

Energiataloudellinen Yhdistys Energiekonomiska Föreningen

EV-94076-01

ETY-Soodakattilavaliokunta
Soodakattilapäivä

Hotelli Haaga, Helsinki

26.10.1988

EV/AOR

Otaniemi 1988-09-30

Ohjelma

8.30-9.30 Ilmoittautuminen ja aamukahvi

9.30-10.30

J. Simonen,

Soodakattilan vesikierto: Luonnonkierron perusteet. Erilaiset soodakattilakonstruktiot, yksilieriö- ja kaksilieriökattilat. Esimerkkejä kiertotapauksista, yksi- ja kaksilieriökattilat, vinokuormitus. Kuormitusvaihtelut. Kiertohäiriöt.

10.40-11.40

P. Petänen,

Soodakattilan yleiset suunnitteluperusteet: Tilaajan ja toimitajan yhteistyö kattilan suunnitteluvaiheessa ja toimituksen aikana, mitoituksen lähtötiedot, laadunvalvonta. Apulaitteiden mitoitus. Korkean kuiva-aineen poltto.

11.40-13.00 Lounas

13.00-14.00

M. Hupa,

Soodakattilan palamisprosessi: Savukaasukemian yleisesitys. Carry-over ja tulistimen likaantuminen.

14.00-14.40

L. Söderhjelm,

Mustalipeän ominaisuudet.

14.40-15.00 Kahvi

15.00-15.40

J. Mäntyniemi,

Pisaranmuodostus. Lipeäpisaran palamiskäyttäytyminen.

15.40-16.20

J-P. Juuti,

Haihdutus: Haihdutus yleisesti. Ongelmat normaalikuiva-ainetasolla. Likaantumiseen vaikuttavat tekijät, eri yhdisteet, prosessitekniset tekijät. Kaukaalla tehdyt haihduttamomuutokset, syyt ja saavutetut tulokset.

16.20-17.00

K. Kuukkanen,

Mustalipeän kuiva-ainepitoisuuden noston vaikutukset soodakattilaan: Kuiva-ainepitoisuuden vaikutus kattilan termisiin käyttöolosuhteisiin, polttotekniikka, palaminen ja tulipesän lämpötilat, hyötysuhde. Vaikutus prosessiin, kemikaalitasapaino, emissiot, korroosio. Vaikutus kattilan mitoitukseen, kattila, savukaasujen puhdistuslaitteet. Tulevaisuuden näkymät, kattilan ohjaus.

17.00 Sauna ja päivällinen

EV-84076
ETY-Soodakattilavaliokunta
Soodakattilapäivä 26.10.1988

Yritys	Osallistuja	Soodakat- tilapäivä	Iltati- laisuus
Afora Oy, Oulu	Niilo Huovinen	X	X
A. Ahlström Oy, Varkaus	Yrjö Olli	X	X
	Petri Markkanen	X	X
	Christian Gustafsson	X	
	Samuli Nikkanen	X	X
	Raimo Paju	X	X
	Harry Rickman	X	X
	Esa Vihavainen	X	X
EKONO Oy, Espoo	Hannu Maskuniitty	X	X
	Björn Bäckström	X	X
Enso-Gutzeit Oy, Kaukopää	Tapani Hämäläinen	X	X
Enso-Gutzeit Oy, Kotka	Jukka Mikkonen	X	X
	Matti Takala	X	X
	Tapio Rouhiainen	X	X
Enso-Gutzeit Oy, Tainionkoski	Hannu Pörsti	X	X
	Esko Paananen	X	X
Enso-Gutzeit Oy, Varkaus	Lassi Kankala	X	X
ETY, Helsinki	Olavi Vapaavuori	X	X
	Asmo Rantanen	X	X
Kemi Oy	Keijo Imeläinen	X	X
	Pauli Harila	X	X
Kymmene Oy, Kaukas	Olavi Linnapuomi	X	X
	Hannu Kytö	X	X

OSALLISTUJALUETTELO
EV-84076, ETY-Soodakattilavaliokunta
Soodakattilapäivä 26.10.1988

EV/AOR/sak17

27.10.1988

2

Yritys	Osallistuja	Soodakat- tilapäivä	Iltati- laisuus
Kymmene Oy, Kuusankoski	Pentti Nokelainen	X	X
	Juha Kouki	X	X
Kymmene Oy, Schauman	Håkan Sjö	X	X
	Heikki Kojola	X	X
Oy Metsä-Botnia Ab, Kaskinen	Jouko Kurola	X	X
Oy Metsä-Botnia Ab, Äänekoski	Reijo Kiuru	X	X
	Timo Merikallio	X	X
	Osmo Niemitalo	X	X
Rauma-Repola Oy, Pori	Reino Kärki	X	X
	Kauko Tattari	X	X
Rauma-Repola Oy, Rauma	Pertti Valtonen	X	X
	Olli Suominen	X	X
Sunila Oy, Sunila	Matti Aho	X	
	Seppo Nikula	X	
	Timo Eriksson	X	
Oy Tampella Ab, Heinola	Mikko Sinkkonen	X	X
	Pekka Airaksinen	X	X
Oy Tampella Ab, Tampere	Kari Haaga	X	X
	Veikko Lehtonen	X	X
	Jaakko Mäkelä	X	X
	Ari Laakso	X	X
	Raimo Linna	X	X
	Markku Isoniemi	X	X
	Paavo Hyöty	X	
	Jorma Alajärvi	X	
Teollisuusvakuutus, Helsinki	Jarmo Gillberg	X	X
	Jaakko Tukia	X	
Veitsiluoto Oy, Kemi	Teuvo Poikela	X	X
	Kari Kerttula	X	X
	Pekka Pelkonen	X	X
Veitsiluoto Oy, Kemijärvi	Antero Raassina	X	X
	Seppo Martikainen	X	X
Veitsiluoto Oy, Oulu	Reijo Hukkanen	X	X
VTT, Metallilaboratorio, Espoo	Hannu Hänninen	X	
Yhtyneet Paperitehtaat Oy, Tervasaari	Olavi Aaltonen	X	X
	Matti Kinnari	X	X

OSALLISTUJALUETTELO
EV-84076, ETY-Soodakattilavaliokunta
Soodakattilapäivä 26.10.1988

EV/AOR/sak17

27.10.1988

3

Yritys	Osallistuja	Soodakat- tilapäivä	Iltati- laisuus
--------	-------------	------------------------	--------------------

Luennoitsijat

Afora Oy, Oulu	Kari Kuukkanen	X	X
A. Ahlström Oy, Varkaus	Jorma Simonen	X	X
Keskuslaboratorio, Espoo	Liva Söderhjelm	X	X
Kymmene Oy, Kaukas	Juha-Pekka Juuti	X	X
Oy Tampella Ab, Tampere	Pertti Petänen	X	X
	Jussi Mäntyniemi	X	X
Åbo Akademi, Turku	Mikko Hupa	X	X

Jorma Simonen
A. Ahlström Osakeyhtiö, Varkaus

Soodakattilan vesikierto

SOODAKATTILAN VESIKIERTO

1. YLEISTÄ KATTILAN VESIKIERROSTA

Eri tyyppiset kattilat voidaan jakaa vesikierron suhteen seuraaviin ryhmiin:

- luonnonkiertokattilat
- pakkokiertokattilat
 - La-Mont
 - Controlled Circulation
- läpivirtauskattilat

1.1 Luonnonkiertokattilat

Luonnonkiertokattilan vesikierto tapahtuu kaavion liitte 1 mukaan. Soodakattilat ovat tyypillisesti luonnonkiertokattiloita.

Luonnonkiertokattilan edut ovat:

- Säästetään pumpputyötä, koska höyrystys toimii painevoimaisesti ilman painehäviöitä.
- Luonnonkierto pakottaa yksinkertaiseen halpaan rakentamiseen.
- Höyrylieriö toimii kattilaveden suolojen erottimena, jolloin saadaan puhdas kylläinen höyry tulistimeen. Säästetään syöttöveden käsittelyssä.

Luonnonkiertokattilan haitat ovat:

- rajoitettu painealue
- rajoitettu kattilan muoto
- kallis lieriö

1.2 Pakkokiertokattilat

La-Mont pakkokiertokattilan kytkentä selviää liitteestä 2. Controlled Circulation kattilakierto eroaa edellisestä siten, että siinä keittopinta on tehty luonnonkierrolle ja putousputkiin on lisätty apuvoimaksi luonnonkierrolle kiertopumput. Kiertosysteemi on tarkoitettu lähinnä suurille kattilapaineille, max. 200 bar.

Pakkokierto-kattilan edut ovat:

- kattilan muoto rajoittamaton (La-Mont)
- höyrylieriö toimii veden puhdistimena
- vedenkierto varma

Pakkokierto-kattilan haitat ovat:

- rajoitettu painealue
- kiertopumpun suuri tehontarve
 - höyrystyspinnan painehäviö 2 – 3 bar
 - tehontarve 0,5 – 1,0 % kattilan tehontuotosta
- putkistot monimutkaisia ja kalliita
- kiertopumppu ja suuttimet lisäävät kustannuksia

1.3 Läpivirtauskattilat

Läpivirtauskattiloita on kytkennältään kahta eri tyyppiä, Sulzer-kattila, liite 3 ja Benson-kattila, liite 4. Pääasiallinen ero näillä tyypeillä on siinä, että Benson-kattilalla ei ole selvää rajakoh-
taa, mistä tulistus alkaa. Sulzer-kattiloilla on rajana Sulzer-
pullo.

Sulzer-kattilalle on tyypillistä, että suolan poisto tapahtuu Sulzer-pullost ja että jokaisen rinnakkaisen putken vesivirta säädetään kuristusventtiilillä.

Läpivirtauskattilan edut ovat:

- kattilan paine rajoittamaton
- kattilan kierto on varma

Läpivirtauskattilan haitat ovat:

- suuri painehäviö (40 – 50 bar)
 - suuri pumpputeho
- vaatii kalliit syöttöveden käsittelylaitteet
- tulipesärakenne hankala ja kallis, koska vaaditaan pieni vedenvirtauspoikkipinta riittävän massavirran saavut-
tamiseksi

2. LUONNONKIERRON PERUSTEET

Höyrykattiloiden luonnonkierron käyttövoimana on kattilan puto-
usputkien vesimassan ja höyrystysputkien vesihöyryemulsion
tiheysero.

Tulipesän seinäputkissa pääasiassa säteilylämpövirran vaikutuksesta muodostuvan vesihöyryemulsion tiheys on riipuvainen seuraavista seikoista:

- lieriön paine
- siirtyvä lämpövirta
- kiertoluku

Lieriön paineen kasvu kasvattaa vesihöyryemulsion tiheyttä. Höyry saavuttaa veden tiheyden kriittisessä paineessa 221,2 bar, jossa ei enää voi saada aikaan luonnonkiertoa. Luonnonkierron käytännöllinen paineraja on n. 170 – 180 bar.

Höyrystysputkeen siirrettävän lämpövirran lisääminen pienentää vesihöyryemulsion tiheyttä ja taas kasvava kiertoluku kasvattaa sitä.

Kiertoluku osoittaa, monesko osa kiertävässä vesihöyryemulsiossa on höyryä. Jos kiertoluku on 16, on vesihöyryemulsiossa höyryä 1/16 osa.

Kattilassa syntyy kierto, kun putousputkessa oleva raskas kylläinen tai alijäähtynyt vesi työntää edellään tulipesän seinäputkissa lämpövirran vaikutuksesta kiehuva vesihöyryemulsiota lieriöön. Syntyvää virtausta pyrkivät jarruttamaan lasku-, nousu- ja yhdysputkien kitka- ja kertavastukset sekä syklonien vastus.

3. LASKENTA

Luonnonkiertosysteemin laskenta ei ole helppo tehtävä. Vaikeuksia laskennassa tuottaa virtaushäviön määrittäminen kaksifaasivirtauksessa tulipinnoissa ja lukuisten virtausteiden muodostaman mallin tasapainolaskenta.

Laskentamalleissa on vielä kaksifaasivirtaukselle kaksi oletusta, ns. homogeeninen malli, jossa vesi ja höyry muodostavat homogeenisen emulsion ja ylinopeusmalli, jossa höyrykupla saavuttaa vettä suuremman nopeuden. Jälkimmäinen malli on lähinnä todellisuutta.

Laskentamallin lähtötietoina annetaan seuraavat lähtöarvot:

- lieriön paine
- syklonien lukumäärä ja tyyppitiedot
- määritetään virtaustiet ja solmupisteet
- määritetään virtausteittain
 - putkien koot ja pituudet sekä korkeuserot
 - putkien lukumäärät
- syöttöveden lämpötila ja entalpia
- putkien lämpökuormat ja lämpökuormien sijainti
- putkiston kertavastukset ja niiden sijainti

Tulostuksena saadaan virtausteittain vähintään:

- virtaustien massavirta
- virtaustien höyryvirta
- virtaustien kiertoluku

Virtaustien lasketun kiertoluvun tulee ylittää minimikiertoluku, joka on funktio vallitsevasta paineesta.

4. ERILAISET SOODAKATTILAKONSTRUKTIOT

Nykyään soodakattilat muistuttavat hyvin paljon toisiaa. Suurin ero on lähinnä lieriöiden lukumäärässä ja keittopinnan muodossa.

Yksilieriökattilasta on kahta eri tyyppiä keittopinnan suhteen:

- poikittaisvirtauskeittopinta
- pituusvirtauspoikkipinta

Kaksilieriökattilasta löytyvät vastaavat tyypit.

Pohjan muoto voi olla vino tai dekantioiva.

Vinossa pohjassa etu- ja takaseinän jakokammio sijaitsee epäkeskeisesti nurkassa, kun taas dekantioivassa pohjassa se sijaitsee keskellä pohjan alapuolella.

5. KIERTOESIMERKKEJÄ

Esimerkki kuormitusvaihtelun aiheuttamasta kierron muutoksesta:

	Kattilan teho	100 %	130 %
Sivuseinät	n =	9,73	9,55
Etuseinä	n =	17,92	14,83
Takaseinä	n =	51,12	38,82
Verho, etummainen	n =	10,40	10,07
Verho, takimmainen	n =	10,47	10,31

Pertti Petänen
Oy Tampella Ab, Tampere

Soodakattilan yleiset suunnitteluperusteet

SOODAKATTILAN YLEISET SUUNNITTELUPERUSTEET

1. Johdanto

Soodakattilan toiminnasta on paljon käsityksiä. Tilaa-
jan ja toimittajan yhteistyön perusta on erilaisten
käsitysten, kokemusten ja tutkimustulosten soveltami-
nen käytännössä siten, että tilaaja ja toimittaja mo-
lemmat uskovat yhteisen projektin onnistumiseen.

Viime vuosina on soodakattilan kehitys ollut nopeaa.
Uutta tutkimustietoa kertyy jatkuvasti samoin kuin ko-
kemuksia toiminnassa olevista kattiloista.

Soodakattilan rakenne on muuttunut. Aika on tullut
kypsäksi luopua kaksilieriörakenteesta. Uusimmat soo-
dakattilat rakennetaan yksilieriöisinä.

Uusinta uutta soodakattiloiden alueella edustaa kor-
kean kuiva-ainepitoisuuden, yli 75 % omaavan mustali-
peän poltto.

2. Soodakattilan rakenne

Korkea käytettävyys ja turvallinen rakenne ovat nyky-
aikaisen soodakattilan suunnittelun lähtökohta. Polt-
toprosessi ja lämpöpinnat suunnitellaan uusimman pro-
sessiteknisen osaamisen perusteella.

Soodakattila on luonnonkiertokattila. Luonnonkierto
perustuu tiheyseroon kattilan laskuputkiston ja nousu-
putkiston välillä. Tämä tiheysero pienenee paineen
kasvaessa, joten korkeilla paineilla kierron mitoitta-
miseen on kiinnitettävä erityistä huomiota.

Luonnonkierron laskenta on vaikea matemaattinen tehtä-
vä. Kierto hakeutuu enemmän tai vähemmän stabiiliin
tasapainotilaan. Tämä tasapainotila on mahdollista
laskea suhteellisen hyvällä tarkkuudella tietokoneen
avulla.

Usein puhutaan erilaisten vauriotapausten yhteydessä
kiertohäiriöistä. Kiertohäiriöstä on kysymys kun kier-
ron tasapainotila järkkyy, tai kierto ei ole lainkaan
stabiili. Kiertohäiriöitä syntyy sitä herkemmin mitä
useampi eriarvoinen kierto vaikuttaa toisiinsa. Vahva
kierto voi häiritä heikkoa kiertoa. Tällaisen dynaami-
sen virtausmallin hallintaan ei käytännön tapauksissa
ole luotettavaa laskentamallia. Laskemalla ei siis
voida poissulkea kiertohäiriön mahdollisuutta monimut-
kaisissa tapauksissa.

Soodakattila on paineastia, jonka jokaisen putken riittävä jäähdytys on varmistettava. Mikäli jonkin putken jäähdytys ei ole riittävä niin se murtuu heikoimmasta kohdastaan, joka voi olla hitsisauma, supistus tms. Tällaisissa tapauksissa on aina syytä epäillä mahdollista kiertohäiriötä perimmäisen syyn selvittämiseksi.

Tampellän uusissa yksilieriöisissä soodakattiloissa riittävä, stabiili vedenkierto on varmistettu rakenneteknisillä ratkaisulla

- Laskuputket ovat lämmittämättömät tiheyseron ylläpitämiseksi.
- Tulipesän kaikki seinät ja seinälohkot ovat lähes samanarvoisia kierron suhteen. Kaikilla seinälohkoilla on jako- ja kokoojakammiot ja kiertoputkien mitoituksella kompensoidaan nurkkalohkojen saama pienempi lämpömäärä.
- Eriarvoiset kierrot, tulipesä, verhoputkisto ja keittoputkisto ovat erillisiä. Niillä on omat laskuputket ja kiertoputket. Jopa höyrynerotussyklonit on ryhmitelty erikseen eri kierroksille. Tämä on mahdollista, koska kiertoputket voidaan johtaa molemmille puolille lieriötä.

Kattilan käytettävyyteen vaikuttaa paineastian kestävyiden lisäksi lämpöpintojen aukipysyminen. Yksilieriökattilassa keittoputkisto rakennetaan elementeistä, jotka ovat samassa linjassa konvektiotulistimen ja takaseinän nousuputkien kanssa. Lentotuhkaa keräävien otsapintojen määrä on siis mahdollisimman pieni.

Keittopintaelementtien ja vedenesilämmittimen kammiot on taivutettu sivuun tuhkaa keräävien hyllyjen välttämiseksi. Näin vältetään tuhkan kerääntyminen ja sint-raantuminen savukaasusolissa.

3. Soodakattilan mitoitus

Soodakattilan tulipesän pohjan pinta-ala mitoitetetaan kattilan kapasiteetin mukaan. Poikkipintakuormitukseksi valitaan nykyisin 15-17 tka/24 h. Vanhimmissa kattiloissa on kuormitus ollut huomattavasti pienempi, joskus vain n. 10 tka/24 h. Kaikkien kuormitetuimmissa kattiloissa on nykyisin jopa yli 20 tka/24 h.

Tulipesän korkeus mitoitetetaan siten, että lämpötila nokan kohdalla on keskimäärin noin 930 °C. Käytännössä lämpötila vaihtelee huomattavasti riippuen tulipesäprosessin hyvydestä.

Tulistimen jälkeinen savukaasun mitoitustilalämpötila ennen keittopintaa vaihtelee 550-620 °C riippuen lipeän laadusta. Lämpöpinnat on helppo pitää puhtaina nuohomien avulla kun lämpöpinta on tämän tarttumislämpötilan alapuolella. Vielä näissäkin lämpötiloissa tuhka voi muodostaa hankalia kerrostumia mikäli viipymäaika on liian suuri. Tuhkaa kerääviä hyllyjä ei siis jälkipintojen alueella saa olla.

Savukaasun loppulämpötilan mitoitussarvo ekonomaisemmin jälkeen riippuu energian hinnasta. vaihteluväli on suuri 155-220 °C.

4. Tulipesäprosessi

Valtaosassa maailman uusista soodakattiloista on käytössä ns. stationary firing polttotapa, jossa lipeä ruiskutetaan liikkumattomilla suuttimilla suhteellisen suurina pisaroina tulipesän pohjalle kehoon. Keko aktivoidaan reunaosiltaan primääri-ilmalla ja keskiosiltaan korkeampipaineisella sekundääri-ilmalla. Tertiääri-ilmalla varmistetaan kaasujen loppupalaminen ja sekoittuminen. Tällä polttotavalla, jossa keko "leikataan" sekundääri-ilmalla sekundääri-ilmasuutintien korkeudelle on tulipesä helppo hallita. Myös tuotosarvot varsinkin pienissä ja keskikokoisissa kattiloissa ovat hyviä.

Tällä hetkellä suunniteltavat ja rakennettavat soodakattilat ovat suuria, yli 2000 tka/vrk. Käytössä olevissa suurimmissa kattiloissa on eräitä ongelmia. "Keko lähtee lentoon kun sekundääri-ilman paine on liian suuri". "Tulistinalue tukkeutuu". "Tulipesän kuormitus on vino". Eräissä kattiloissa esiintyy jopa epänormaalia tulistinkorroosiota, joka johtuu mm. epätäydellisestä palamisesta.

Uusien kattiloiden suunnittelussa on Tampella ottanut avuksi matemaattisen mallin, jolla simuloidaan tulipesäprosessia. Mallin avulla on helppo ymmärtää riippuvuuksia. Tietokoneen avulla on todennettu mm. että sekundääri-ilmatasolle nykyisissä kattiloissa tietyillä ajomalleilla syntyy pyörteitä nurkista kohti keskustaa suuntautuneiden voimakkaiden virtausten johdosta. Virtausnopeus tulipesän keskellä on suuri keskimääräiseen verrattuna. Tällainen pyörteinen "pisarahissi" nostaa pisarat tulistinalueelle ja aiheuttaa paikallisen lämpötilahuipun. Pisaroiden lentäminen tulistinalueelle "carry over" likaa tulistinta. Tulipesän korkeudella ei ole oleellista vaikutusta ko. ilmiöön. Paremmalla tulipesäprosessin hallinnalla ja korkean kuiva-aineen ansiosta on mahdollista huomattavasti lisätä myös olevien kattiloiden kapasiteettia ja käytettävyyttä.

5. Korkean kuiva-aineen poltto

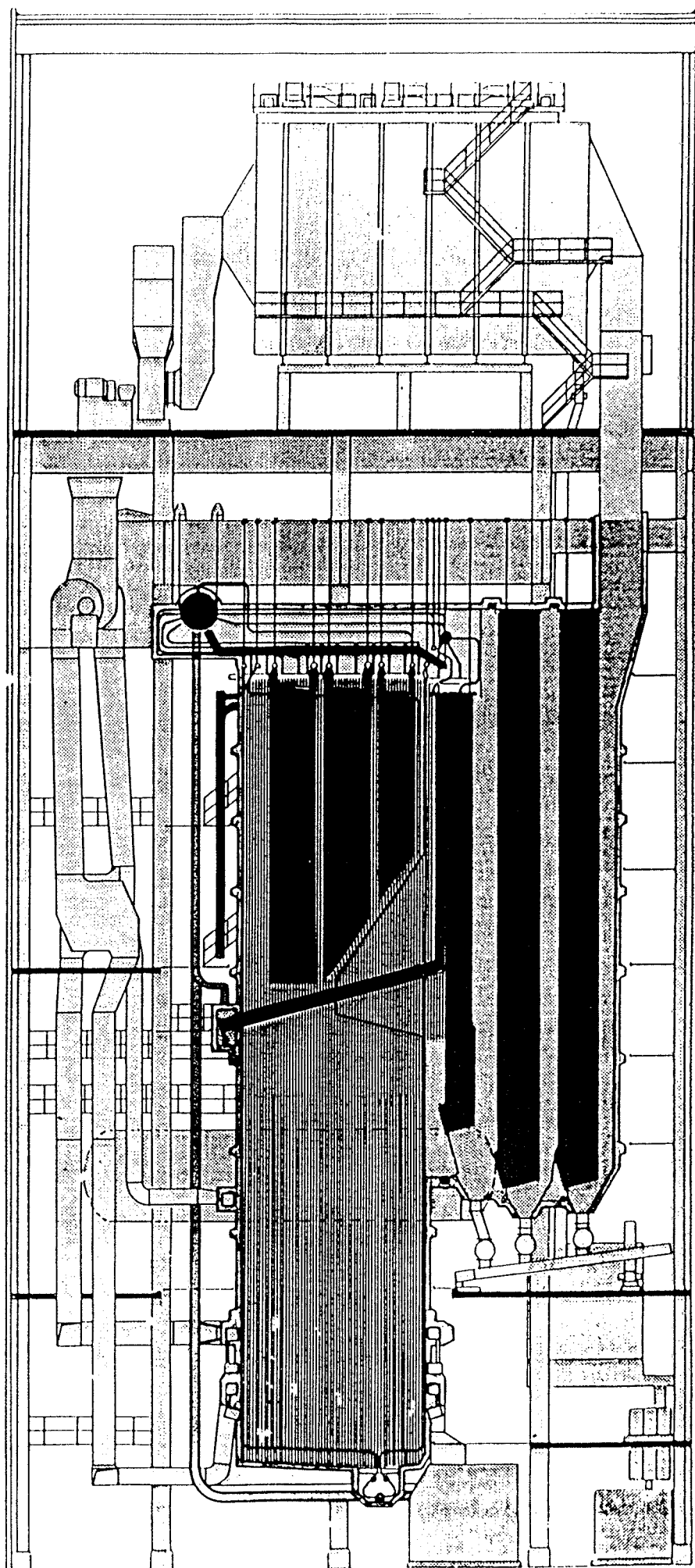
Avoin järjestelmä

Mustalipeä paisutetaan konventionaalisissa systeemissä haihduttamalla ilmakehän paineeseen. Paisutuksessa lipeän lämpötila laskee. Soodakattilalla lipeä johdetaan sekoitussäiliön kautta pumpuille ja lipeän esilämmitykseen. Suurin kuiva-ainepitoisuus mitä tällaisella avoimella systeemillä voidaan käsitellä riippuu lipeän pumpattavuudesta. Eri tehtaiden erilaisilla lipeälaaduilla pumpattavuus vaihtelee suuresti.

