hankinta ja niiden hoito sekä tulosten työstäminen aiheuttavat hankintavaiheessa ja vuositasolla huomattavia kustannuksia. Kustannukset on yleensä jaettu osallistuvien teollisuuslaitosten ja alueen kuntien kesken. Tyypillisiä kokonaiskustannuksia

- Mittausasema rakenteineen, laitehankintoineen ja tiedonsiirtoineen (mittausasemia saattaa olla 1-4 kpl)	200.000 mk - 350.000 mk
- Vuosittaiset käyttökulut, henkilöstömenot	150.000 mk - 300.000 mk

KIRJALLISUUS:

1. Puusta paperiin (M-401): Sulfaattikeitto, Metsäteollisuuden Työnantajaliitto, ISBN 951-9309-01-2, 1979.
2. Puusta paperiin (M-413): Haihduttamo, Metsäteollisuuden Työnantajaliitto, Moniste 13; 1979.
3. Energiantuotannon kokonaispäästöt Suomessa. Insinööritoimisto Prosessikemia Ky, Mikko Hupa, Sture Boström, Maarit Nermes, KTM Energiaosasto Sarja D:162, Helsinki 1988.
4. "Sulfaattiselutehtaat voidaan tehdä hajuttomiksi", Ilmansuojelu-Uutiset 6/90, Johan Gullichsen, Pertti Hynninen.
5. Dow Chemical (Gas/Spec-Technology Group) Companyn esite "The SulFerox process removes H₂S for less and converts it to sulfur".
6. "Tyypin oksidien poisto savukaasuista", Diplomityö 25.2.1992 Anu Lääveri, Lappeenrannan Teknillinen korkeakoulu/Kemiantekniikan osasto.
7. KCL Tiedote 84, Kaarlo Rainio, Matkakertomus Ruotsista 7.-9.12.1988.
8. KCL Seloste 1502, Kaarlo Rainio: Sellutehtaan rikkidioksidi- pelkistyneiden rikkiyhdiste- ja pölypäästöjen mittauksesta, 1982-09-10.
9. SFS 5727. Ilmansuojelu. Päästöt. Pelkistyneiden rikkiyhdisteiden massakonsentraation määrittäminen nesteabsorptiotekniikalla. Vahv. 24.8.1992.
10. Journal Air Waste Management Association. August 1991, Volume 41, No 8. A Tedlar Bag Sampling System for Toxic Organic Compounds in Source Emission Sampling and Analysis. Jimmy C. Pau, Joseph E. Knoll, M. Rodney Midgett.
11. VTT: Tiedote 887, 1988, Raili Vesterinen: "Energiantuotannon päästöjen mittaaminen. Näytteenottomenetelmät, mittalaitteet, työtavat ja niiden kenttäkelpoisuus".
12. Method 2: Determination of stack gas velocity and volumetric flow rate (Type S pitot tube). Environmental Protection Agency Federal Register, Thursday August 18, 1977, part II.
13. VTT No 712, 1990, Tuula Vahlman, Kari Larjava: Rikkidioksidin ja tyypenoksidien jatkuvatoiminen analysointi savukaasuista.

ILMANSUOJELUTIETOJEN PÄIVITYS	Vuosi 1991
Selluteollisuus	
Tämän lomakkeen tiedot tallennetaan lakisääteiseen (IsL 27 §) valtakunnallisen ilmansuojelun tietorekisteriin. Tietojen oikeellisuudesta vastaa toiminnan harjoittaja ja tiedot tarkistaa lääninhallitus, jolle tiedot toimitetaan vuosiraportin yhteydessä tai viimeistään maaliskuun loppuun mennessä.	

YHTEYSTIEDOT		Tärkeimmän piipun koordinaatit p=		i=	#
Toiminnan harjoittaja					
Laitoksen nimi ja osoite					
Lääni		Kunta			
Yhteyshenkilö					Puh.

liitteenä ohje, ilmoitetaan vain jos ei ole ilmoitettu aiemmin

LAITOKSEN SELLUNTUOTANTO **		
Tuote	Määrä	Yksikkö
Valkaistua sellu		
Valkaistamaton sellu		

**Selluntuotanto tulee ilmoittaa vaikka se olisi vain valituote.

Soodakattilan päästöt (t/a)			Soodakattilan/liemikattilan polttoaineteho						MW
Liemikattilan päästöt (t/a)									
Aine	Määrä	Määri- tystapa	Aine	Määrä	Määri- tystapa	Aine	Määrä	Määri- tystapa	
Huukaset			SO ₂						
NO _x (NO ₂ :na)			TRS *						