Superpoltto, suljettu polttojärjestelmä

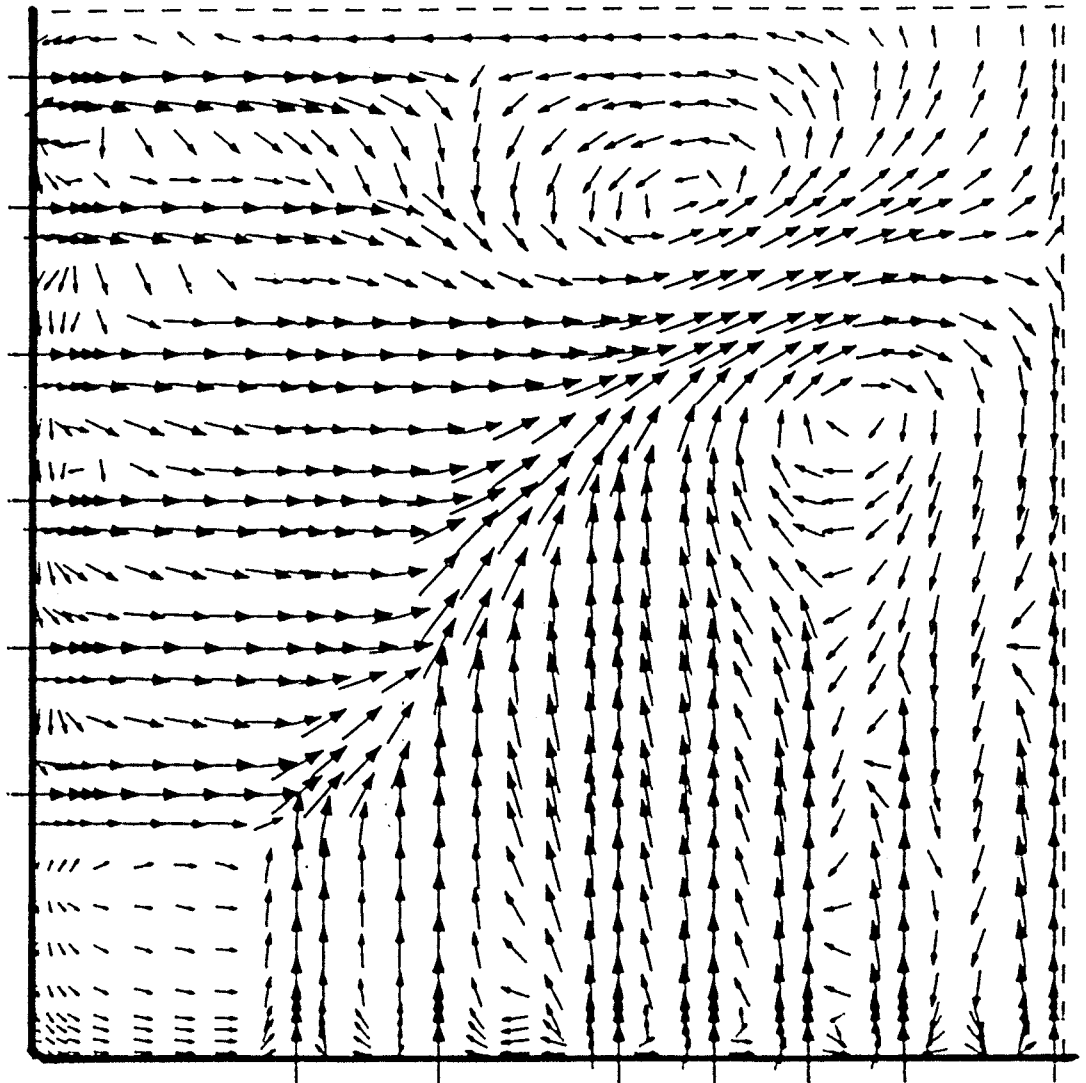
Kun polttolipeän käsittely on paineenalainen on kyseessä suljettu järjestelmä. Lipeän lämpötila säädetään viskositeetin edellyttämälle tasolle haihdutuksen ja kattilan väliin sijoitetun paisunta-astian eli lipeäakun paineen säädön avulla. Lipeän pumpattavuus ei rajoita kuiva-ainepitoisuutta.

Haihdutettaessa superkonsentraattorissa väliottohöyryn avulla on käytännössä ajettu kuiva-ainepitoisuutta n. 84 %. Vastapainehöyryllä haihdutettaessa on saavutettavissa n. 75 %:n taso. Superpolton edut saavutetaan, kun kuiva-ainepitoisuus on yli 75 %. Energian talteenotto paranee, nuohoushöyryn tarve pienenee, rikkipäästöt SO_2 ja H_2S ovat lähes nollia, reduktioaste on noin 98 % ja tärkeimpänä kaikesta kattilan käyttö helpottuu huomattavasti. Mustalipeän palamisen vaiheista paljon häiriöitä tuottavan vaiheen, kuivumisen tuomat ongelmat poistuvat.

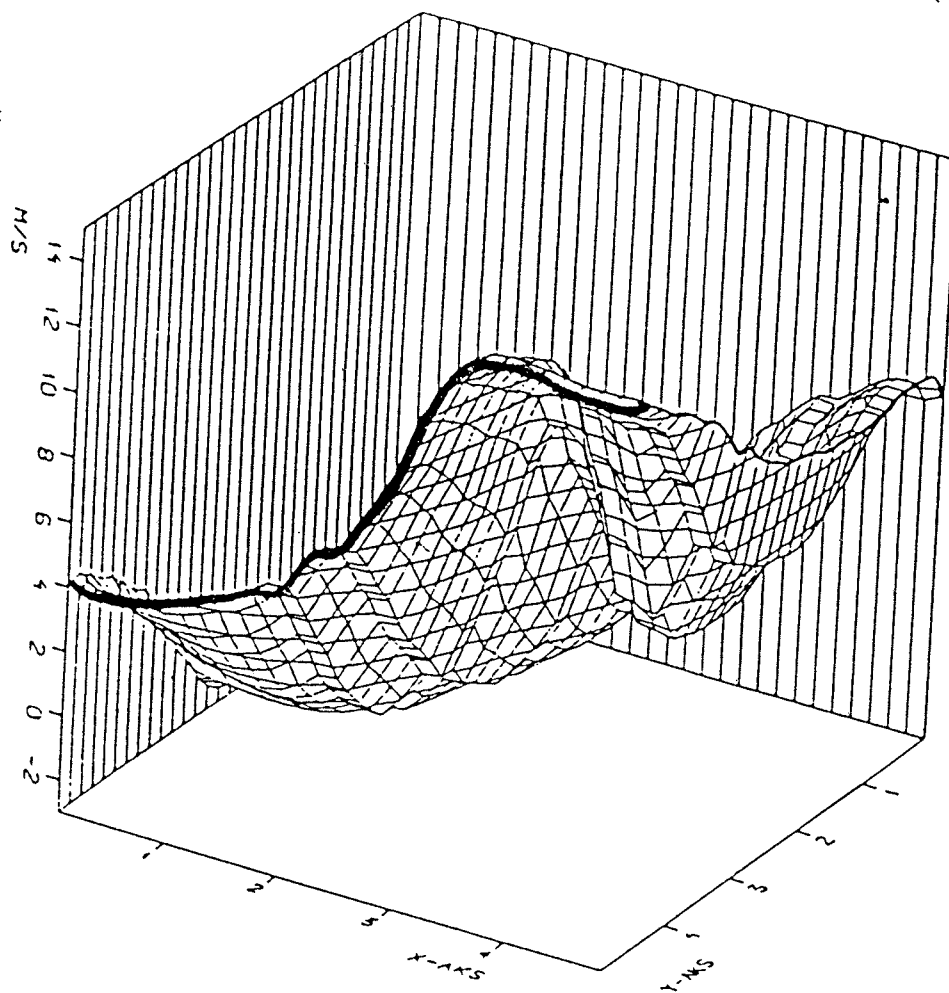


VIRTAUKSET SEKUNDÄÄRI-ILMATASOLLA

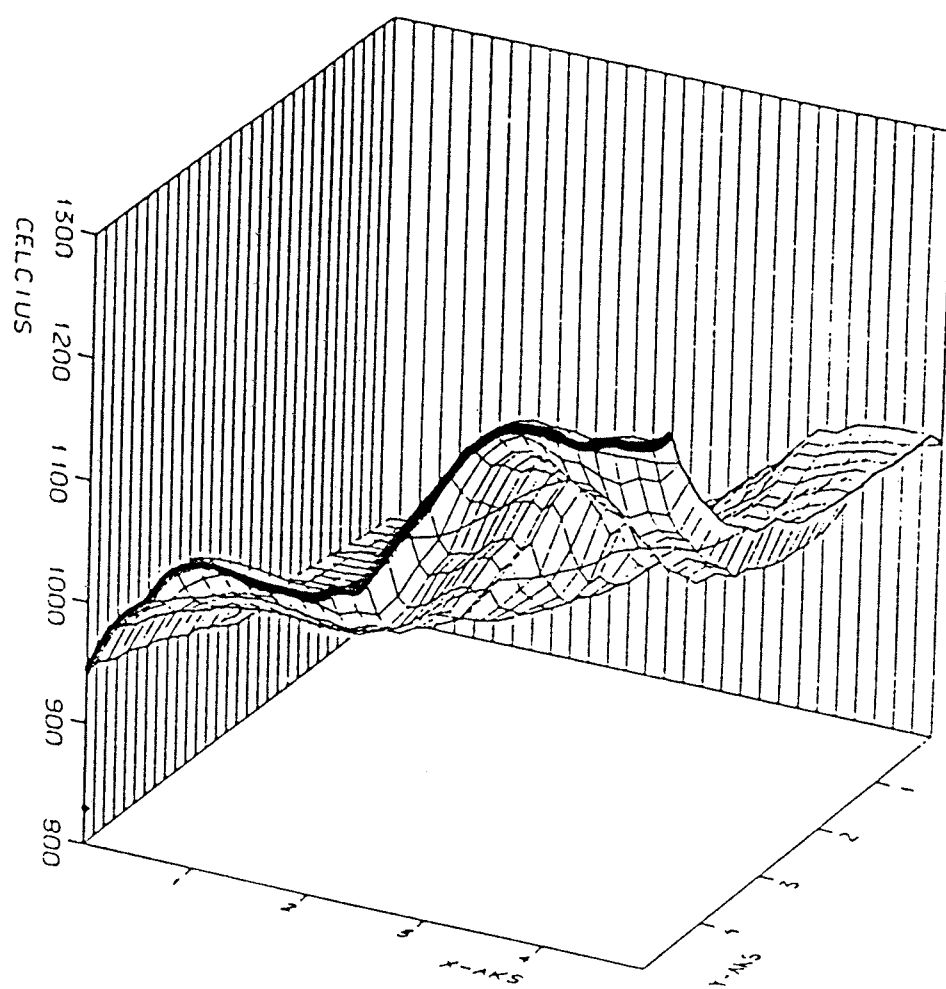
KUVATTUNA 1/4 TULIPESÄN POIKKILEIKKAUKSESTA



VIRTAUSNOPEUS TULIPESÄSSÄ TERTIÄÄRI-ILMATASON
YLÄPUOLELLA "PISARAHISSI"



LÄMPÖTILA TULIPESÄSSÄ TERTIÄÄRITASON YLÄPUOLELLA



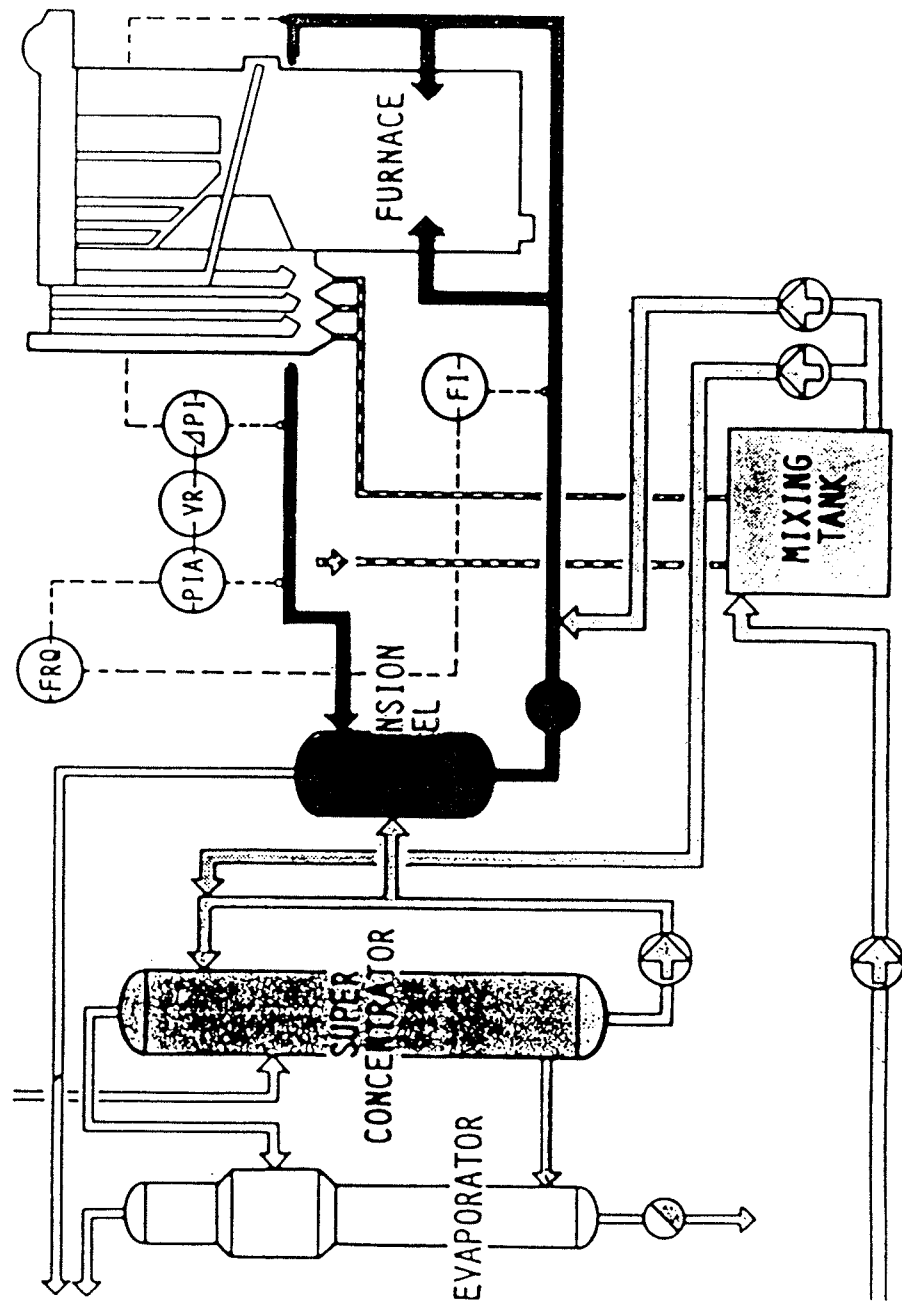


FIG. 2. SUPER COMBUSTION FLOW SHEET

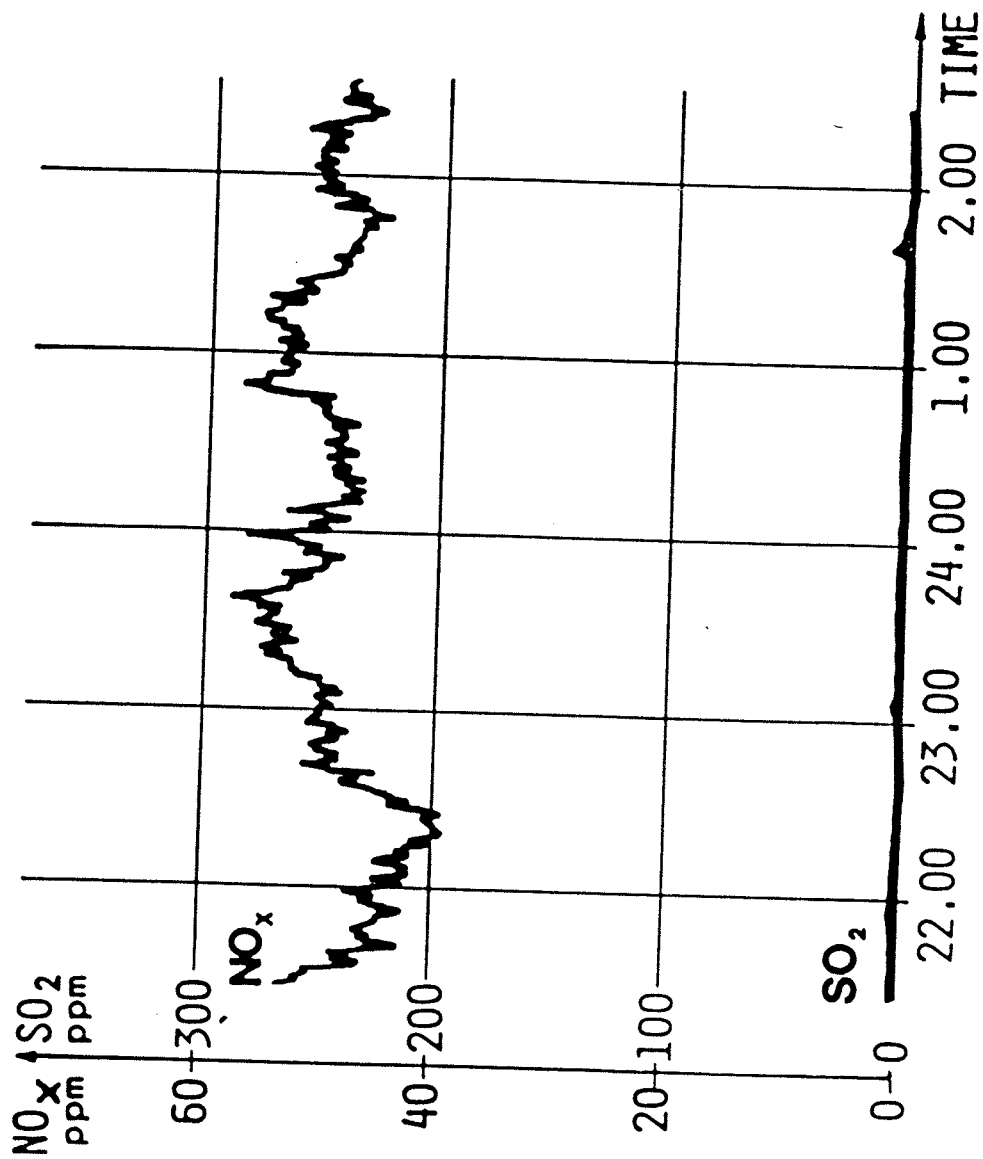


FIG.5. SO₂-CONTENT IN FLUE GAS AT 75-80 % DRY SOLIDS CONCENTRATION

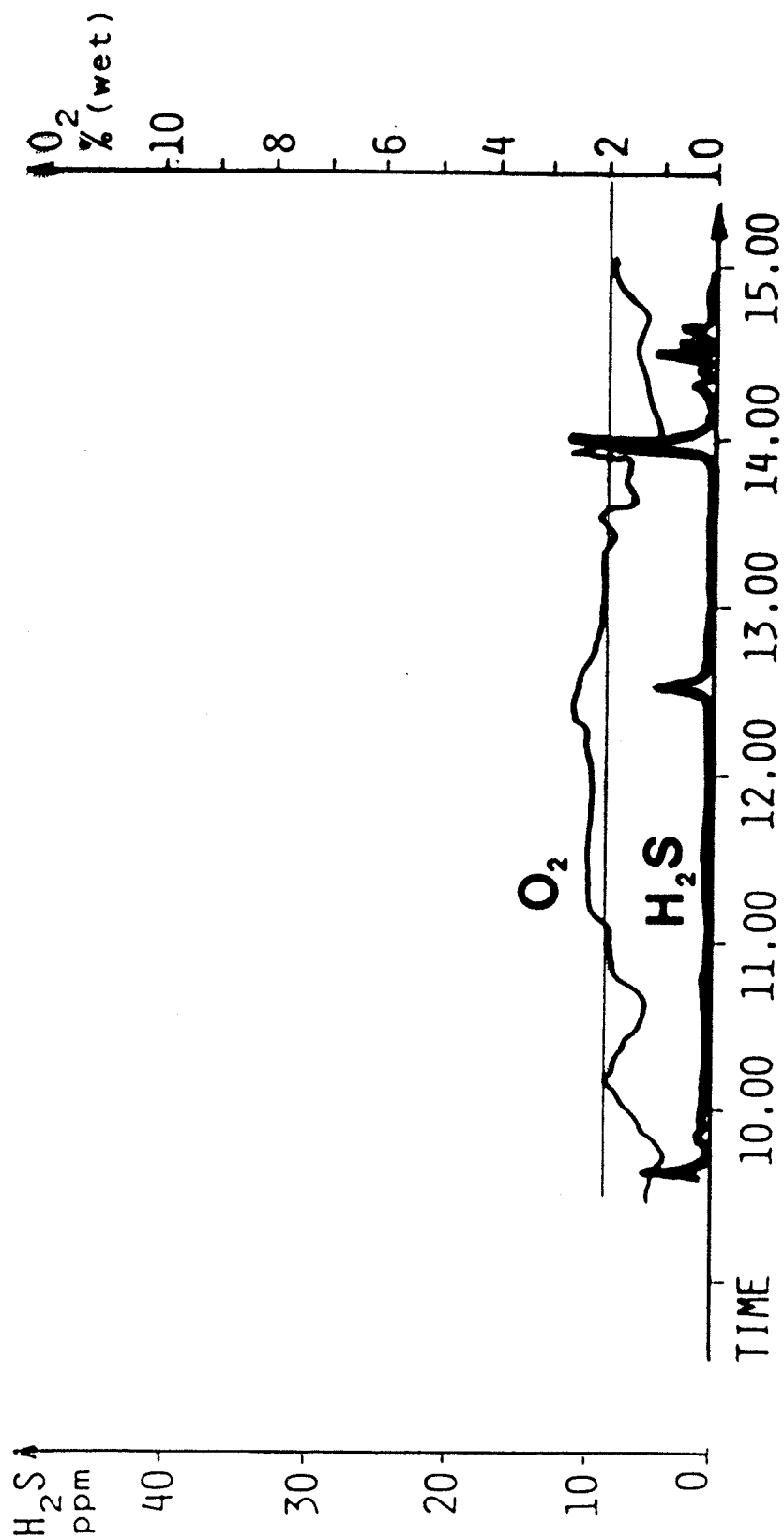


FIG. 7. H_2S VERSUS O_2 IN FLUE GAS AT 75 - 80 % CONCENTRATION

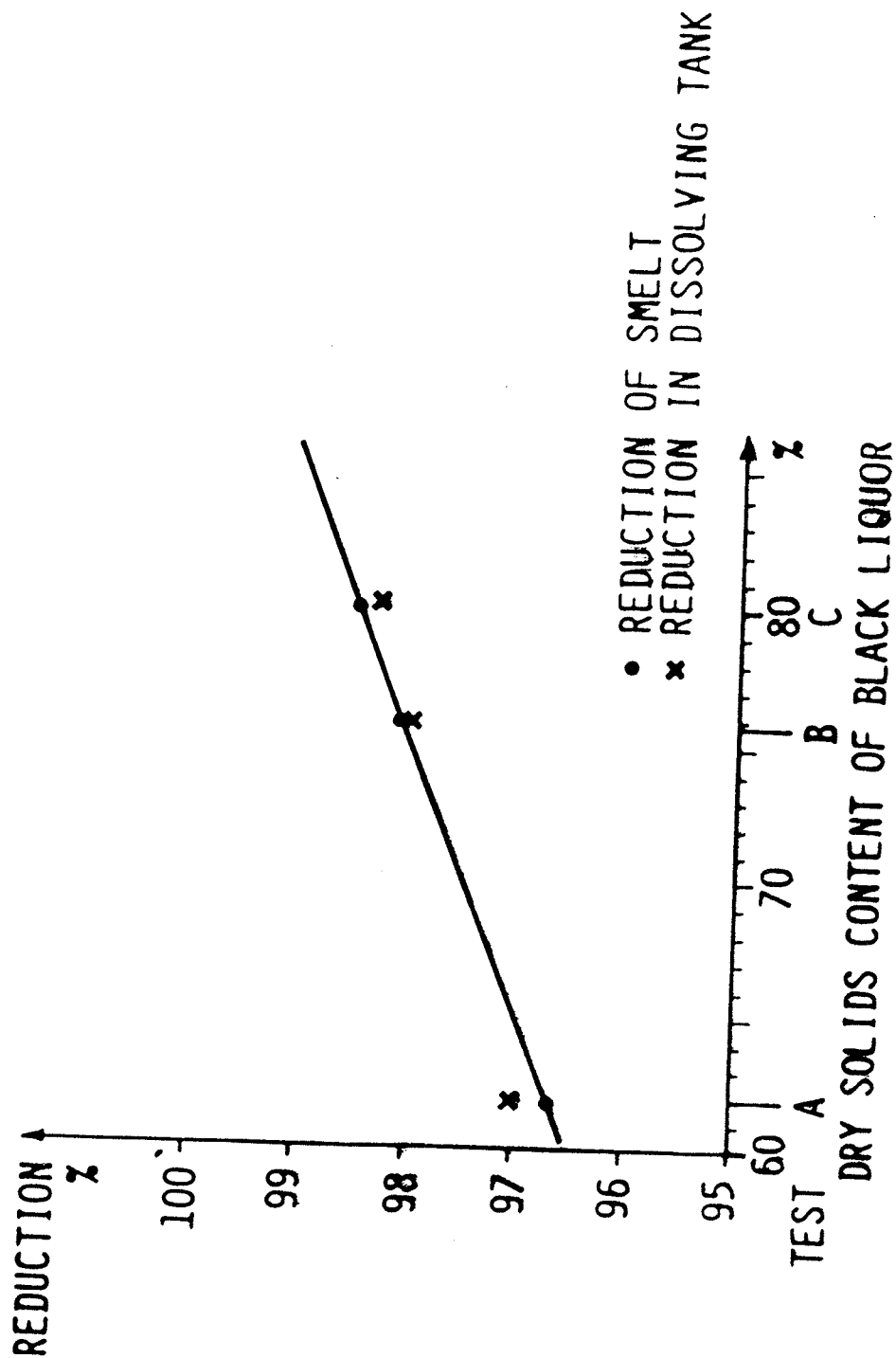


FIG.3. EFFECT OF DRY SOLIDS OF BLACK LIQUOR ON REDUCTION OF SMELT

TILAAN JA TOIMITTAN YHTEISTYÖ

- Liittymätiedot
- tehdasstandardit
- laite- ja linjanumeroinnit
- piirustusnumerot

- päätösvaltaiset vastuhenkilöt
- suorat henkilökohtaiset yhteydet
- asialliset neuvottelutilaisuudet
- virtauskaaviot
- lay-outiin liittyvät asiat
- yhteiset yhteydet TTK:hon

- vastaanotto
- varasto - ja esivalmistelutilat
- kuljetus - ja nostokalusto
- yhteistyö kunnossapito-organisaation kanssa

RAKENTAVA SUHTAUTUMISTAPA

LAADUNVALVONTA

VALMISTUSOIKEUS

- Painestien valmistuslupa, Valmistuksen valvoja
- ASME 3
- (ISO 9000 tulossa)

EDELLYTYKSET

- Järjestelmä kunnossa
- vastuut
- menetelmäkokeet, materiaalien sopiminen
- päteväinti

TARKASTUKSET

TULIPESÄ 100% saumoista, viranomaisvaatimus

- 1 ellipsikuva / sauma 60% Vol.
- 2 ellipsikuvaa / sauma 100% Vol.
- Compound saumat kuvataan ennen päällehitsausta 1 kohtisuora kuva / sauma

Koneellinen hitsaus tarkastetaan pistokokein 10-20%

TILAASAN JA TOIHITTASAN YHTEISTYÖ

- Järkevä tarkastuslaajuus
- Työkokeet ja tarkastukset erikoistapauksissa
- kontrolli
- asennussaumat, suojaus
- mahdolliset lisätarkastukset, tulkinnot ja seuraukset on sovittava etukäteen.

SUODAKATTILAN SUUNNITTELUPERUSTEET

KATTILAN KOKO

- Pohjan pinta-ala
 - Poikkipintarasitus $15-17 \text{ tka/m}^2$
(10-20 - " -)
- Lämpötilat
 - tulipesän jälkeen 930°C
 - ennen keittopintaa $550-620^\circ\text{C}$
 - ennen ekoa 450°C
 - loppolämpötila $150-220^\circ\text{C}$

KUORMITUSALUE JA VARAUKSET

- Käyttöpaine / mitoituspaine
- Tulistustemperatura
- Palamistempatura osakuormilla
 - kuiva-ainepitoisuus
 - lämpöarvo
 - ilman esilämmitys

Mikko Hupa
Åbo Akademi, Turku

Soodakattilan palamisprosessi

ETY-Soodakattilavaliokunta

Soodakattilapäivä 26.10.1988

Mikko Hupa, Åbo Akademi:

SOODAKATTILAN PALAMISPROSESSI: SAVUKAASUKEMIAN
YLEISESITYS. CARRY-OVER JA TULISTIMEN LIKAANTUMINEN.

Esitys perustuu seuraaviin kahteen esitelmään, joista
kopioidut liitteenä:

(1) Hupa, M., Recovery boiler chemistry, 1988 TAPPI Kraft
Recovery Operations Seminar, Jan. 10-15, 1988 in Orlando,
FL, USA.

(2) Backman, R., Hupa, M., Uppstu, E., Fouling and
corrosion mechanisms in the recovery boiler superheater
area.

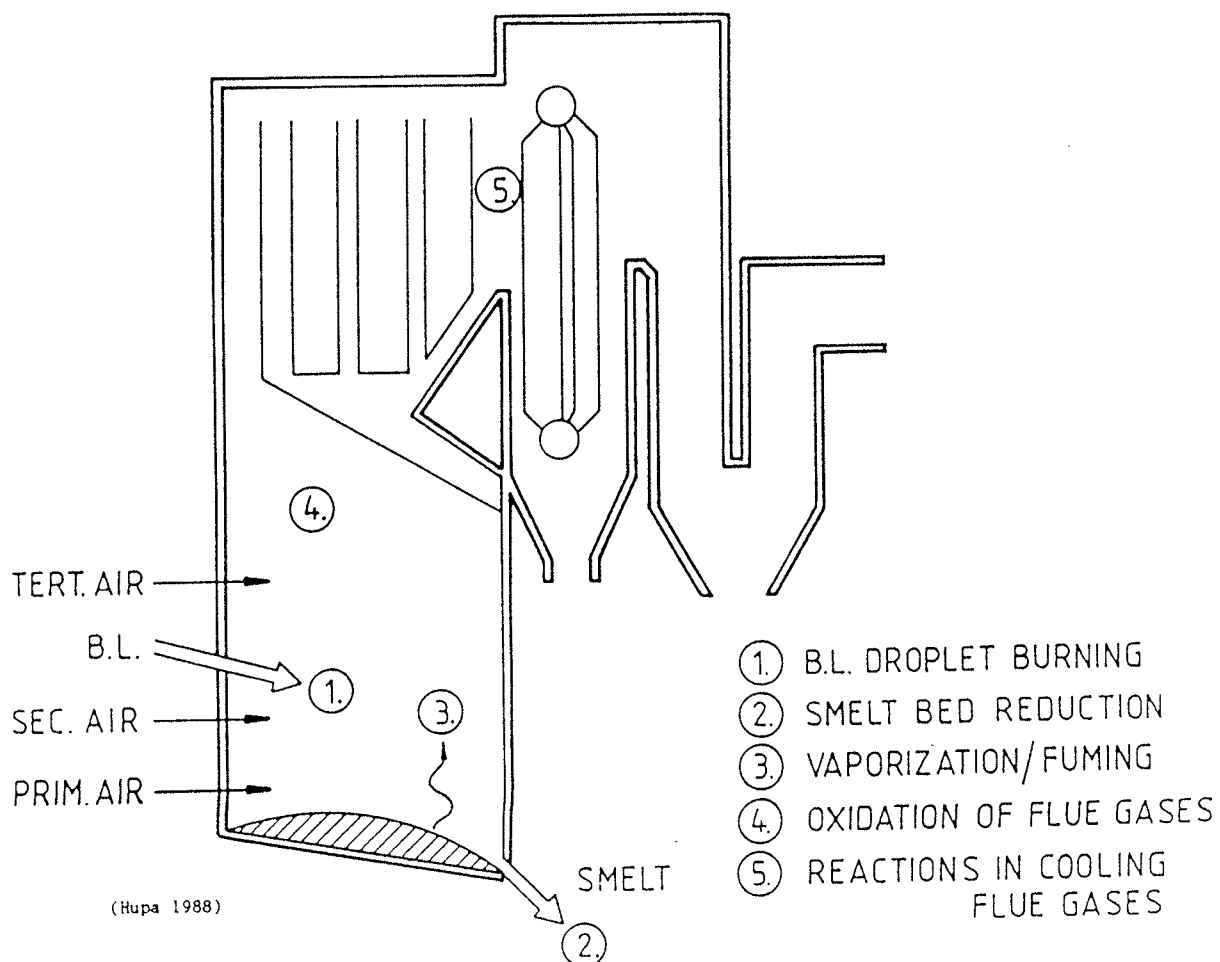
Figures and Tables for the presentation:

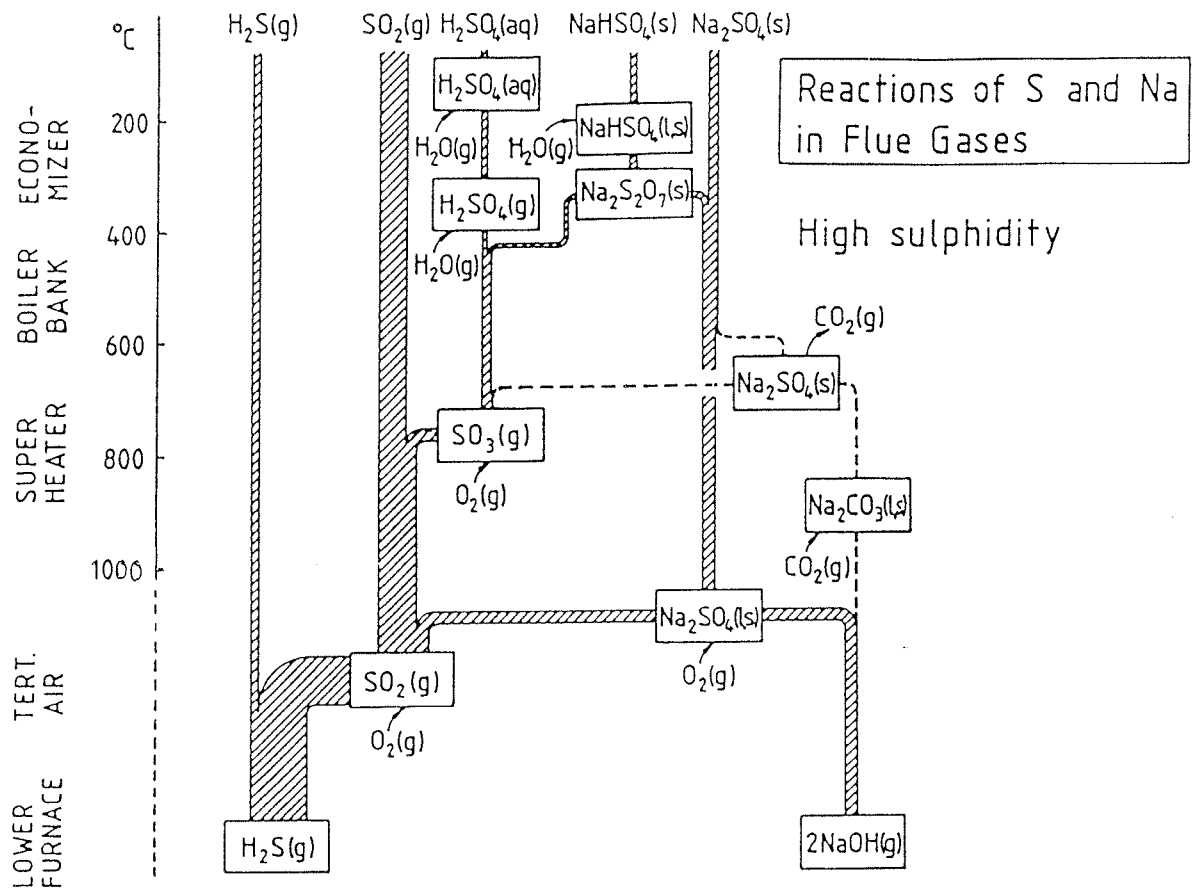
RECOVERY BOILER CHEMISTRY

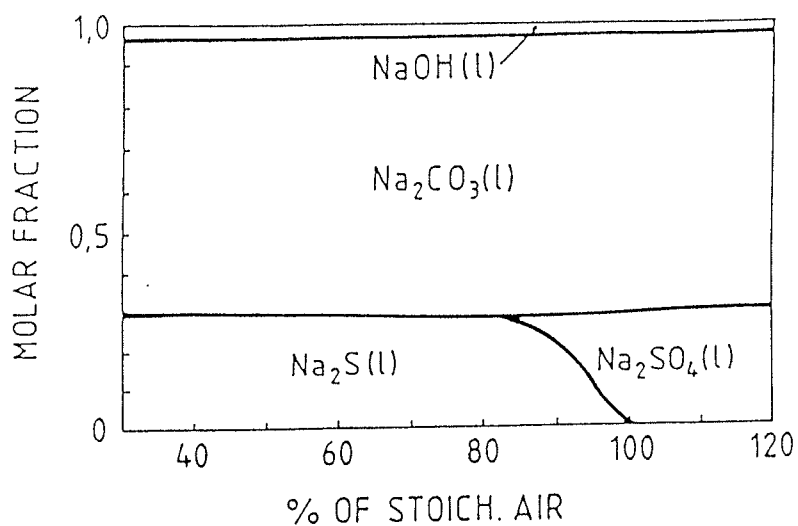
by

Mikko H u p a
Åbo Akademi
Turku, Finland

Prepared for the 1988 TAPPI Kraft Recovery Operations Seminar
January 10-15, 1988 in Orlando, FL, USA.



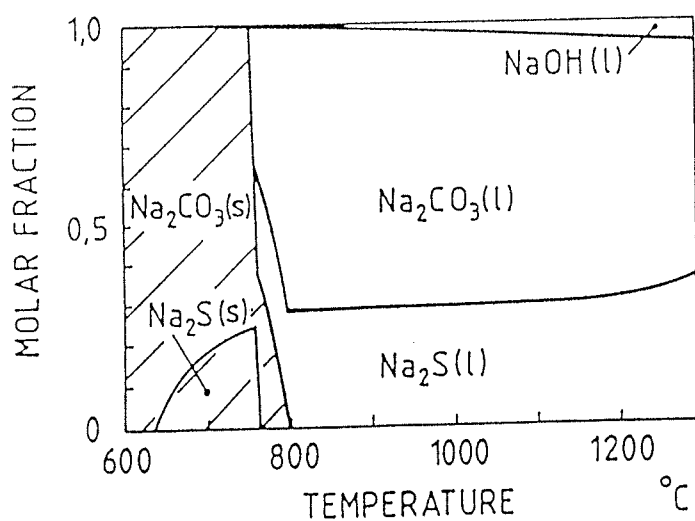




Bed Composition
versus Air Ratio

$S/Na_2 = 0,3$
 $T = 1000^\circ\text{C}$
 Equilibrium

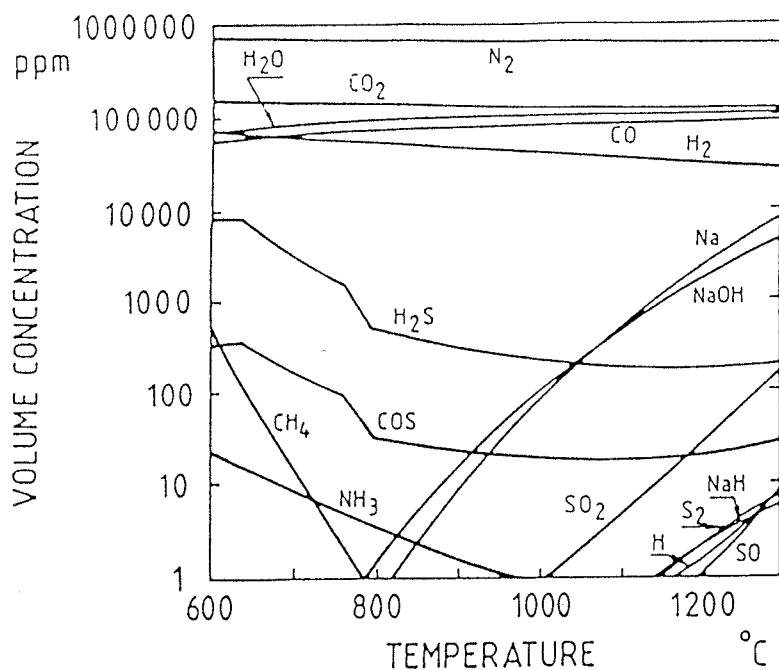
(Pejryd, Hupa 1984)



Bed Composition
versus Temperature

$S/Na_2 = 0,3$
 70% of stoich. air
 Equilibrium

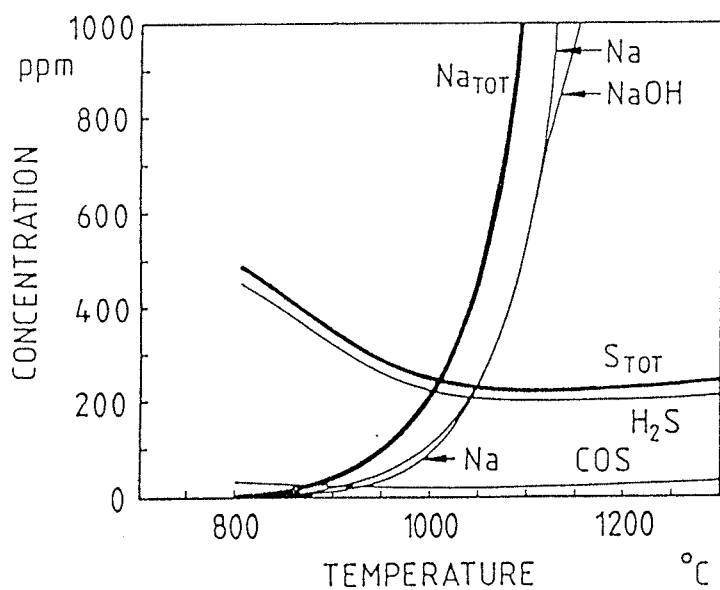
(Pejryd, Hupa 1984)



Lower Furnace Gas Composition
versus Temperature

$S/Na_2 = 0,3$
70% of stoich. air
Equilibrium
(Logarithmic scale)

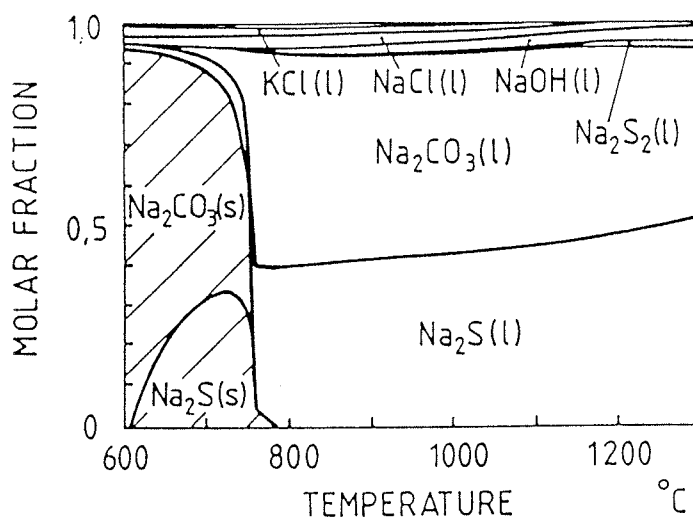
(Pejryd, Hupa 1984)



Lower Furnace Gas Composition
versus Temperature

$S/Na_2 = 0,3$
70% of stoich. air
Equilibrium
(Linear scale)

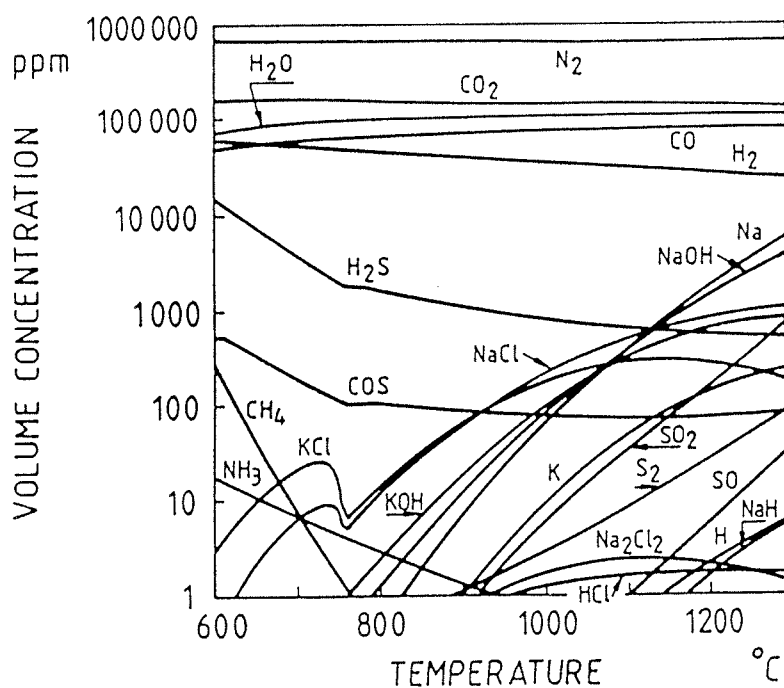
(Data from Pejryd, Hupa 1984)



Bed Composition
versus Temperature

$\text{S}/\text{Na}_2 = 0,3$
70% of stoich. air
Equilibrium
K 0,7 wt.% in B.L.
Cl 0,7 wt.% in B.L.

(Pejryd, Hupa 1984)



Lower Furnace Gas Composition
versus Temperature

$\text{S}/\text{Na}_2 = 0,3$
70% of stoich. air
Equilibrium
(Logarithmic scale)
K 0,7 wt.% in B.L.
Cl 0,7 wt.% in B.L.

(Pejryd, Hupa 1984)

Fouling and corrosion mechanisms in the recovery boiler superheater area

Rainer Backman and Mikko Hupa

Åbo Akademi, Dept. Chem. Engineering SF-20500 Turku, Finland

Erik Uppstu

Tampella Ltd., Boiler Division, SF-33100 Tampere, Finland

ABSTRACT Superheater fouling and corrosion have been studied in six large recovery boilers in Finland. Short-term deposit and corrosion samples have been collected by exposing air-cooled probes in the flue gases of the boilers. A model is presented for the mechanism of superheater fouling and corrosion, based on the experimental material and phase equilibrium calculations.

KEYWORDS

Boilers
Corrosion
Deposits
Fouling
Recovery

Fireside deposits and corrosion have been the subject of a number of studies in recent years. Excellent papers have been published on the chemistry and mechanisms of deposition and corrosion, particularly in the closed-cycle mill (1-5). Elsewhere, we have discussed the role of acidic sulfates (6, 7) and carryover (8) on fireside plugging and corrosion. Superheater corrosion has been studied by other researchers (9-11).

Fireside deposits in recovery boilers consist of the inorganic constituents of the liquor, mainly sodium and sulfur compounds with varying proportions of potassium and chlorine. The deposits are formed by two different mechanisms: (a) inertial impaction of carryover liquor droplet residues on the tube surfaces and (b) diffusion of condensing fume or dust vaporized in the lower furnace (1).