* Ilmoitetaan rikiksi laskettuna

Sooda-/liemikattilan polttoaineen kulutus		Kattilan tyyppi		Käyttöaika				n/a
Polttaine	Tyyppi	Määrä *	Yksikkö	Kokonais- energia (GJ)	Rikki- pitoisuus t			

Heesauunin päästöt (t/a)								
Aine	Määrä	Määri- tystapa	Aine	Määrä	Määri- tystapa	Aine	Määrä	Määri- tystapa
Huukaset			SO ₂					
NO _x (NO ₂ :na)			TRS *					

* Ilmoitetaan rikiksi laskettuna

Mekaanisen polttoaineen- kulutus		Kattilan tyyppi		Kattilan polttoaineteho _____ MW Käyttöaika _____ h/a			
Polttoaine	Tyyppi	Määrä *	Yksikkö	Kokonais- energia (GJ)	Rikki- pitoisuus %		

Muut prosessipäästöt (t/a)			(EI sooda- tai liemikattiloiden, mekaanisen tai jäljempänä ilmoitettavien kattiloiden päästöjä)					
Aine	Määrä	Määri- tystapa	Aine	Määrä	Määri- tystapa	Aine	Määrä	Määri- tystapa
Huukaset			SO ₂					
NO _x (NO ₂ :na)			TRS *					

* Ilmoitetaan rikkiksi laskettuna

Polttoaineiden kulutus prosesseissa (EI sooda- tai liemikattiloiden, mekaanisen tai jäljempänä ilmoitettavien kattiloiden polttoaineita)							
Polttoaine	Tyyppi	Määrä *	Yksikkö	Kokonais- energia (GJ)	Rikki- pitoisuus %		

*tonneja, paitsi maakaasu 1000 nm³, puu, kuori, puru ja turve i.m.3 toimitustila

K A T T I L A 1

POLTOAINEEN KULUTUS		Kattilan tyyppi		Kattilan polttoaineteho _____ MW Käyttöaika _____ h/a			
Polttoaine	Tyyppi	Määrä *	Yksikkö	Kokonais- energia (GJ)	Rikki- pitoisuus %		

*tonneja, paitsi maakaasu 1000 nm³, puu, kuori, puru ja turve i.m.3 toimitustila

KATTILAN 1 PÄÄSTÖT (t/a)								
Aine	Määrä	Määri- tystapa	Aine	Määrä	Määri- tystapa	Aine	Määrä	Määri- tystapa
Huukaset								
SO ₂								
NO _x (NO ₂ :na)								

Sivu 3

KATTILA 2

POLTTOAINEEN KULUTUS		Kattilan tyyppi		Kattilan polttoaineteho _____ MW Käyttöaika _____ h/a			
Polttoaine	Tyyppi	Määrä *	Yksikkö	Kokonais- energia (GJ)	Rikki- pitoisuus %		

*tonneja, paitsi maakaasu 1000 nm³, puu, kuori, puru ja turve i.m.3 toimitustila

KATTILAN 2 PÄÄSTÖT (t/a)								
Aine	Määrä	Määri- tystapa	Aine	Määrä	Määri- tystapa	Aine	Määrä	Määri- tystapa
Huukaset								
SO ₂								
NO _x (NO ₂ :na)								

KATTILA 3

POLTTOAINEEN KULUTUS		Kattilan tyyppi		Kattilan polttoaineteho _____ MW Käyttöaika _____ h/a			
Polttoaine	Tyyppi	Määrä *	Yksikkö	Kokonais- energia (GJ)	Rikki- pitoisuus %		

*tonneja, paitsi maakaasu 1000 nm³, puu, kuori, puru ja turve i.m.3 toimitustila

KATTILAN 3 PÄÄSTÖT (t/a)								
Aine	Määrä	Määri- tystapa	Aine	Määrä	Määri- tystapa	Aine	Määrä	Määri- tystapa
Huukaset								
SO ₂								
NO _x (NO ₂ :na)								

*tonneja, paitsi maakaasu 1000 nm³, puu, kuori, puru ja turve i.m.3 toimitustila

LAITOKSEN SÄHKÖ- JA LÄMMÖNTUOTANTO		
Tuote	Määrä	Yksikkö
Sähkö		
Lämpö		

Tarkistanut lääninhallituksessa
.1992