Carryover particles are usually 10-200 μm in diameter, whereas condensed dust particles are much smaller, at 0.1-0.5 μm (1, 5, 8). The heavy superheater deposits consist mainly of carryover particles fused or sintered to a hard, porous mass. Carryover particles are usually separated from the flue gases in the hot part of the flue gas channel. Consequently, an estimated 90% of the deposits in the economizers or the precipitator catch

consist of condensed dust.

Experimental

Our work is based on depositions and corrosion studies in a total of six black liquor recovery boilers in Finland (Table I). In each of the boilers, short-term deposit and corrosion samples were collected by means of air cooled probes. The sampling system is described in detail elsewhere (12).

Samples were taken from the lower superheater region of the boilers. In two units (Units A and B in Table I), additional probe samples were collected at higher elevations of the superheater region. Exposure times in the flue gases were varied between 15 min and 3 h. In the corrosion studies, sampling times in Units E and F were extended up to 24 h.

After the exposure in the flue gases, the probe deposits and probe surfaces were examined by a number of techniques including visual observation via photography, scanning electron microscopy, energy dispersive X-ray microanalysis, and chemical analysis of the aqueous solution of the deposits.

Deposit characteristics

Composition

Table II summarizes the chemical

analysis of the probe deposits collected from the lower superheater area of the boilers. Typically, superheater deposits in the boilers studied consist of a mixture of the following alkali salts: 20-40% carbonate, 40-60% sulfate, 1-2% chloride, and 0-20% sulfide, where an average of 2-6% of the total alkali is potassium, with the rest being sodium.

The sulfide content varied from boiler to boiler. The presence of sulfide indicates strong reducing conditions at the tube surfaces, which may be caused by (a) excessive carryover of the partially unburned liquor droplet residues from the lower furnace or (b) local reducing gas flow at the superheater surfaces arising from an incomplete mixing of the combustion gases and air. The potassium and chloride concentrations are fairly low, in the deposits studied.

Table III shows how the deposit composition varies in the different locations of the superheater area of Boiler A. Two trends may be observed when moving to higher elevations. First, the sulfide content decreases, indicating that the local reducing conditions are less probable at higher elevations. Also, the carbonate content decreases, partially because a larger proportion of the deposits at higher elevations consists of the condensation

I. Technical data of the six kraft recovery boilers

Unit	Liquor capacity, tons/day	Superheated steam	
		Pressure, MPa	Temp., °C
A	1,500	8.3	480
B	870	8.5	480
C	720	8.2	480
D	560	8.3	480
E	1,510	8.0	480
F	1,520	6.5	480

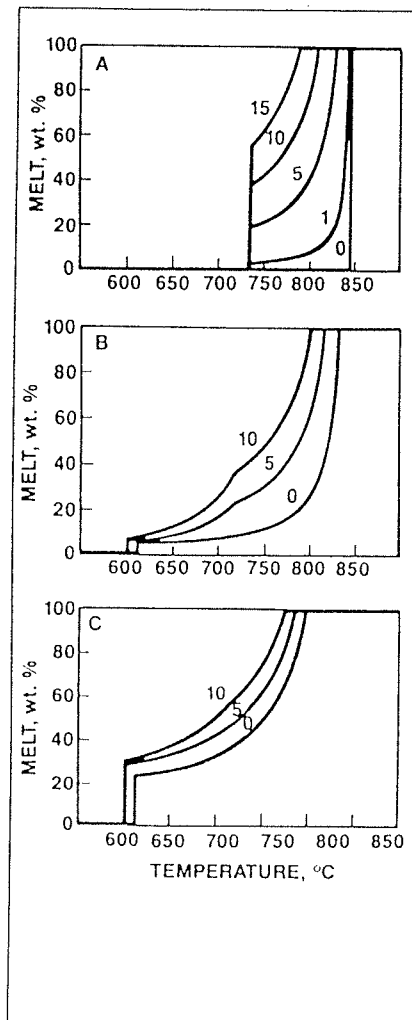
type of material with a higher percentage of sulfate (5, 8). The decreasing trend in the carbonate content at greater distances from the furnace may be explained partially by the ongoing sulfation reaction between the carbonate and sulfur oxides in the flue gases (13).

Melting behavior

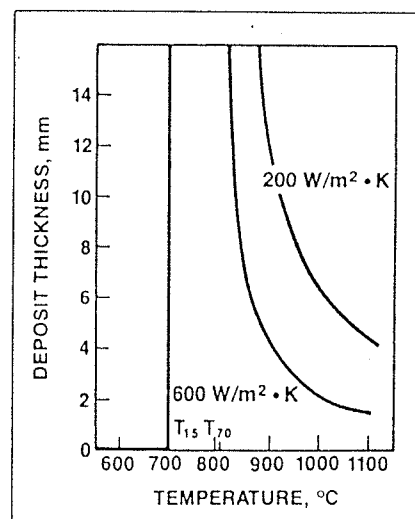
Based on the photographs of the probes immediately after the exposure in the flue gases, it was obvious that many of the deposits had been partially molten at the prevailing conditions in the flue gases. In theory, salt mixtures, like the one in the deposits, melt in stages when the temperature is raised. The "first melting point" (or more generally, the solidus temperature, T_0) is the temperature at which the first liquid phase appears. As the temperature rises above the first melting point, the percentage of the liquid phase increases. Finally, at the "complete melting point" (or the liquidus temperature, T_{100}), even the last solid particles are dissolved in the liquid phase and the salt mixture becomes completely molten. The temperature difference between the first melting point and the complete melting point is often several hundreds of degrees Celsius for the salt mixtures in the recovery boiler deposits.

The practical properties of a deposit, such as the stickiness or fluidity, have been shown to be a function of the proportion of liquid phase in the deposit (1, 5). When the salt mixture in the deposit is completely solid, or contains only small amounts of the liquid phase, the deposit is not sticky and will be easily removable by the soot blowers (1, 5). When the percentage liquid phase exceeds some 10–20%, the deposit becomes sticky and hard to remove (5). Here, we will use 15% as this value and will refer to the "sticky temperature"

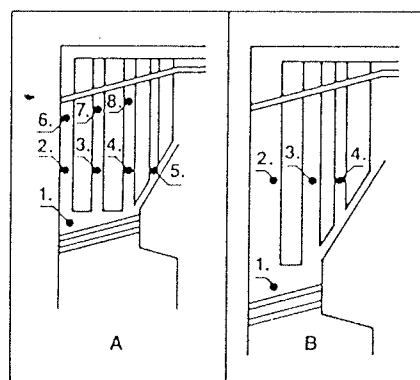
1. Percentage liquid phase in the deposit as a function of the temperature with the amount of Na_2S by wt. % as a parameter. $\text{SO}_4/\text{CO}_3 = 0.8$ mole/mole. (A) $\text{Cl}/\text{Na} = 0$ mole %. (B) $\text{Cl}/\text{Na} = 3$ mole %. (C) $\text{Cl}/\text{Na} = 13$ mole %.



2. Calculated equilibrium thickness of the deposit as a function of the flue gas temperature, where $T_{15} = 700^\circ\text{C}$, $T_{70} = 790^\circ\text{C}$, and the deposit's heat conductivity = $1.0 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{s})$.



3. The sampling points in the superheater area of Boilers A and B.



II. Chemical analysis of the probe deposit samples collected from the lower superheater areas

Unit	SO_4^{2-} wt. %	S^{2-} wt. %	CO_3^{2-} wt. %	Cl^- wt. %	Na^+ wt. %	K^+ wt. %	$\text{Cl}/(\text{Na}+\text{K})$ mole %	$\text{K}/(\text{Na}+\text{K})$ mole %
A	27.9	4.5	27.9	0.5	36.5	2.7	0.4	5.0
B	30.4	0.9	28.9	0.5	35.9	3.4	0.9	5.3
C	26.3	0.8	32.8	0.6	38.1	1.4	1.0	2.2
D	23.6	0.9	35.2	0.4	38.5	1.4	0.7	2.1
E	35.0	11.5	12.5	0.4	36.6	4.0	0.6	6.1
F	26.1	14.9	16.2	0.7	38.5	3.6	1.1	5.2

Surface temperature was 500°C . The sampling times were 3h in Boilers A–D and 24 h in Boilers E–F.

of the deposit salt mixture as T_{15} .

When the percentage liquid phase exceeds some 70%, the deposit becomes fluid enough to flow (5). This temperature, often called the "radical deformation point," is referred to here as T_{70} .

The percentage liquid phase in a known mixture of salt components may be calculated as a function of

temperature, when all the thermodynamic data of the mixture components are known. Figure 1 shows examples of such calculations for three different types of deposits, with the sulfide content as a parameter. These calculations are based on thermodynamic data from appropriate literature (14–16) and activity coefficient corrections derived from the actual

III. Chemical analysis of probe deposit samples collected from different locations in the superheater area of Boiler A (Fig. 3)

Location	Sample point				
	1	3	4	6	7
SO ₄ ²⁻ , wt. %	27.9	45.1	43.4	65.3	65.7
S ²⁻ , wt. %	4.5	0.5	0.4	0	0
CO ₃ ²⁻ , wt. %	27.9	18.8	20.3	0	0
Cl ⁻ , wt. %	0.5	0.1	0.1	0.1	0.1
Na ⁺ , wt. %	36.5	32.9	33.3	31.2	30.4
K ⁺ , wt. %	2.7	2.6	2.5	3.4	3.8

Surface temperature was 500°C. Sampling time was 3 h.

IV. Flue gas analysis during the corrosion tests in the lower superheater areas of Boilers E and F (27)

		E	F
O ₂ , %	Low	0.5	0.5
	Avg.	2.3	3.0
	High	5.3	6.8
CO, %	Low	...	0.1
	Avg.	0.2	1.3
	High	0.9	9.8
H ₂ S, ppm	Low	300	...
	Avg.	670	280
	High	1400	3200

two-component phase diagrams (17-18). The equilibrium compositions at each temperature were obtained by using SOLGASMIX, a computer program that calculates equilibrium at minimum free energy (19).

The calculations show the general pattern: the more new components in the mixture, the lower T_{15} and T_{70} . The pure mixture of Na₂SO₄ and Na₂CO₃ melts sharply at around 850°C. (The system is a solid solution.) Normal amounts of chloride and potassium decrease the first melting point by around 300°C and also the T_{15} by around 200°C. Their influence on T_{70} is less profound.

The sulfide content has a significant influence on both T_{15} and T_{70} , indicating that local reducing conditions on the superheater surfaces may alter the deposit characteristics considerably.

Deposit growth

In somewhat simplified terms, the superheater deposit formation may be described as follows (1, 5). If the temperature of the flue gas approaching a superheater tube is below the sticky temperature for the depositing material, the material is practically unsticky and will not form any disturbing deposits. If, on the other hand, the depositing material has a higher temperature when it arrives at the tube surface, it will stick to the surface and start forming a growing, hard deposit.

The deposit continues to grow until its outer surface reaches the radical deformation temperature, T_{70} , at which it starts flowing. This way the deposit reaches its theoretical constant equilibrium thickness.

If we specify the metal surface temperature (500°C, for example), the heat conductivity of the deposit (1.0 W/m • s), and the heat transfer coefficient

from the flue gas to the deposit outer surface (200 or 600 W/m² • K), we can calculate the equilibrium thickness of a known deposit as a function of the flue gas temperature. Figure 2 shows an example of such a calculation for a deposit with $T_{15} = 700^\circ\text{C}$ and $T_{70} = 790^\circ\text{C}$.

Based on Fig. 2, it may be concluded that the most severe deposit problems are in the superheater area, where the flue gas temperature falls between T_{15} and T_{70} . Here the deposits are sticky and continuously growing without reaching any equilibrium thickness. Consequently, the broader the difference between T_{70} and T_{15} for a particular depositing material, the wider the critical area of the superheater where severe, thick deposits are expected to grow.

This model was tested in Boilers A and B (Table I). In these boilers, short-term probe deposits were collected from a number of points all over the superheater area (Fig. 3). At each sampling point, the flue gas temperature was measured during the sampling period by means of a suction pyrometer. Figure 4 gives the thickness of the probe deposits as a function of the flue gas temperature in the two boilers after an exposure time of 3 h. Photographs of some of the probe samples are shown in Fig. 5.

The results confirm the general model already discussed. The probe deposits collected at high flue gas temperatures (Sampling Point 1 in Fig. 3) grew rapidly to a thickness of 4-5 mm. After this, their outer surface was completely molten and flowing, and the deposits did not continue to grow (Fig. 5A). Obviously, these deposits had reached their equilibrium thickness in accordance with the calculations of Fig. 2.

The deposit samples collected from the colder parts of the superheater

region (Points 6 and 7 in Boiler A and Point 4 in Boiler B) were thin and powder-like and easy to remove (Fig. 5C). The samples collected from the intermediate temperature range (Points 3 and 4 in Boiler A and Point 2 in Boiler B) were only partially molten on their outer surface (Fig. 5B) and had not reached any constant equilibrium thickness after the 3 h exposure time.

The results indicate that the deposits in the Boiler B consisted of a salt mixture that melted fairly sharply, with high values for both T_{15} and T_{70} . Boiler A had lower deposit melting temperatures and a wider melting range, probably because of the higher sulfide contents.

Corrosion

Superheater deposition and corrosion are closely interrelated. Clean superheater tubes do not corrode in the normal flue gas atmosphere of recovery boilers, when the tube metal temperature is "correct." For normal carbon steels, the corrosion resistance in this case is only restricted by their oxidation resistance at high temperatures, which would allow their use at even the highest design temperatures of today. However, the carbon steel in the hottest parts of the superheaters has been replaced by austenitic stainless steels already in a number of recovery boilers with high steam temperatures arising from excessive corrosion problems. And recently, corrosion cases have been reported even with the austenitic materials (11).

Reeve, Tran, and coworkers (1, 4) have stressed the importance of the deposits for the superheater corrosion. Heavy corrosion is to be expected if the liquid phase of the deposit is allowed to be in direct contact with the tube metal surface. This condition occurs

when the metal skin temperature exceeds the solidus temperature T_0 .

The lowest solidus temperature to be reached for a salt mixture of sodium and potassium sulfites, carbonates, chlorides, and sulfides is around 520°C.

On the other hand, a sufficiently large amount of liquid phase is required for continuous accelerated corrosion to occur (3). Exactly what percentage of liquid phase will be enough to cause the corrosion is not known. If we assume that at least 15% liquid phase is required, we can use our T_{15} values to evaluate the critical metal skin temperature for corrosion. Phase equilibrium calculations reveal that T_{15} falls below 550°C only if we have an exceptionally high percentage of chloride (> 5 mole %) in the deposit together with high percentages of potassium or sulfides. This is only possible in highly closed recovery processes.

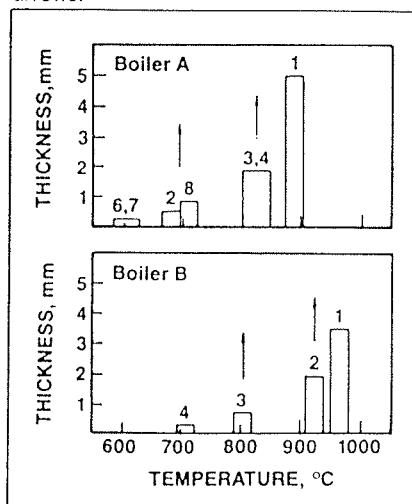
In Boilers E and F, corrosion had been detected in the austenitic bends of the superheaters. Signs of excessive metal loss were also observed by short-term corrosion probe tests (Fig. 6). In these tests, air-cooled probes with detachable rings of two materials were exposed for 24 h in the lower superheater area of the boilers. After the exposure, the rings were removed from the probe, washed in an ultrasonic bath, and weighed.

There was some disturbing scattering in the results because of sometimes strongly varying conditions in the boilers during the different sampling periods. However, some conclusions can be drawn. For carbon steel rings, considerable weight loss was obtained already with the metal temperature of 525°C in both boilers. In Boiler F, the corrosion was more severe, where even the austenitic ring suffered heavy corrosion at the metal temperature of 525°C.

The probe deposit composition in these two boilers differed from the rest of the boilers by their high sulfide content (Table II). The lower superheater tube surfaces were obviously exposed to exceptionally strong reducing conditions arising from heavy carryover. Also, flue gas analysis data from the same location showed high concentrations of the reduced gases CO and H₂S in both boilers (Table IV).

This corrosion can hardly be connected to the presence of a significant amount of liquid phase in contact with the tube surface. The actual corrosion temperatures are too low for a liquid

4. Thickness of probe deposit vs. flue gas temperature in Boilers A and B. Numerals correspond with sampling points in Fig. 3. Deposits still growing are indicated with arrows.



phase to be present even with the high sulfide contents. It appears that this corrosion is caused by the local, strong reducing conditions with high concentrations of H₂S according to the same sulfidation mechanism as earlier observed in the lower furnace (20) and recently also reported by Tran *et al.* in the superheater area (4).

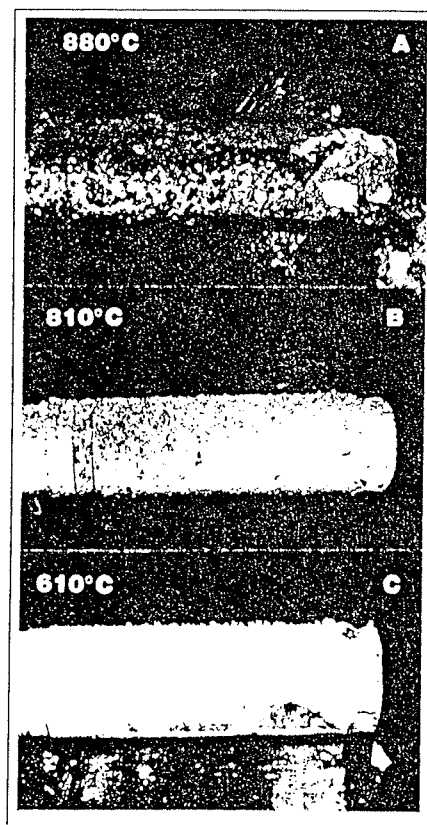
Conclusions

The fouling tendency at a certain point in the superheater region is connected to the percentage liquid phase in the depositing salt mixture at the prevailing flue gas temperature. If the percentage liquid phase is low (less than some 15%, with the flue gas temperature below the "sticky" temperature), the depositing material will not be sticky. At such a point, no hard, thick deposit is formed.

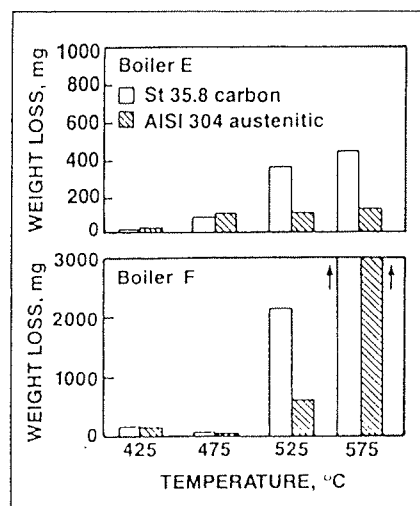
If the percentage liquid phase is higher, the depositing material will stick to the surface and start forming a hard, growing deposit. The deposit continues to grow until its outer surface reaches a temperature at which the percentage liquid phase exceeds some 70%, the "radical deformation point" T_{70} . At this stage, the surface of the deposit becomes fluid, and the deposit stops growing. The equilibrium thickness has been reached.

The equilibrium thickness of a deposit at different locations in the superheater region can be estimated when T_{70} for the depositing material is known, together with relevant heat transfer conditions at the location.

5. Photographs of the sampling probe deposits immediately after exposure in the Boiler A.



6. Weight loss of probe rings vs. the metal surface temperature in the lower superheater area of Boilers E and F.



Values for T_{15} and T_{70} can be obtained for simple salt mixtures from phase diagrams. For systems with several components, the equilibrium program SOLGASMIX was useful.

The pure salt mixture of Na₂CO₃ and Na₂SO₄ melts sharply above 800°C, with T_{15} and T_{70} being close to

each other. Chloride, sulfide, and potassium will decrease T_{15} significantly, at extreme cases below 550°C.

Finally, superheater corrosion seems to be connected to strong reducing conditions at the tube surfaces under a heavy deposit.

Literature cited

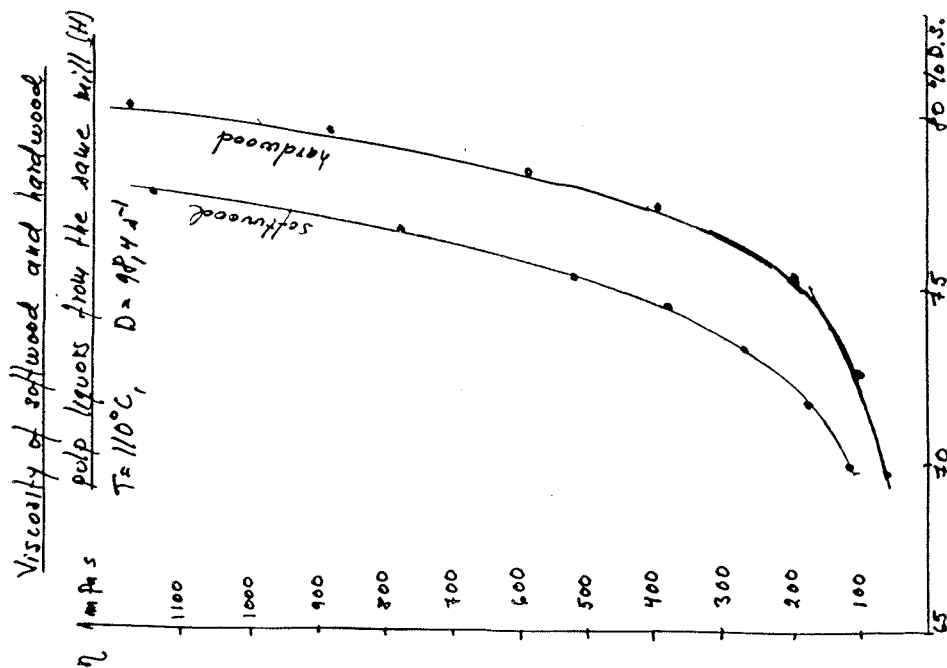
1. Reeve, D.W., Tran, H.N., Barham, D., *Tappi* 64(5): 109(1981).
2. Tran, H.N., Reeve, D.W., Barham, D., *Pulp Paper Can.* 84(1):T7 (1983).
3. Reeve, D.W., Pryke, D., Tran, H.N., Corrosion in the closed cycle mill, 4th Intl. Symposium on Pulp and Paper Industry Corrosion Problems, NACE/TAPPI/CPA/EFC, Stockholm, May 1983.
4. Tran, H.N., Barham, D., Reeve, D.W., and Pryke, D.C., *Tappi J.* 68(6): 102(1985).
5. Isaak, P., Tran, H.N., Barham, D., Reeve, D.W., 1985 Intl. Chemical Recovery Conference Proceedings, TAPPI/CPA, TAPPI PRESS, Atlanta, p. 427.
6. Hyoty, P., *Pulp Paper Can.* 83(10): T115(1979).
7. Backman, R., Hupa, M., Hyoty, P., *Tappi J.* 67(12): 60(1984).
8. Hupa, M., Backman, R., and Hyoty, P., Investigation of fireside deposition and corrosion in sulphate and sodium sulphite recovery boilers, 1982 Black Liquor Recovery Boiler Symposium Preprints, Finnish Recovery Boiler Committee, Helsinki, Finland.
9. Morris, K., Plumley, A.L., Rocznik, W.R., The effect of chlorides on recovery unit superheater wastage: an R&D progress report, 3rd Intl. Symposium on Pulp and Paper Industry Corrosion Problems, TAPPI/CPA/NACE, Atlanta, May 1980.
10. Plumley, A.L., Rocznik, W.R., and Lefevre B.E., Recovery unit superheater wastage and control—Progress Report II, 1982 Black Liquor Recovery Boiler Symposium Preprints, Finnish Recovery Boiler Committee, Helsinki, Finland.
11. Jaakkola, A. and Roos, T., Operational experiences of austenitic superheater tube bends in recovery boilers, 4th Intl. Symposium on Pulp and Paper Industry Corrosion Problems, NACE/TAPPI/CPA/ EFC, Stockholm, May 1983.
12. Hupa, M., Eriksson, B-E, and Klingstedt, G., *Paperi Puu* 60(11): 719(1978).
13. Backman, R., Hupa, M., and Uusikartano, T., 1985 Intl. Chemical Recovery Conference Proceedings, TAPPI/CPA, TAPPI PRESS, Atlanta, p. 445.
14. Barin, I. and Knacke, O., *Thermochemical Properties of Inorganic Substances*, Springer-Verlag, New York, 1973.
15. Magnusson, H. and Warnqvist, B., *Svensk Papperstid.* 17: 615(1975).
16. Pejryd, L. and Hupa, M., 1984 Pulping Conference Proceedings, TAPPI PRESS, Atlanta, p. 579.
17. Gitlesen, G. and Motzfeldt, K., *Acta Chem. Scand.* 18: 588(1964).
18. Shivgulam, N., Barham, D., and Rapson, W.H., *Pulp Paper Can.* 80: T282(1979).
19. Eriksson, G., *Chemica Scripta* 8: 100(1975).
20. Stelling, O. and Vegeby, A., *Pulp Paper Can.* 70(8): T51(1969).
21. Gillberg, J., M.S. thesis, Helsinki University of Technology, Helsinki, 1984.

Received for review Sept. 19, 1986.

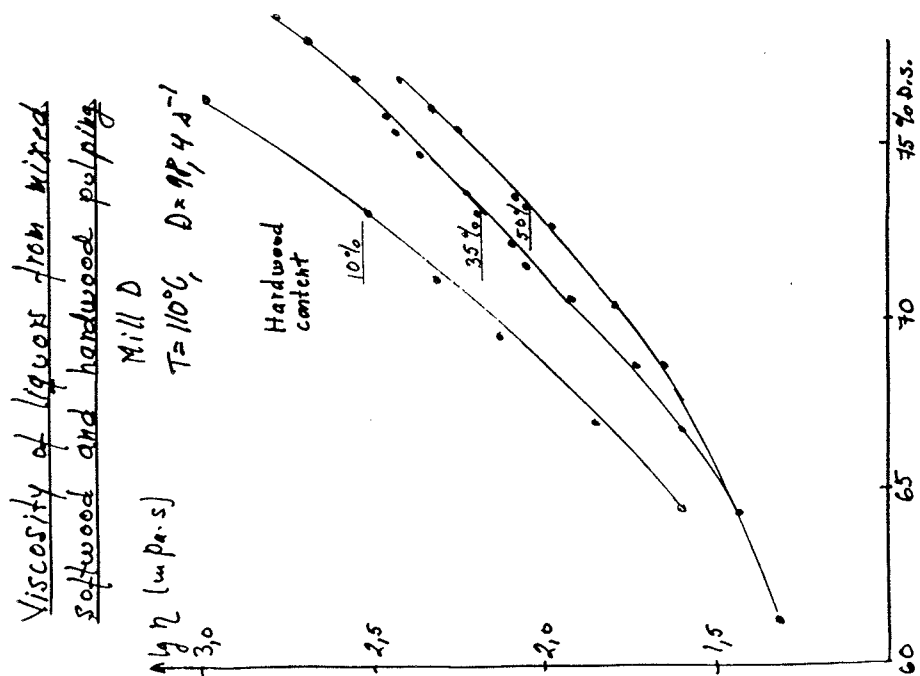
Accepted Oct. 7, 1986.

Liva Söderhjelm
Oy Keskuslaboratorio Ab, Espoo

Mustalipeän ominaisuudet

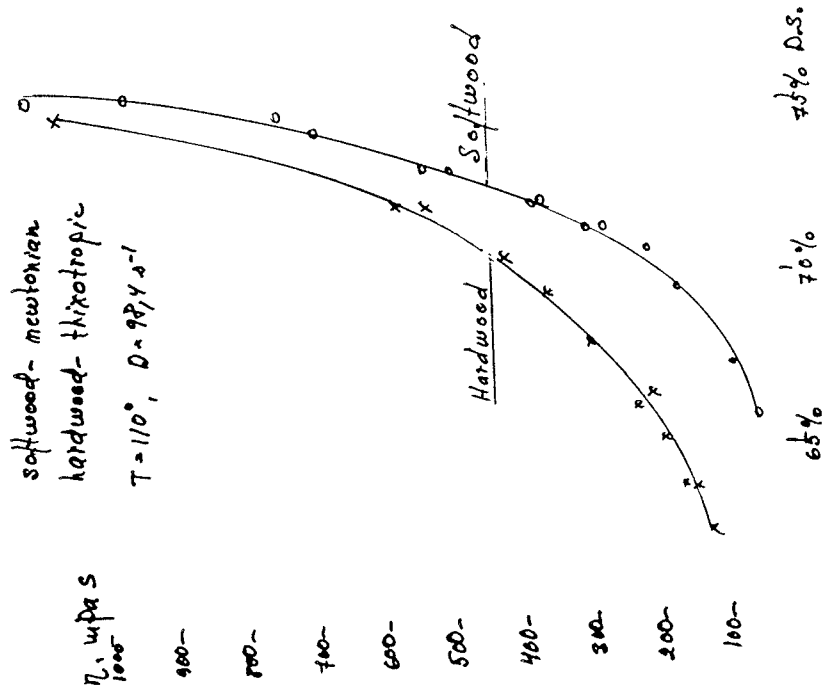


Kuva 1. Mustaliipeän viskositeetti kuiva-aineen funktiona. Kemijärven lipeät. Koivuliipeä (hardwood) on juoksevämpää kuin mäntyliipeä (softwood), mikä on luonnollista, koska viskositeettiin vaikuttaa vedessä olevien molekyylien koko ja mäntyligniinin molekyylit ovat suurempia kuin koivuligniinin.



Kuva 2. Kemi Oy:n sekalipeät. Mitä pienempi koivuliipeän osuus on, sitä paksumpaa on lipeä.

Viscosity of liquors from mill G



Kuva 3. Poikkeava tapaus (Veitsiluoto). Koivuliipeät ovat joskus erittäin paksuja. Syytä ei tiedetä vielä.

Havupuu, TEHDASLIIPEIDEN VISKOITEETTI

$T = 110^\circ \quad D = 100 \text{ s}^{-1}$

Tehdas / laita	Viskoositeetti, wPa.s 65 % k.a.	Viskoositeetti, wPa.s 70 % k.a.
Kemi -86 I	~20	140
" -86 II	40	145
" Esihyd. -87	50	145
Suola -86	40	110
Kemijärvi -86	30	120
" -87	55	160
Veitsiluoto -86	45	200
" -87 I	75	200
" -87 II	90	265
Metsä-Botnia -87	75	210
Joutseno -86	85	355
Keskenlew -86 I	100	400
" -86 II	75	240
Oulu -84	65	315
" -86	45	160
" -87	105	365

laboratoriossa laaduttu näyte
käytetty kapp. kerralla 1,3

Kuva 4. Suomalaisen tehdaslaipeiden viskoositeetti-arvoja. Havupuu. Vaihteluväli 70 %:n kuiva-aineessa on 110 - 365 mPa.s (1 mPa.s = 1 cp).

LEHTIPUUN TEHDASLIIPEIDEN VISKOSITEETTI

$T = 110^{\circ}$ $D \approx 100 \text{ s}^{-1}$

Tehdas/aika	Viskositeetti 65% k.a. 70% k.a.	Tiheys
Kemi -86 II -84 I	30 30	ai "
Kemijoki -86 -87 I -87 II -88	30 ~30 ~20 ~20	ai " " "
Varkaus -87 I -87 II	30 40	ai "
Mäskö Bolkva -86 -87 -88	60 30 120	ai " väliä
Uusikaupunki -87	95	poljoa
Verhijärvi -86 -87 I -87 II	180 95 215	ai " poljoa
Oulu -84 -86 -87 I -87 II -88	100 235 200 155 80	ai " poljoa " ai

huomautus: lehtipuu 1:2 + kokeet kappale 1,3:lla

Kuva 5. Suomalaisen tehdaslapeiden viskositeetti-
arvoja. Lehtipuu. Vaihdeluväli 70 %:n kuiva-
aineessa on 25 - 565 mPa.s.

PISARANPOLTTOKOKKEET

ÄBO AKADEMI (MIKKO HUPA)

- KUIVUUSAIKA } 700° ja 800°
- PYROLYYSAIKA
- KOKSINPOLTTOAIKA
- TURPOAHINEN 420° 700° 800°

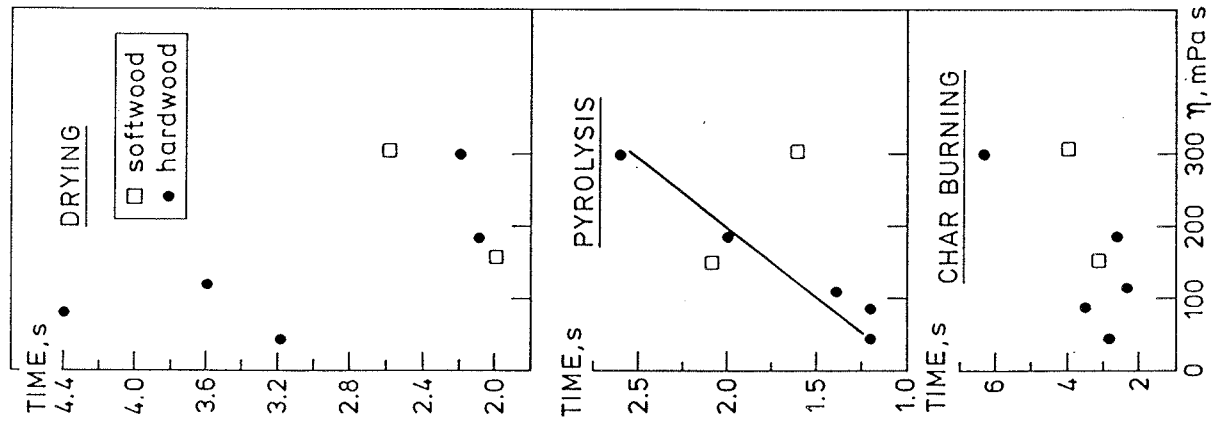
Tarkemmin selvitetty KELA:n
selosteessa 1857 (1988)

Kuva 6. Pisanpolttokokeisiin valittiin lipeät siten,
että olivat viskositeetiltaan mahdollisimman
erilaiset. Pisanroita poltettiin yksi kerrallaan
ja niistä mitattiin kuivumis-, pyrolyysi- ja
koksipolttoajat sekä turpoaminen eri lämpö-
tiloissa.

DISARAN POLTTOKOKEET, 700°

Näyte	K.a. %	visk. mPa.s	kuiv.aide s	pyr.aide s	kok.p.p.a. s
Oulu, mä	69,3	305	2,6	1,6	4,0
" , ko	67,7	300	2,2	2,6	6,3
Vilacte, ko	69,0	185	2,1	2,0	2,7
" , mä	69,1	155	2,0	2,1	3,2
Varh., ko I	71,6	120	3,6	1,4	2,4
" " II	69,8	80	4,4	1,2	3,5
Hemij., ko	68,6	~30	3,2	1,2	2,9

Kuva 7. Mäntylipeät eivät eroa koivulipeistä. Varkauden lipeän kuivumisajat ovat pitkät.

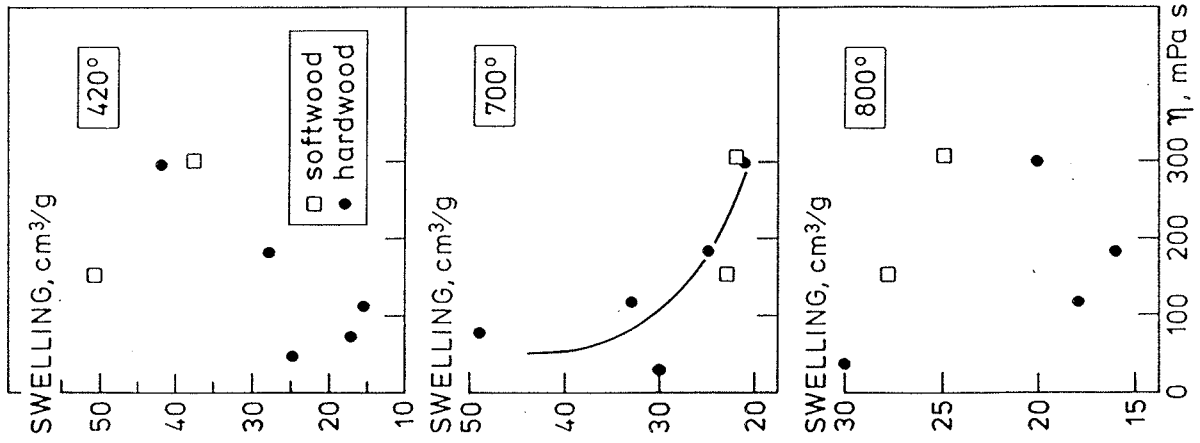


Kuva 8. Pyrolyysiaika 700°:ssa saattaa pidentyä lipeän viskositeetin kasvassa. Kuivumis- ja koksipolttoajat eivät korreloi viskositeetin kanssa. Sama pätee 800°:ssa.

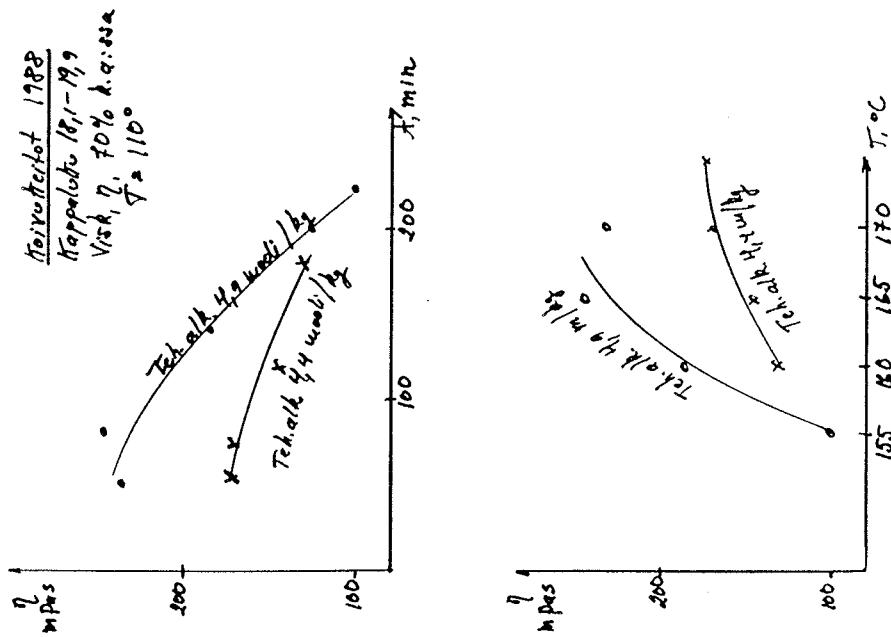
PISARAN TURPOAHINEN

Näyte	k.a. %	Visk. mpa s	Turpoaminen, $\frac{\text{cm}^3}{\text{g}}$		
			420°	700°	800°
Oulu, mä	69,3	305	38	22	25
" , ko	67,7	300	42	21	20
Vilho, ko	69,0	185	28	25	16
" , mä	69,1	155	51	23	28
Vark., ko I	71,6	120	15	33	18
" " II	69,8	80	17	49	48
Kemij., ko	68,6	~30	25	30	30

Kuva 9. Turpoamisen suhteen mäntylipet eivät eroa koivulipeistä. Varkauden lipeä turpoaa myöhemmin kuin muut.



Kuva 10. Turpoaminen näyttää vähentyvän kun viskositeetti kasvaa. Tämä pätee ainoastaan 700°:ssa.



Kuva 11. Koivulipeän viskositeettiin vaikuttavat keitto-olot. Laboratoriokeitot osoittavat, että viskositeetti kasvaa kun keitetään suurella alkalimäärällä ja korkeassa lämpötilassa (nopea keitto).

ERÄ KEITTO - JATKUVA KEITTO

Mäntytertut laboratoriossa

Kappaleku 28-32. Teh. alkali 4,5 moli/kg

Keittotapa	T maks $^\circ\text{C}$	Järjestys		Visk. 70% mpa s
		alkali	sulfi.	
perustertto	170	3,8	?	222
1/3 höyhlipää	"	2,8	3,8	225
molele lämpötila	160	4,0	4,5	225
mestepuu = 2,6 g	170	3,8	4,2	288
vertailutertto	"	3,9	4,4	244
high-heat peru g	-	2,3	0	307

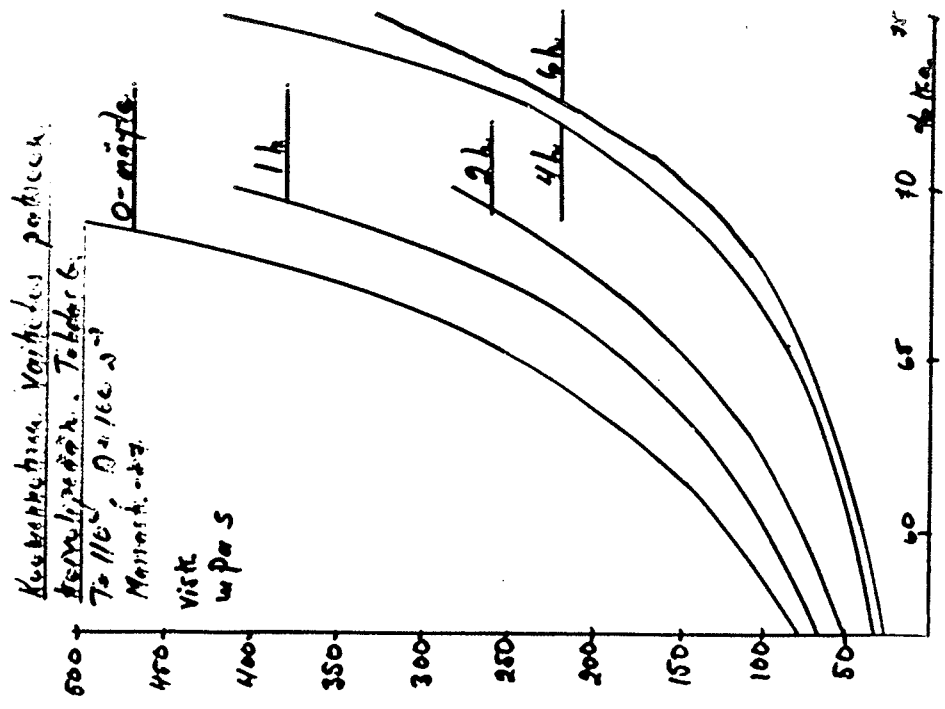
y NaOH:ne ja Na₂S:ne, 70 k.a:ssa

g) muissa kokeissa mestepuu = 4

3) lipeä laimennettu 1:1, pidetty 4 h 140^ossa

Kuva 12.

Jatkuvan mäntykeiton mustalipeä näyttää olevan paksumpaa kuin jaksoittaisen keiton lipeä. Vertaattaessa näitä laboratoriossa, yhtä seikkaa kerrallaan muuttaen, saatiin tulos joka osoitti, että jatkuvassa keitossa vallitsevalla pienellä neste-puu-suhteella olisi vaikutus. Myös high-heat pesu tekee lipeän paksummaksi (huom. sulfidi kului loppuun).



Kuva 13. Lipeän jälkikuuminen 140^o:seen alentaa viskositeettia. Lähtölipettä oli erittäin paksua (Veitsiluoto).

ALKALIN LISÄYS KUUMENNUSKONEESSA
Mähtyteitto laboratoriossa
Kappalelu 31. Jäähänsäkalta 3,8 % k.a:sta

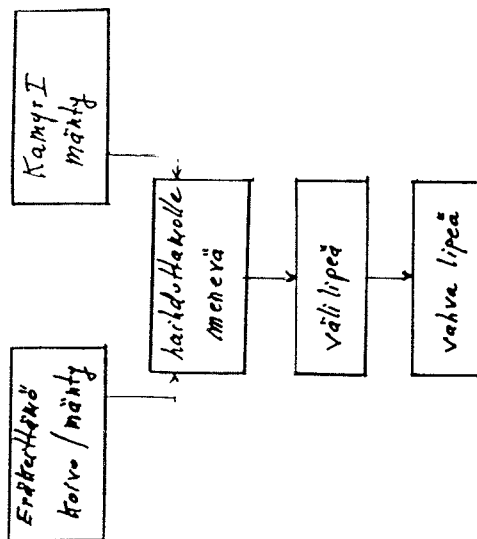
Lipeä	Kuumennus	Viskositeetti, mPa s 70% k.a. 110°C
Perus	-	322
0-lisäys	4h/140°	233
4 g/l NaOH	"	263
8 " "	"	277
16 " "	"	430

Kuva 14. NaOH:n lisäys kuumennettavaan lipeään ei parantanut tulosta - päinvastoin.

Kemi Oy:n tutkimukset

Tavoite: selvittää eräiteiden ja jätteen
keidon vaihtelusta lipeden laatuun

Lipeä näytteet

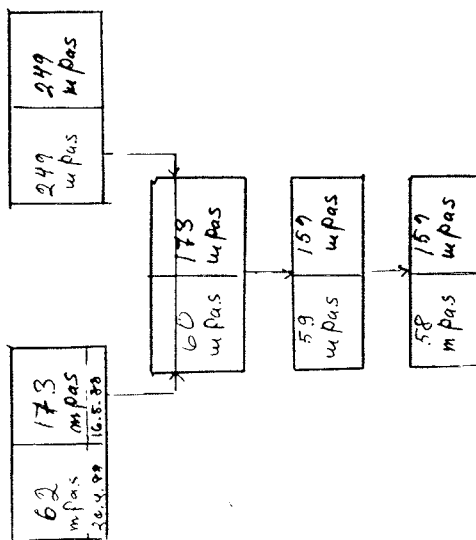


Kuva 15. Kemi Oy:ssä verrattiin lipeän viskositeettia ennen kuin siirryttiin jatkuvaan keittoon ja siirron jälkeen.

Kemin lipeä näytteiden viskositeetti 70% k.a. 110°C

Näytteet 20. lokakuuta 1978
"Eräiteiden keitto - Kamyr I mäty"

Näytteet 20. lokakuuta 1978
"Eräiteiden mäty - Kamyr I mäty"



Kuva 16. Kemin näytteiden viskositeetti eräiteiden aikana (toisella linjalla eräite, toisella Kamyr I). Vasemmalla olevat luvut edustavat jaksoa jolloin eräiteillä tehtiin koivumassaa, oikealla mäntyjakso.

Kemin lipeänihtöiden viskositeetti

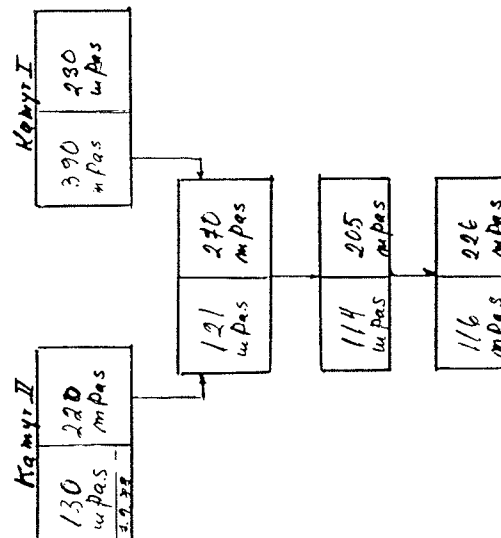
70% d.a. 110°C

Näytteet 7. syyskuuta 1988

Kamyr II koirua, Kamyr I mäntä

Näytteet 28. syyskuuta 1988

Kamyr II mäntä, Kamyr I mäntä



Kuva 17. Kemin näytteiden viskositeetti silloin kun eräkeittäjä oli korvattu Kamyr II:lla.

MUSTALIIPEÄTYEN KOSTANTATAT

Oy Kestuslaboratorio

Seodattavilavalioitonta

Oy Tampella Ab

LIEKKI-chjelua

Kemi Oy

Kuva 18.

Jussi Mäntyniemi
Oy Tampella Ab, Tampere

Lipeän pisaroituminen

JUSSI MÄNTYNIEMI
OY TAMPELLA AB

LIPEÄN PISAROITUMINEN

1. Johdanto Lipeän pisaroitumisella on huomattava merkitys soodakattilan tulipesän olosuhteisiin. Jos pisarat ovat liian suuria, ne eivät ehdi kuivua ennen kokoon iskeytymistään. Tämä johtaa palamisen hidastumiseen ja keon koon kasvuun. Jos pisarat taas ovat liian pieniä, kasvaa tulistinalueelle kulkeutuvien pisaroiden määrä. Lipeäsuuttimen olisi siis tuotettava tietyn kokoisia pisaroita, ei liian suuria eikä liian pieniä. Lisäksi suuttimen antama pisarakoko tulisi kyetä ennustamaan, jotta olisi mahdollista suunnitella kuhunkin käyttötilanteeseen sopiva suutin.

2. Lipeäsuuttimet Tällä hetkellä yleisimmin käytössä olevat suutintyypit ovat kuvassa 1 nähtävät pyörre- eli tangentialisuutin sekä lusikkasuutin.

2.1 Pyörresuutin Pyörresuuttimessa neste virtaa tangentialisesti pyörrekammioon joutuen pyörivään liikkeeseen. Tangentialisen nopeuskomponentin $W(r)$ on havaittu noudattavan tietyillä oletuksilla kaavaa (1)

$$W = \frac{W_R R}{r} \quad (1)$$

missä W_R on nesteen nopeus tuloaukolla ja R on tuloaukon etäisyys suuttimen keskilinjasta. Kaavan 1 mukaisesti nopeus kasvaa keskilinjaa lähestyttäessä, joka tietysti aiheuttaa staattisen paineen laskun. Kammion keskelle syntyy tällöin sylinterimäinen ilmatila, ja neste etenee kammion seinämää pitkin purkautuen lopulta ohuena pyörivänä nestekalvona. Pyörresuuttimen rakenne selviää kuvasta 2.

2.2 Lusikkasuutin Lusikkasuuttimessa nestesuihku törmää hajoituslevyyn muodostaen tasomaisen nestekalvon kuvan 3 mukaisesti. Nestekalvon muoto ja paksuus eri puolilla kalvoa on riippuvainen törmäyskulmasta. Jos suihku törmää suoraan 90° kulmassa, saadaan pyöreä symmetrinen kalvo. Törmäyskulman pienetessä kalvon muoto pitenee ja kapenee sekä nestevirrasta yhä suurempi osa suuntautuu suoraan eteenpäin.

3. Pisaroiden syntyminen

Edellisten kappaleiden perusteella voidaan todeta, että kummatkin suutintyyppit ovat toimintaperiaatteeltaan samankaltaisia. Ne muodostavat nestekalvon, joka rikkoutuu pisaroiksi. Pisaroiden voidaan olettaa syntyvän seuraavasti: nestekalvon ja ympäröivän kaasun välillä vallitsevan nopeuseron vuoksi kalvoon syntyy aaltomaisia häiriöitä, jotka kasvavat nopeasti aallonharjan ja pohjan välille muodostuvan paine-eron vuoksi. Kuva 4.

Kalvon laajetessa se samalla ohenee, kunnes se lopulta repeytyy puolen aallon mittaisiin osiin. Pintajännitysvoiman vaikutuksesta näistä osista muodostuu sylintereitä. Myös sylinterit ovat epästabiileja, ja ne katkeavat osiin, joista pisarat muodostuvat. Näin saatua pisarakokoa voitaen pitää teoreettisena pisarakokona, josta todellisuus poikkeaa siinä, että aina syntyy useita eri kokoisia pisaroita. Tätä voidaan osittain selittää sekä pisaroiden edelleen rikkoutumisella että nestekalvon pirstoutumisen poikkeamisella ideaalitilanteesta.

Pisarasuihku sisältää siis aina eri kokoisia pisaroita. Tämä on soodakattilan tulipesäprosessin kannalta epätydyttävää, sillä kokojakautuman suurimmat pisarat eivät ehkä ehdi kuivua, ja taas pienimmät tempautuvat ylöspäin. Erään suuttimen antama pisarakokojakautuma on esitetty kuvassa 5. Soodakattilan kannalta ihanteelliseen ratkaisuun, jossa kaikki pisarat olisivat yhtä suuria, on käytännössä mahdoton päästä. Suuttimen oikealla mitoittamisella voidaan kuitenkin vaikuttaa kokojakautumaan, jotta se olisi mahdollisimman hyvä.

Pyörresuuttimessa rikkoutuva nestekalvo on tasapaksu, kun taas lusikkasuuttimessa kalvon paksuus vaihtelee eri puolilla kalvoa. Tämä antaa aiheen olettaa, että pyörresuuttimella saavutetaan parempi, suppeampi pisarakokojakautuma kuin lusikkasuuttimella.

4. Pisarakokoon vaikuttavia tekijöitä

Pisarakokoon vaikuttavia tekijöitä ovat suoranaisesti nestekalvon paksuus, kalvon nopeus sekä nesteen ja ympäristön aineominaisuudet. Ruiskutusaine vaikuttaa vain välillisesti, sillä paine on ainoastaan keino saada aikaiseksi nestekalvo ja sille tietty nopeus. Myös viskositeetin merkitystä on usein ylikorostettu. Viskositeetti vaikuttaa toki siihen, millaisella paineella neste saadaan suuttimen läpi nestekalvoksi, mutta itse pisaroitumisessa sen merkitys ei ole kovin suuri.

Kalvon paksuuteen ja nopeuteen voidaan vaikuttaa suutin-konstruktioilla. Jos oletetaan tilavuusvirta vakioiksi lusikkasuuttimessa, pisarakokoa voidaan muuttaa suutinaukkoa suurentamalla tai pienentämällä. Pyörresuuttimessa muuttujia on huomattavasti enemmän: tuloaukon poikkipinta-ala, pyörrekammion koko sekä suutinaukon halkaisija.

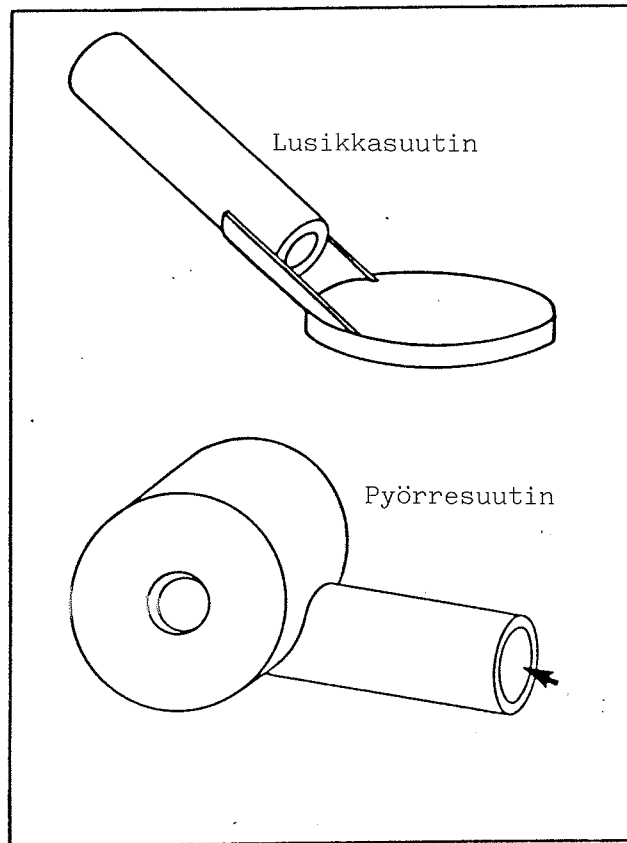
5. Pisarakoon vaikutus tulipesään

Pisaroiden lentoratoja on tutkittu matemaattisen mallin avulla. Kuvassa 6 on esitetty eri kokoisten pisaroiden lentoratoja tulipesässä. Pienten, halkaisijaltaan 0,5 mm pisaroiden havaitaan palavan hyvin nopeasti loppuun. Suuremmat, 1 mm ja 1,5 mm pisarat tunkeutuvat jo huomattavasti pidemmälle ja saavuttaisivat tulipesän pohjan, elleivät ne joutuisi tulipesän keskellä olevaan voimakkaaseen ylöspäinvirtaukseen. Tässä hissivirtauksessa pisarat ehtivät jopa tulistinalueelle saakka ennen kuin palaminen päättyy. Suurin, 2 mm pisara on massaltaan niin suuri, että se ei enää ole virtauksen viettävissä vaan saavuttaa keon.

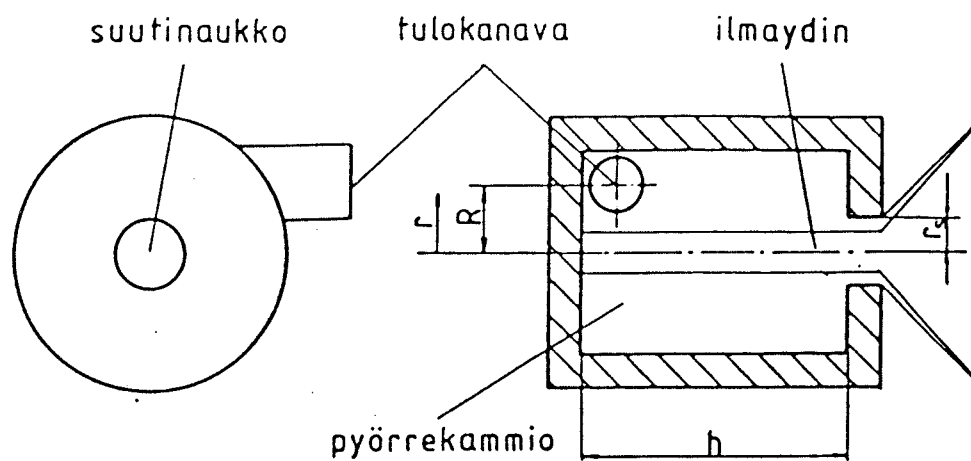
Pisarakokojakautuman siirtyessä kohti pieniä pisaroita palaminen siirtyy ylös, mikä myös on havaittavissa laskennallisesti. Kahdella erilaisella jakautumalla (kuva 7) lasketuista tulipesän yläosan lämpötilakentistä voidaan todeta, että runsaasti pieniä pisaroita sisältävällä pisarasuihkulla (jakautuma B) lämpötilataso on noin 100°C korkeampi kuin jakautumalla A (kuvat 8 ja 9).

6. Lopuksi

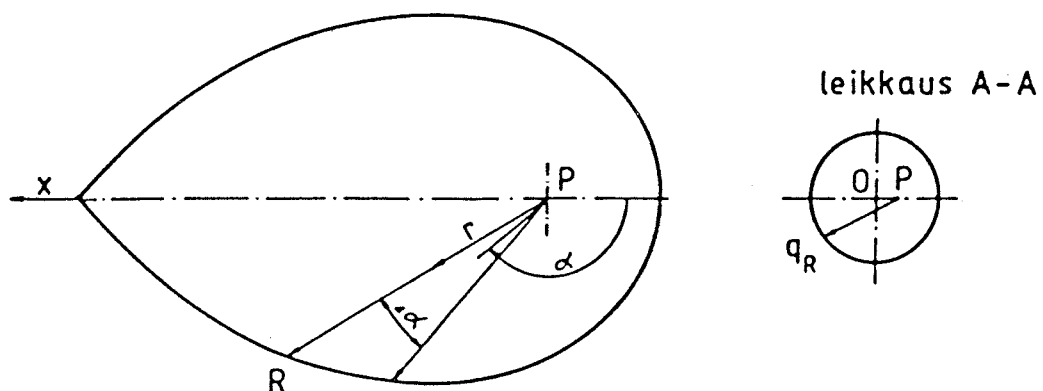
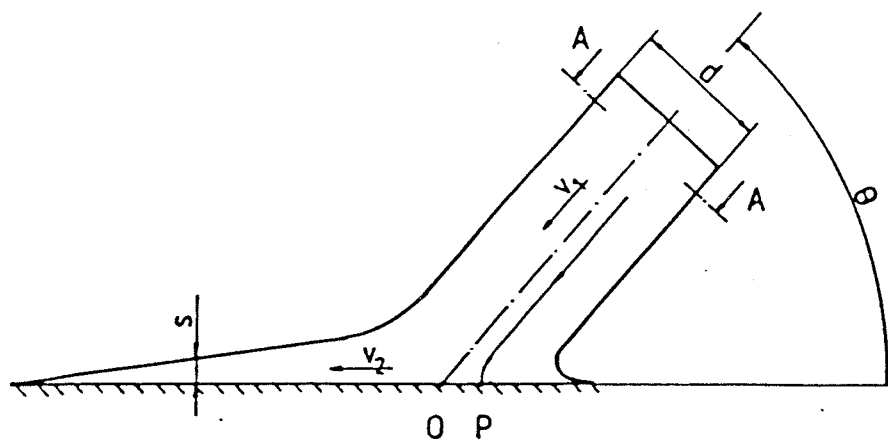
Tiedon lisääminen suuttimista ja pisaroitumisesta on tärkeää, sillä se auttaa suunnittelemaan sellaisia suuttimia, joilla saavutetaan mahdollisimman hyvät olosuhteet tulipesään. On kuitenkin muistettava, etteivät pisarat ole kaikki kaikessa, vaan ne ovat kiinteässä vuorovaikutuksessa lämpötila- ja nopeuskentän kanssa. Näin ollen ilmajako tulee toteuttaa niin, että voimakkaita pisaroita mukaansa tempaavilta hissivirtauksista vältyttäisiin.



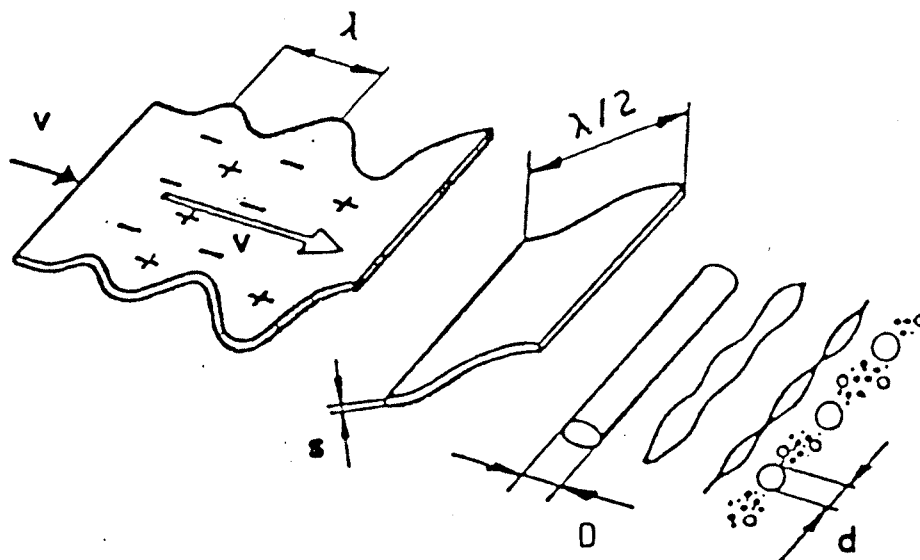
Kuva 1. Suutintyyppit



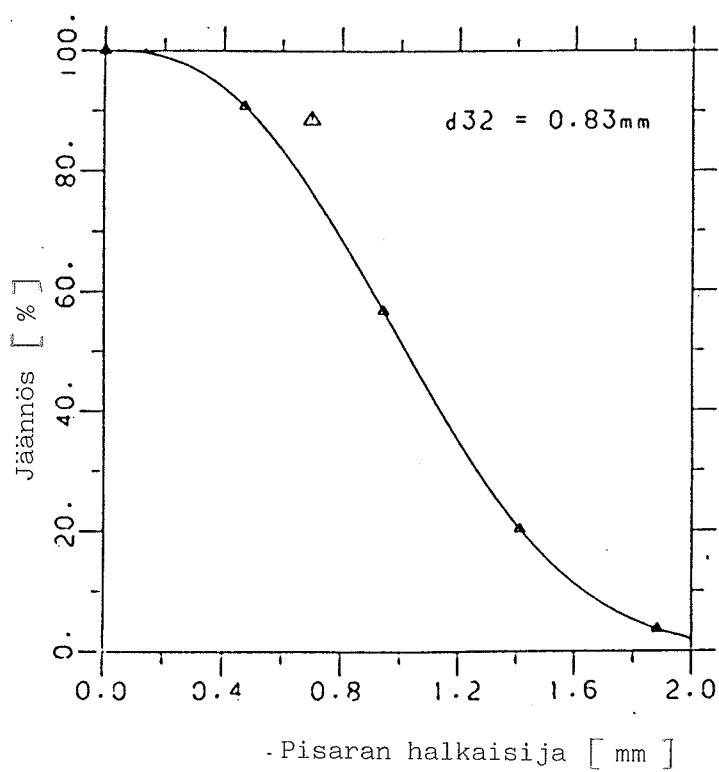
Kuva 2. Pyörresuuttimen rakenne.



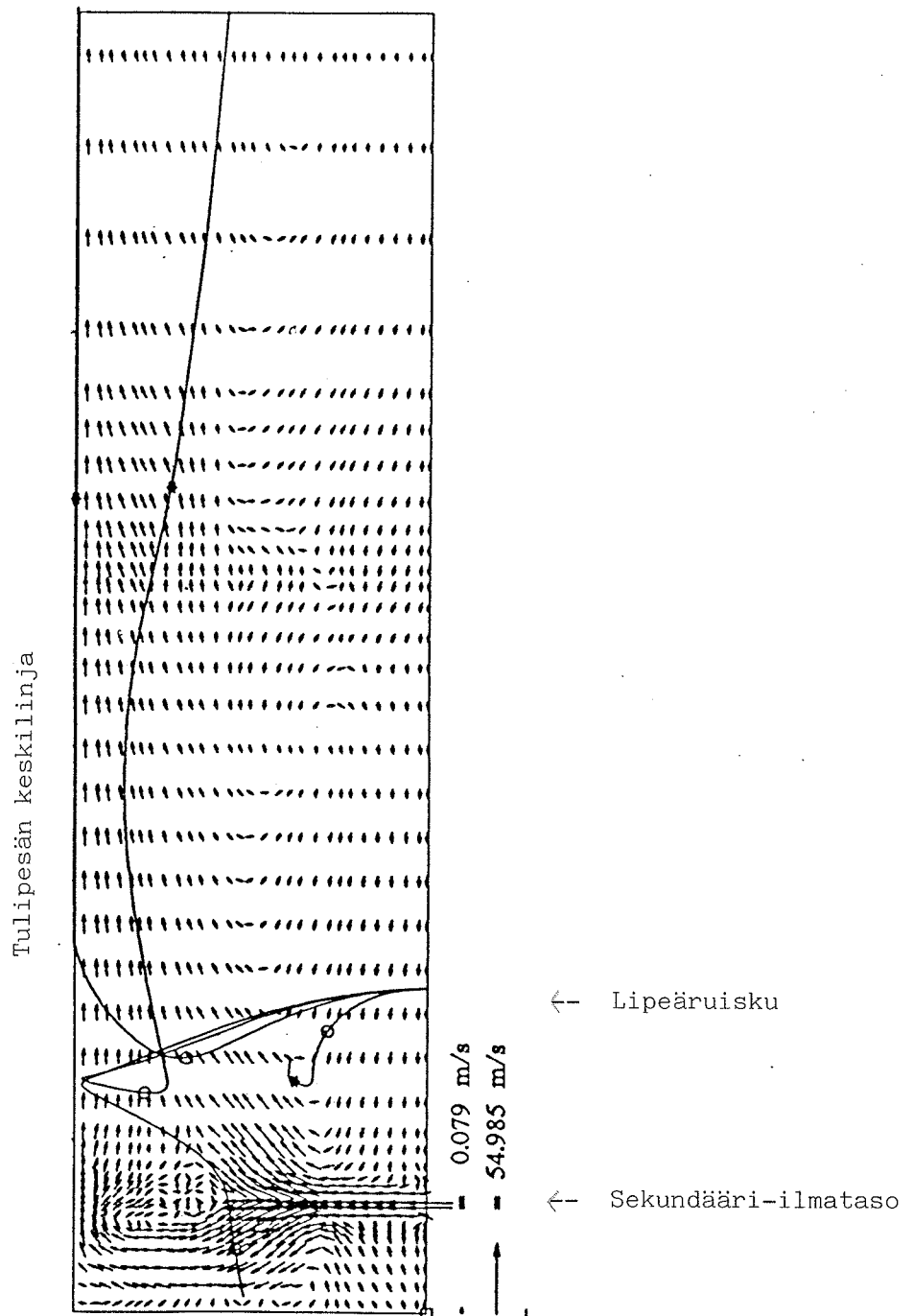
Kuva 3. Lusikkasuuttimen toimintaperiaate



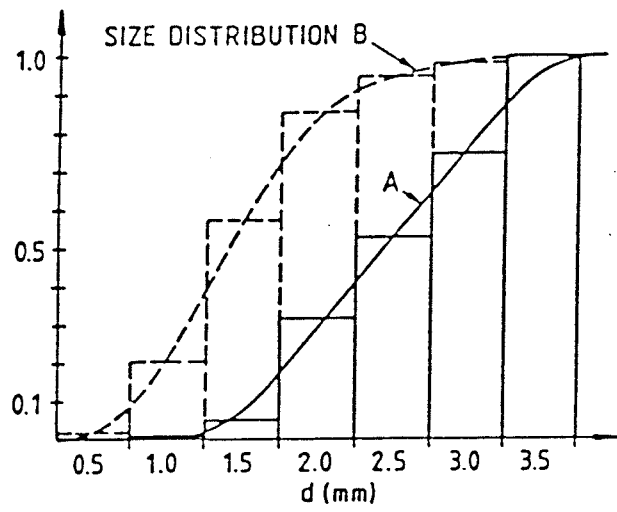
Kuva 4. Nestekalvon aallonmuodostus ja pisaroituminen



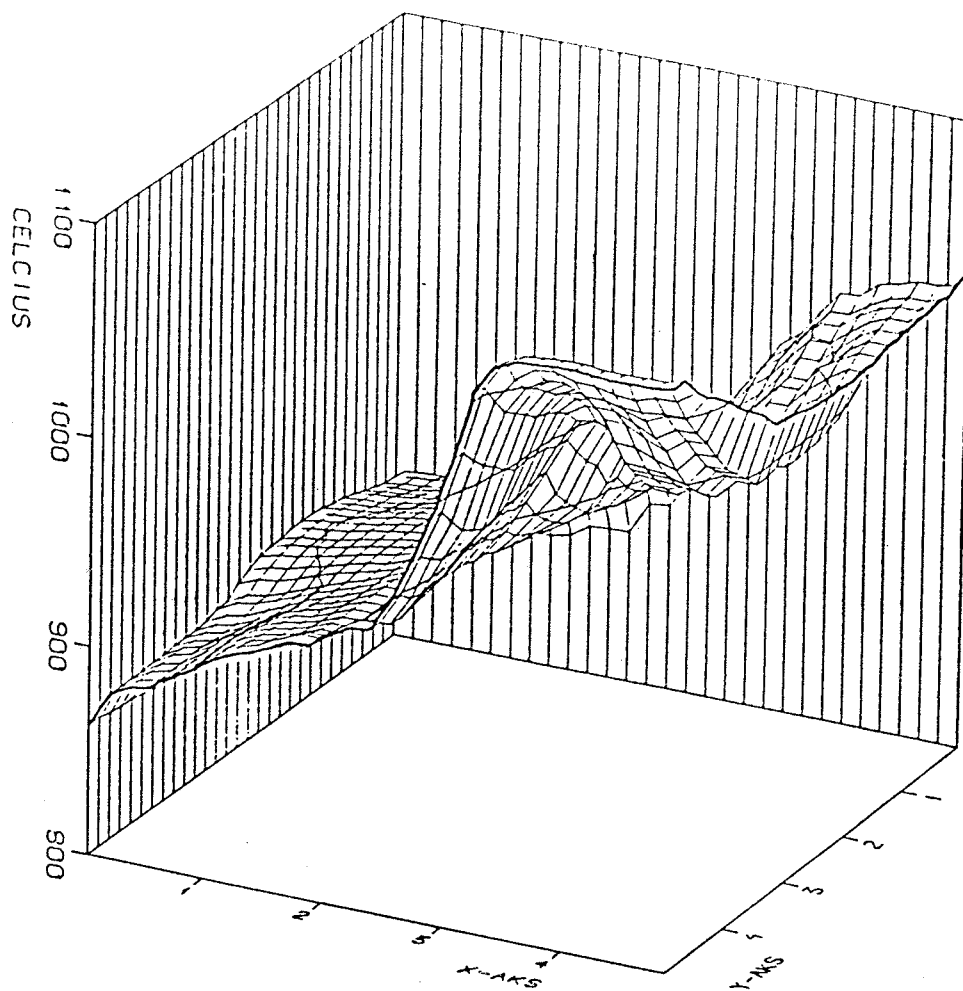
Kuva 5. Pisarakokojakautuma.



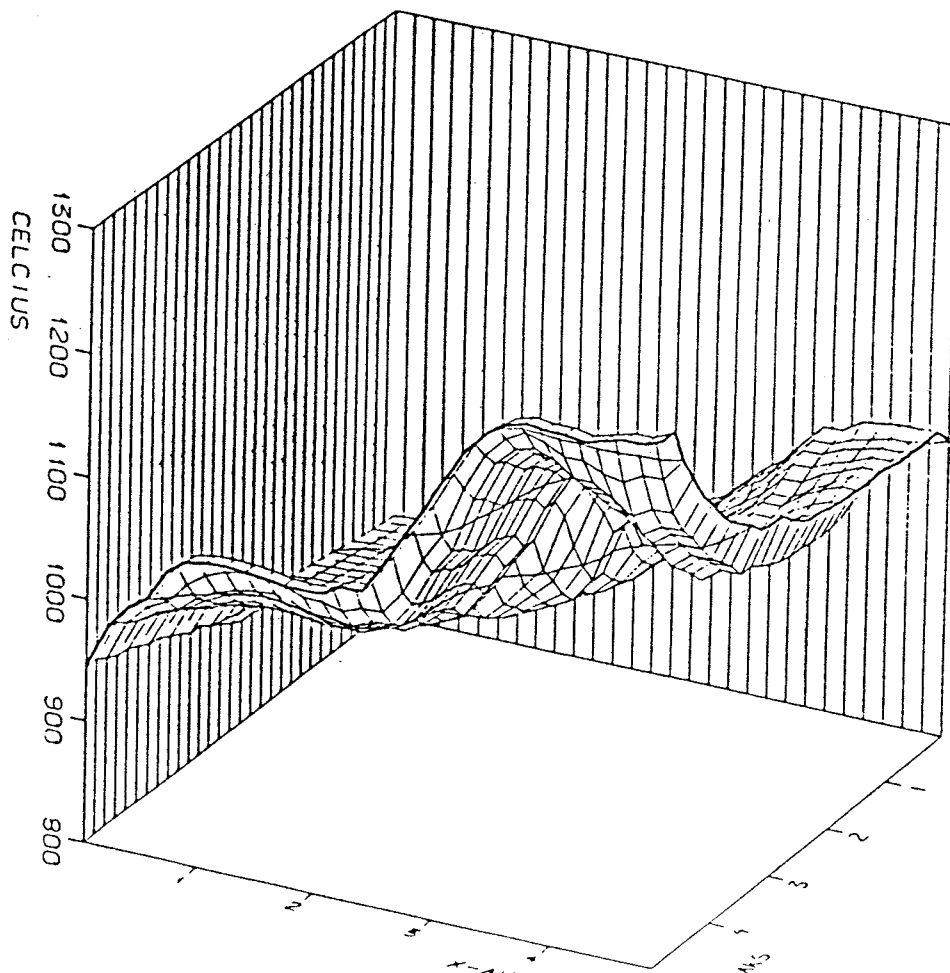
Kuva 6. Pesaroiden lentoratoja tulipesässä.



Kuva 7. Laskennassa käytetyt pisarakokojakautumat.



Kuva 8. Lämpötilakenttä kokojakautumalla A.



Kuva 9. Lämpötilakenttä kokojakautumalla B.

Juha-Pekka Juuti
Kymmene Oy Kaukas, Lappeenranta

Haihduttamojen ongelmat
normaalilla kuiva-ainetasolla

KYMMENE OY
Energiaosasto, Kaukas

Juha-Pekka Juuti

HAIHDUTTAMOJEN ONGELMAT NORMAALILLA KUIVA-AINETASOLLA

I Haihduttamojen tyypilliset ongelmat

- lauhteiden likaantuminen
- häiriöt kaasunpoistossa
- korroosio
- tukkeumat

II Tukkeumien syyt

- korkea mustalipeän kuiva-ainetaso
- alhainen virtausnopeus yksiköissä
- lipeiden koostumus
- tehtaiden sulkemisaste

III Likakerrostumat

Epäorgaaniset kerrostumat

- Na-suolat
- kalsiumkarbonaatti
- Na-Al-silikaatti

Orgaaniset kerrostumat

- suopa
- ligniini
- kuidut

IV Kaukaalla esiintyneet tukkeumaongelmat

- keskittyneet koivulinjalle 1- j 2-yksiköihin ennen väkevöitintä
- pesuohjelman käyttöönoton jälkeen tukkeumailmiöt 3-yksikössä
- kerrostumien koostumus
 - *Na-suolat
 - *kalsiumkarbonaatti
 - *kuidut
 - *ligniini
 - *suopa

V Ongelmien ratkaisut

- pesu mäntyvälililipeällä
- kierron lisääminen yksiköissä
- emävesi puolivahvalipeään
- säiliökokojen kasvattaminen
- emäveden neutraloinnin parantaminen

TOIMINTAOHJE HAIHDUTTAMON SÄÄNNÖLLISTÄ PESUA VARTEN

Haihduuttamolle on hankittu pesuputkistot ja pesussa tarvittavat automaattiventtiilit. Tukkeutumista pyritään hallitsemaan seuraavalla ajo-ohjelmalla. Pesuvaihto tapahtuu aamuisin n. klo 8.00.

Pesuajossa

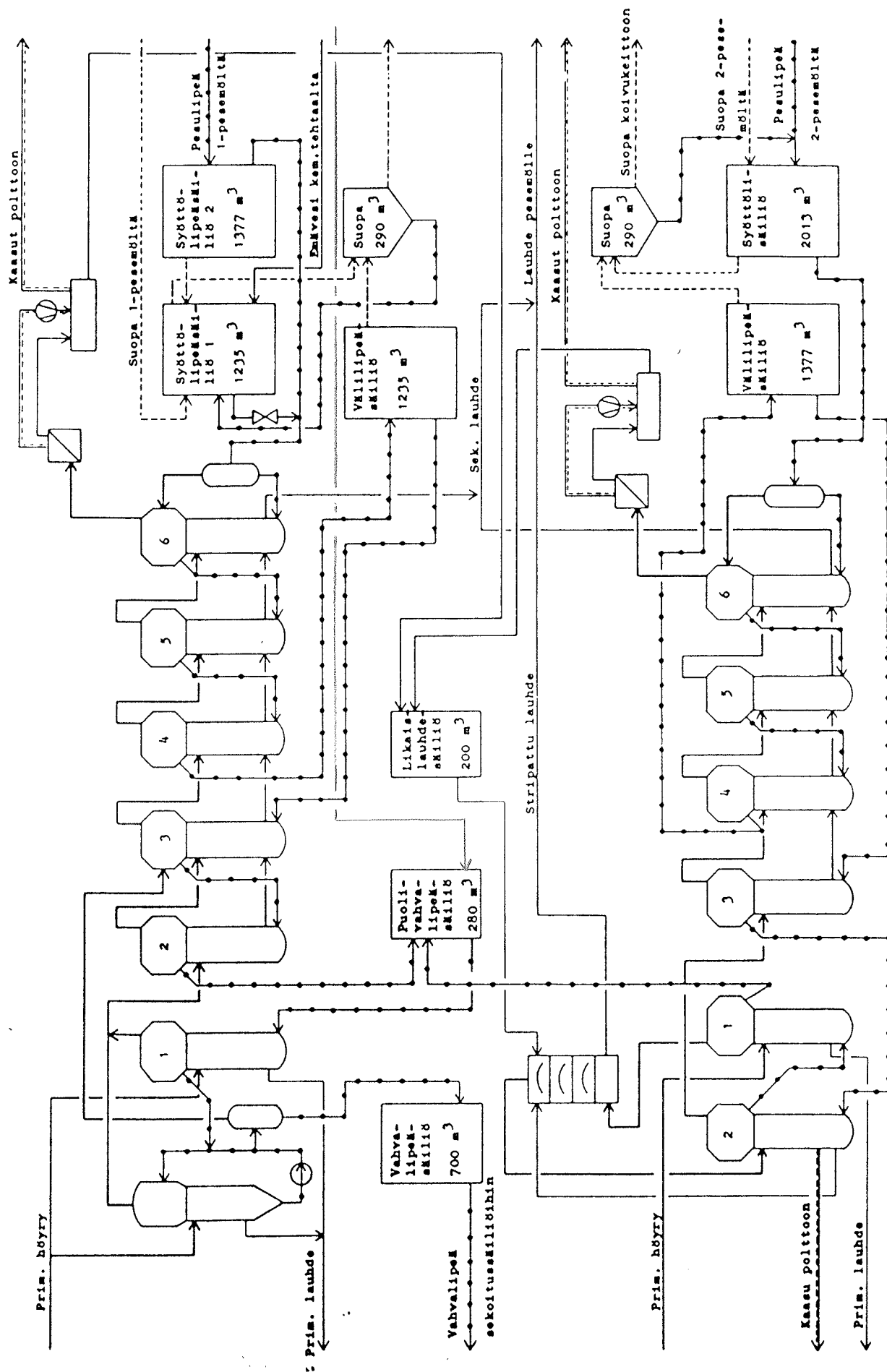
maanantai	väkevöitin n. 1 - 2 tuntia ja 2-haihduuttamon 1-yksikkö
tiistai	1-haihduuttamon 1-yksikkö
keskiviikko	1-haihduuttamon 2-yksikkö
torstai	2-haihduuttamon 1-yksikkö
perjantai	1-haihduuttamon 2-yksikkö
lauantai	1-haihduuttamon 1-yksikkö
sunnuntai	1-haihduuttamon 2-yksikkö

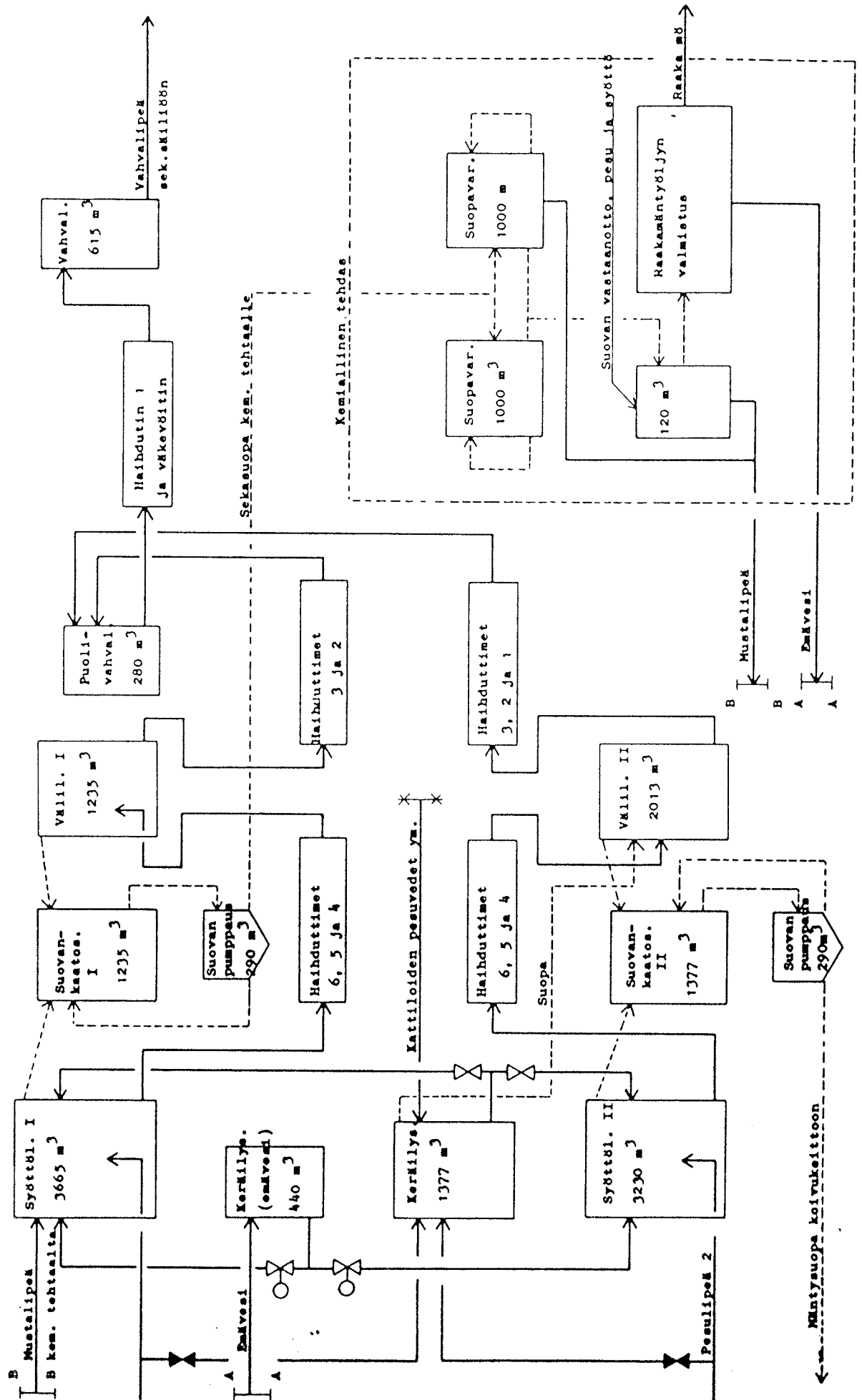
Ennen pesuvaihtoa avataan 1-haihduuttamon 1-yksikön paisuntasäiliön venttiili. 1-haihduuttamon 2-yksikön ja 2-haihduuttamon 1-yksikön paisuntasäiliöiden venttiilit pidetään jatkuvasti auki.

Oheiset kaaviot ja taulukot diplomityöstä:

Jyrki Suojalehto

Tutkimus erään sulfaattiselutehtaan haihduttamon likaantumiseen vaikuttavista tekijöistä





HAIHDUTTAMON KERROSTUMANÄYTEIDEN KOOSTUMUKSET

Kerrostusnäytteet (1-haihduttamo)	Tuhta	Kuitu	lign.	SO ₄	CO ₃	Na	K	Ca	Al	Si	Mg	Fe	tot S	Tcd.näit. pääkomponentit
Mäytteet 26.09.85:														
1. 1-yks. kova kerrostuma tuubin yläpäältä	64.8	runs.	5.0	0.2	0	48.1	9.5	0.2	22.5	0.2	2.0	0.6	0	CaCO ₃ 55%, Na ₂ CO ₃ 20% lign 5%, kuidut
2. 1-yks. pohjasatkaa	75.2	runs.	3.1	0.6	10.8	29.8	23.7	0.4	2.4	0.2	1.9	0.1	n.0	2.3 NaCO ₃ 40%, Na ₂ SO ₄ 15% CaCO ₃ 6%, lign. 3%, kuidut
3. 2-yks. tukkeuma	57.2	runs.	8.1	1.3	1.8	41.3	8.5	0.5	18.9	0.2	2.9	0.5	n. 0	0.8 CaCO ₃ 45%, Na ₂ CO ₃ 15%, Na ₂ SO ₄ 3%, lign. 3%, kuidut
4. 2-yks. kova kerrostuma tuubin yläpäältä	62.1	runs.	8.8	0.6	0.5	53.4	8.3	0.7	28.1	0.2	3.0	0.3	n. 0	0.3 CaCO ₃ 70%, Na ₂ CO ₃ 18%, lign. 9%, kuidut
5. 2-yks. kova kerrostuma tuubin alapäältä	55.5	runs.	8.1	0.5	0	50.0	2.6	0.2	32.4	0.1	2.1	0.7	n. 0	0 CaCO ₃ 80%, Na ₂ CO ₃ 5%, lign. 8%, kuidut
6. 2-yks. pohjasatkaa	52.0	runs.	6.3	3.7	0.2	32.3	7.5	0.5	17.1	0.1	1.6	0.5	0.1	0.7 CaCO ₃ 40%, Na ₂ CO ₃ 15%, lign. 6%, suopa, kuidut
7. 3-yks. tukkeuma	37.1	runs.	27.1	3.7	3.0	14.7	7.8	0.3	6.2	0.1	1.8	0.6	n.0	1.6 CaCO ₃ 15%, kuivunutta musta- lipeää (lign. Na-suolat)
8. 3-yks. pohjasatkaa	59.0	runs.	29.1	3.0	2.0	43.6	8.3	0.1	21.8	0.1	0.6	0.4	0.4	0.4 CaCO ₃ 50%, lign. 29%, Na ₂ CO ₃ 18%
Mäyte 27.11.85:														
9. 2-yks. tukkeuma	52.2	9.8	11.8	2.0	18.8	11.0	11.0	11.9						CaCO ₃ 30%, lign. +kuidut 20%, Na-karbonaatti
Mäytteet 27.12.85:														
10. 2-yks. kova kerrostuma	58.1	0.4	4.3		62.0	4.1	n.0	33.9	0.02	n.0	0.3	n.0	n.0	CaCO ₃ 84%, lign. +kuidut 5%, loppu Na- ja Mg-karbonaattia
11. 3-yks. tukkeuma	49.8	5.6	27.6		23.0	18.5	2.0	2.0	0.1	0.2	0.5	3.6		Tutkeuma syntynyt kuivu- neesta mustaliipeästä + kuidusta

LIPEÄKIERRON KARTOITUS 24.07. - 26.07. 1985

Näyte	pH	Kuiva-aine, %	Na, % K-a:sta	Ca, % K-a:sta	Al, % K-a:sta	SO ₄ , % K-a:sta	Na ₂ CO ₃ , % K-a:sta	Na ₂ S, % K-a:sta	NaOH, % K-a:sta	Mäntydiljy, % K-a:sta
Koivunassa	15,3	0,44	0,12	0,003	0					
Mäntymassa	14,8	0,41	0,10	0,002	0					
Laihalipeä 1-pesemöltä	12,54	14,9	17,7	0,07	0	1,4	8,1	2,6	1,3	1,4
Laihalipeä 2-pesemöltä	13,02	15,9	16,4	0,056	0	1,4	9,1	4,2	2,5	0,9
Vahvalipeä	13,81	67,1	14,5	0,02	0	0,8	8,1	4,7	1,5	0,3
Suopaputki 2-pesemöltä	14,8	17,6	0,23	0,15	1,3		9,5	3,9	2,2	52,2
Enävesi	10,28	14,2	20,8	1,5	0,06	33,6	5,3	0	0,2	19,3
Suopa kem.teht:lle	62,4	5,9	0,35	0	0,3		2,0			88,3
Suopa keittämölle	54,5	6,2	0,79	0,009	0,1		3,0			83,9
							Scan-N2:63	Scan-N2:63	Scan-N2:63	
Soodalipeä 1	21,3	28,4 72 g/l	0,002 4 mg/l	0,004 11 mg/l	1,3 3,5 g/l		61,2 152,6 g/l	18,8 48,6 g/l	3,2 8,0 g/l	
Soodalipeä 2	21,3	33,2 85 g/l	0,001 3 mg/l	0,004 11 mg/l	3,4 9,4 g/l		58,3 147,3 g/l	17,8 45,2 g/l	2,2 5,6 g/l	
Soodalipeä selkeyt. jälk.	20,8	37,5 93 g/l	0,002 5 mg/l	0,005 12 mg/l	2,0 5,4 g/l		60,7 148,4 g/l	18,4 45,2 g/l	3,6 8,8 g/l	
Valkalipeä	21,3	36,6 91 g/l	0,007 17 mg/l	0,008 20 mg/l	2,5 6,7 g/l		13,6 33,9 g/l	16,8 42,1 g/l	38,8 96,8 g/l	

Kari Kuukkanen
Afora Oy, Oulu

Kuiva-ainepitoisuuden vaikutus
soodakattilan ajo-olosuhteisiin

K Kuukkanen/ani 28.12.1988

KUIVA-AINEPITOISUUDEN VAIKUTUS SOODAKATTILAN AJO-OLOSUHTEISIIN
(yhteenvedo 26.10.-88 soodakattilavaliokunnan soodakattilapäivillä
pidetystä esitelmästä)

Esitelmässä tarkasteltiin kuiva-ainepitoisuuden noston vaikutusta tulipesän ja savukaasujen lämpötiloihin, carry overin määrään sekä soodakattilan ohjaukseen.

Teoreettisten laskelmien ja Kemin tehdaskokeissa saatujen tulosten perusteella todettiin lämpötilatasojen nousevan tulipesässä ja tulistimien jälkeen, ekojen jälkeisten lämpötilojen pysyessä lähes samana ja jopa hiukan laskevan. Lämpötilan nousu ennen tiheitä lämpöpintoja saattaa aiheuttaa lisääntyviä likaantumisongelmia kattiloissa, joissa jo alhaisellakin kuiva-ainepitoisuudella liikutaan lähellä kriittisiä lämpötiloja.

Kuiva-aineen noston vaikutusta carry overin määrään (toiseen kattilan lämpöpintoja likaavaan tekijään) pyrittiin myös hypoteettisesti arvioimaan. Todettiin, että carry overia lisäävä savukaasujen nopeus ei kuiva-ainetta nostettaessa oleellisesti muutu, koska savukaasujen määrän pienentyminen kompensoi lämpötilan nousun aiheuttaman tilavuusvirran kasvun.

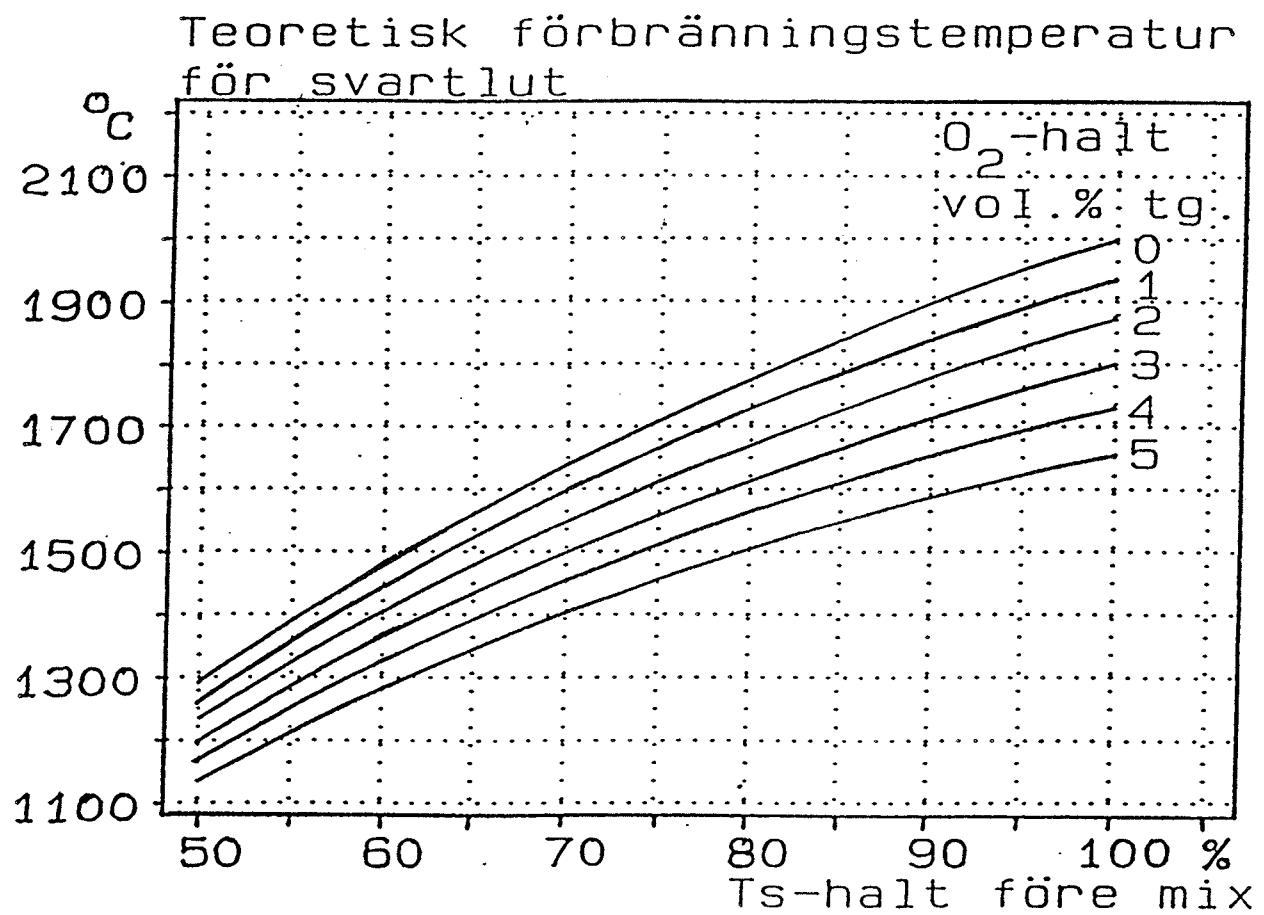
Lipeän kuivumistarpeen pienentyminen mahdollistaa huomattavasti karheamman lipeän ruiskutuksen korkeammalla kuiva-ainepitoisuudella. Suurempi pisarakoko pienentää carry-overia ja helpottaa lämpöpintojen puhtaanapitoa.

Kuiva-ainepitoisuuden nosto mahdollistaa tulipesän lämpötilan optimoinnin nykyisen maksimoinnin sijasta. Polttoaineen laadun parantuessa lämpötilan maksimointi ei ole enää tarpeellista hyvän ajotuloksen saavuttamiseksi, vaan jopa haitallista lisääntyvän lentotuhkamäärän muodossa. Tulipesän lämpötilan optimointi voidaan hoitaa oikealla ilmajaolla sekä polttoilmojen lämpötiloja säätämällä.

Kuiva-ainepitoisuuden noston seurauksena lisääntyvä, tosin lämpöpinnoilta helposti irtoava lentotuhka aiheuttaa nuohotessa tuhkaryöpyn sekoitussäiliöön, jota ei nykyisillä refraktometri-kuiva-ainemittareilla pystytä ennakoimaan. Tämän takia lehtotuhkan tasainen palautus on entistä tarkemmin otettava huomioon suurena myös nuohouksen ohjauksessa.

LIITTEET

Esitelmän yhteydessä esitetyt kalvot



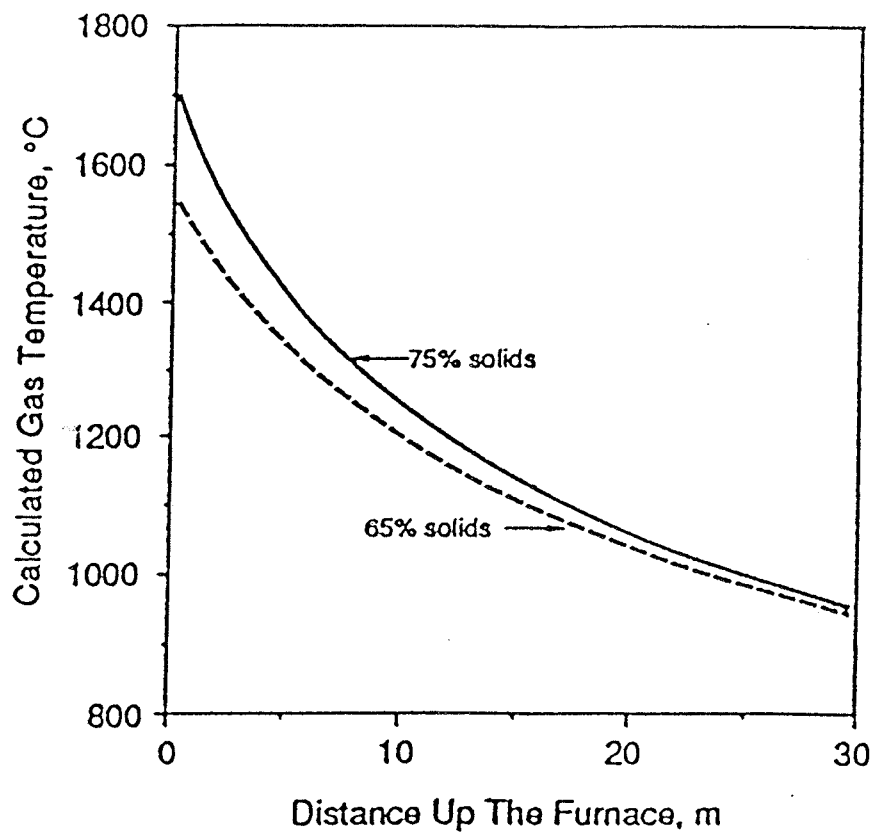
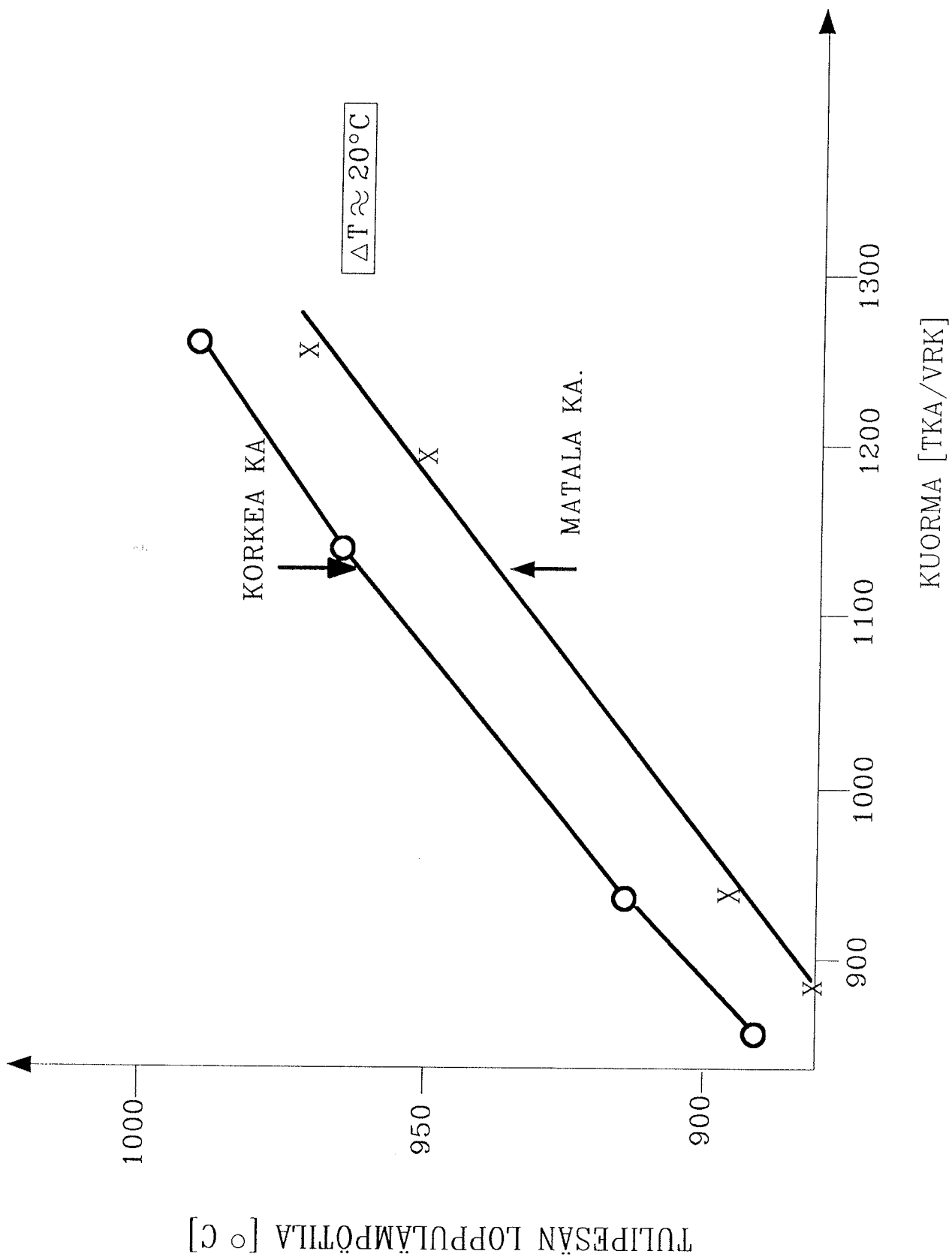
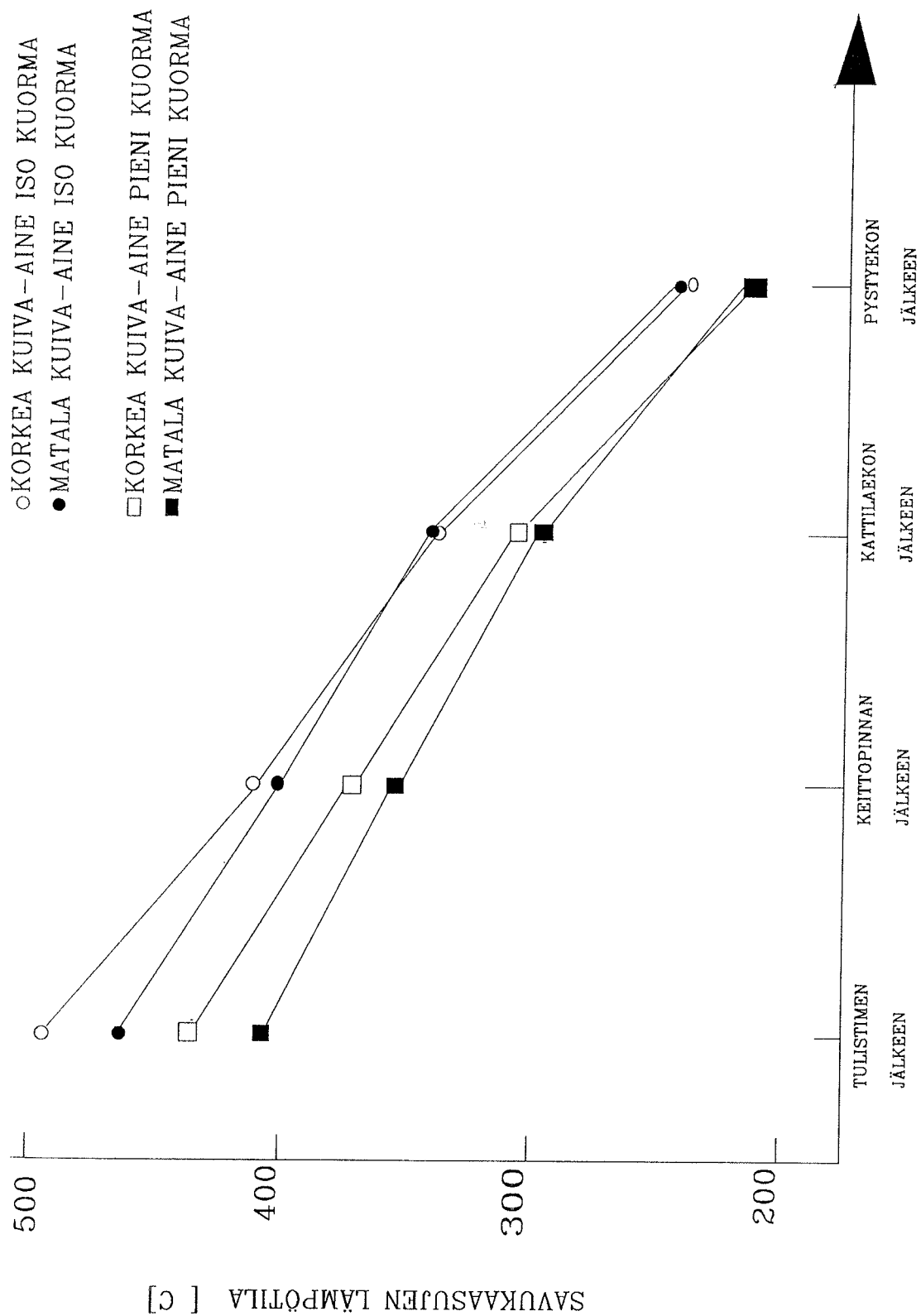


Figure 17 – Calculated gas temperature profile as a function of elevation up the furnace.

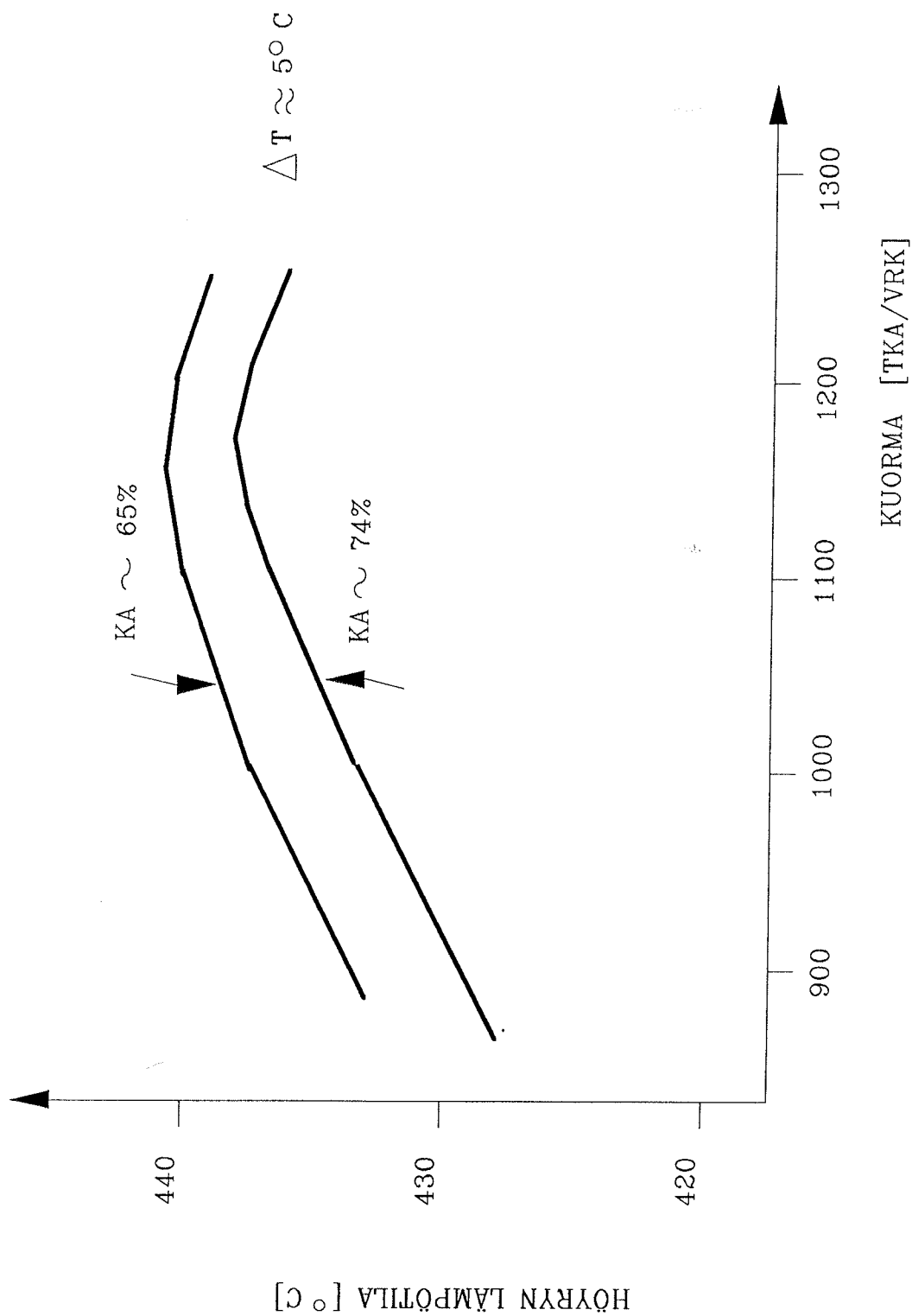
KUVA-AINEPITOISUUDEN VAIJTUS TULIPESÄN LOPPULÄMPÖTILAAAN



KUIVA-AINEPITOISUUDEN VAIKUTUS SAVUKAASUJEN LÄMPÖTILAIHIN



KUIVA-AINEPITOISUUDEN VAIKUTUS HÖYRYN LÄMPÖTILAAN



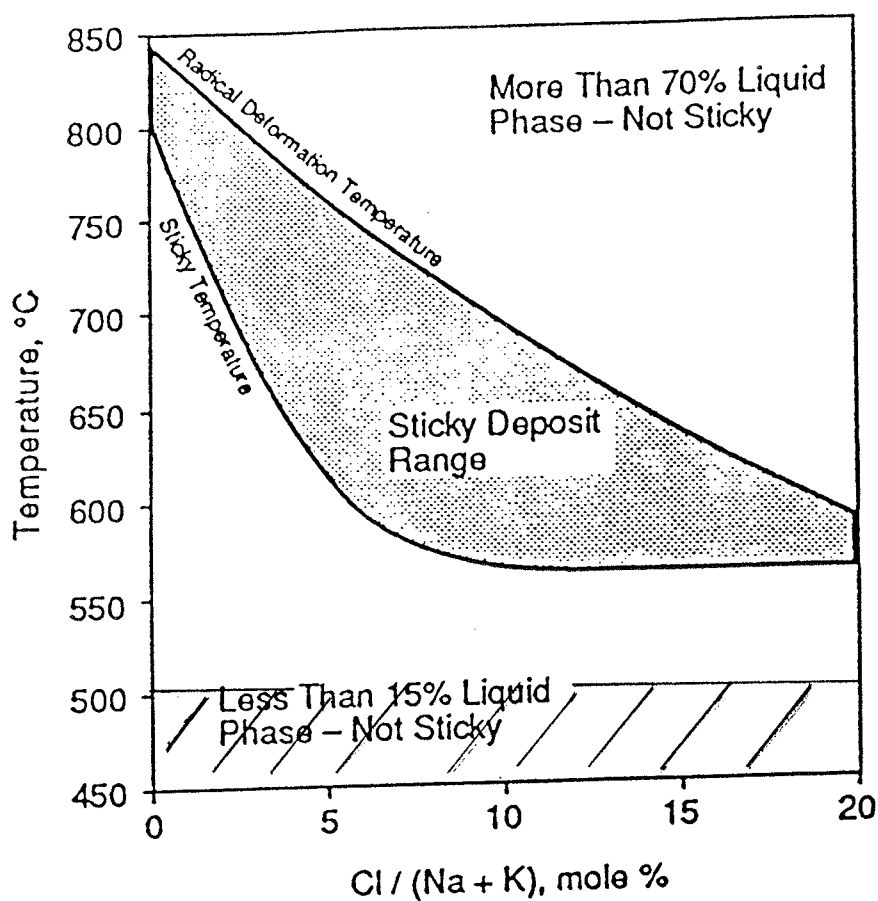
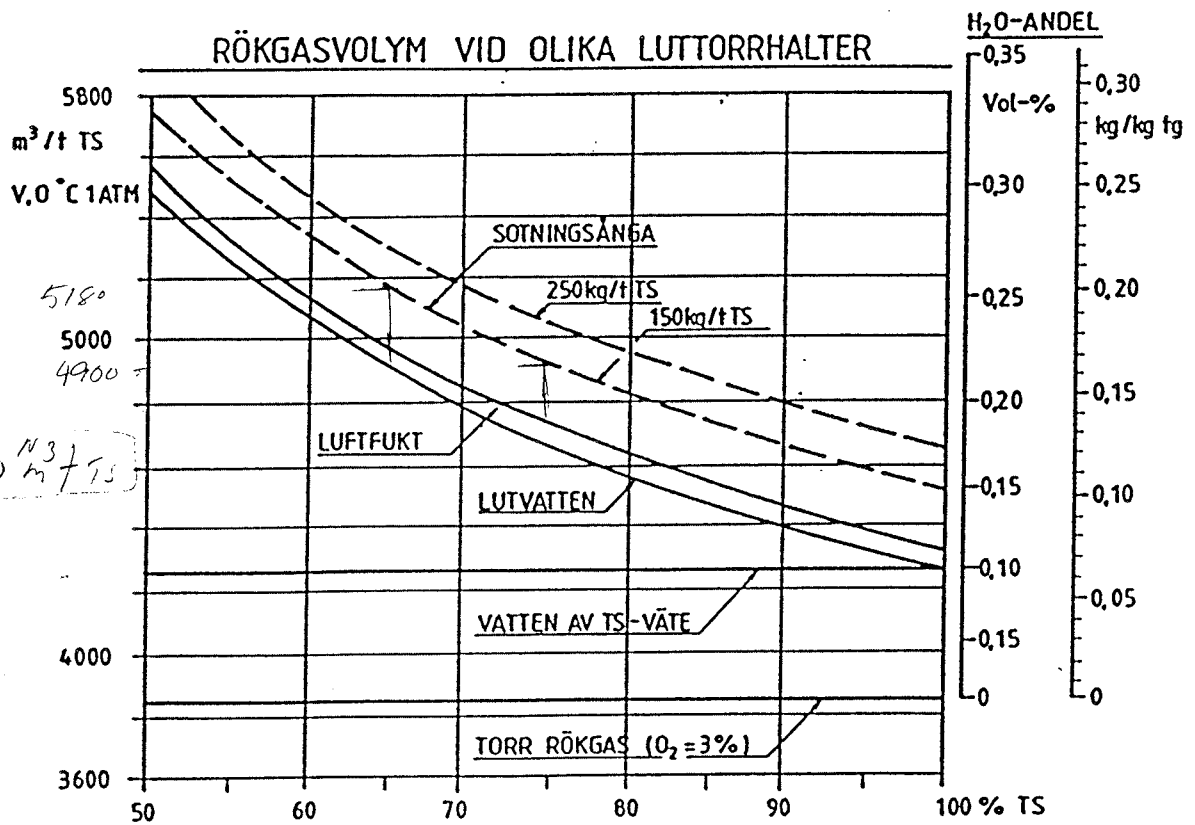


Figure 21 - Effect of Cl on the range of temperatures which produce sticky deposits. $K/(Na + K) = 5$ mole%. (From reference 25).

CARRY OVERIN MÄÄRÄÄN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

1. SAVUKAASUN VISKOSITEETTI
(LÄMPÖTILAN NOSTO)
2. SAVUKAASUN TIHEYS
(LÄMPÖTILAN NOSTO)
3. LIPEÄPISAROIDEN TIHEYS
4. LIPEÄPISARAN KOKO
5. TULIPESÄN ALAOSAN KAASU-
VIRTAUS
6. LIPEÄ- JA ILMASTEEMI



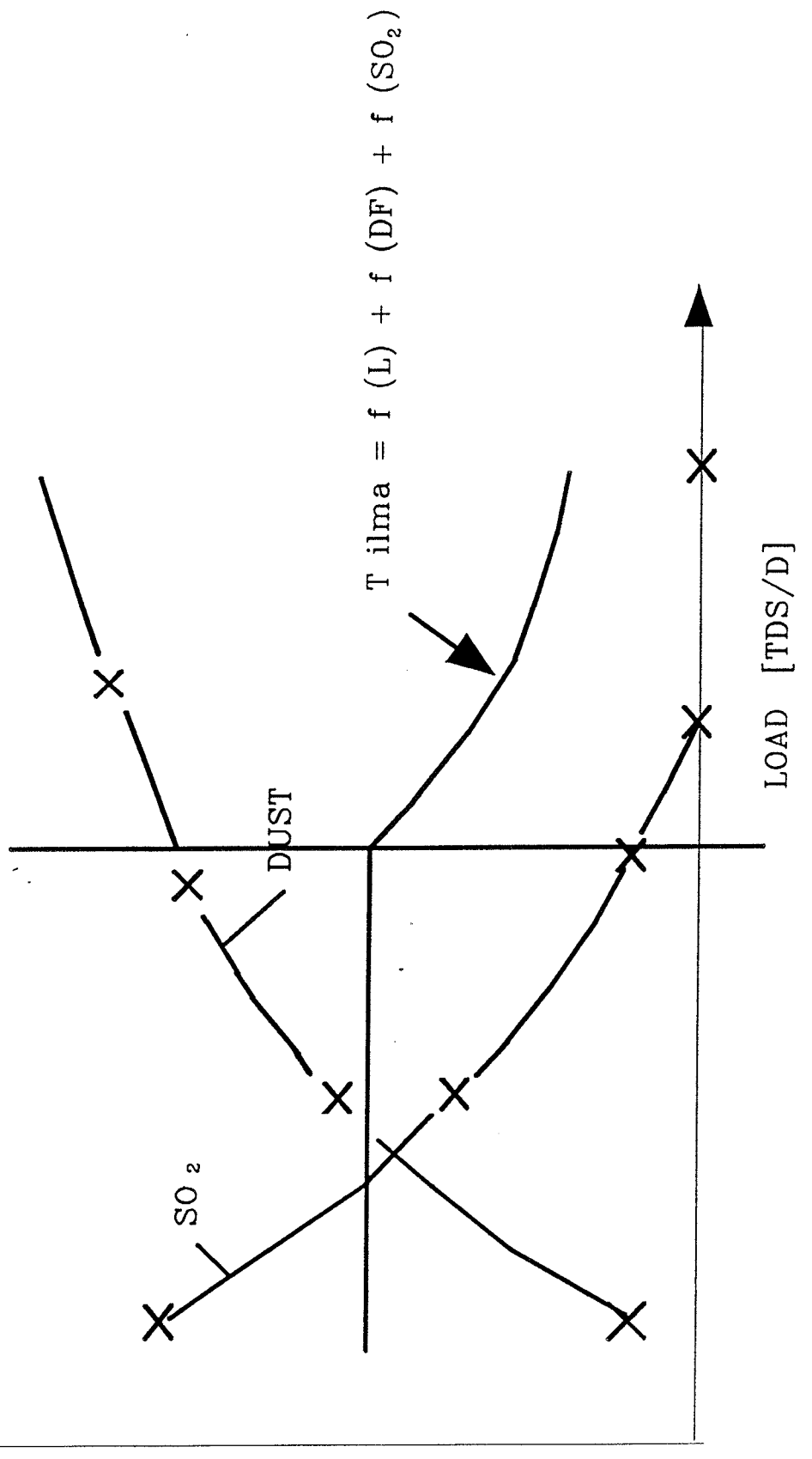
1180
1100
270

1450
1370

1180
270
1100
270

COMBUSTION AIR TEMPERATURE CONTROL

SO₂, DUST FLOW, AIR TEMPERATURE



Liite 9

SOOTBLOWING CONTROL

