

ETY-Soodakattilavaliokunta

SOODAKATTILAPÄIVÄ 1989
TFiF, Helsinki, 26.10.1989

EV-94076Q-901-11

EV-94076Q-910
ETY-Soodakattilavaliokunta
Soodakattilapäivä 1989, ohjelma

AIKA 26.10.1989 klo 8.00 -

PAIKKA TFIF, Yrjönkatu 30, Helsinki
Hotelli Torni, Yrjönkatu 26, Helsinki

PUHEENJOHTAJAT Liva Söderhjelm, Oy Keskuslaboratorio Ab, Espoo
9.00 - 12.30

Tapani Ruotsalainen, Kemi Oy, Kemi
14.00 - 17.30

OHJELMA

8.00-9.00 Ilmoittautuminen ja aamukahvi

9.00-9.05 Kokouksen avaus, Olavi Vapaavuori, ETY, toimitusjohtaja

9.05-9.50 VTT-JALO-projekti
Allan Johansson, VTT-Polttoainejalostustekniikan laboratorio,
Espoo

Yleisesitys VTT:n JALO-projektista sisältäen mm. seuraavaa:

1. Mustalipeän konversioprosessit
 - nestefaasissa tapahtuva lämpökäsittely
 - paineistettu kaasutus
 - päämääränä kaasuturbiiniin soveltuvan polttoaineen kehittäminen
2. Paineistetun kaasutuksen koelaitteisto 1989-1990

9.50-10.00 Tauko

- 10.00-10.45 Modeling of black liquor droplet combustion,
James Frederick, Oregon State University, U.S.A (vierailevana
professorina Åbo Akademiassa Turussa)
1. Liquor droplet combustion
 - drying
 - pyrolysis
 - char burning
 2. Mathematic modeling of combustion
- 10.45-11.30 Soodakattilan polttoprosessin mallintaminen,
Reijo Karvinen, Tampereen Teknillinen Korkeakoulu, Tampere
1. Polttoprosessi
 - tulipesävirtaukset
 - yksittäisen pisaraa käyttäytyminen
 2. Numeeriset virtausmallit
 - päävirtaukset
 - lämpötilajakauma
 - pisaroiden kulkureitit
- 11.30-11.45 Tauko
- 11.45-12.30 Soodakattilan erikoismittaukset,
Pentti Tolonen, Veitsiluoto Oy, Kemi
1. Yleistä
 2. Vedet
 - liuennut happi
 3. Lipeä
 - kuiva-aine
 - viskositeetti
 4. Palaminen
 - tulipesän lämpötila
 - tulipesäkamerat
 5. Savukaasut
 - happi
 - hiilimonoksidi
 - rikkidioksidi
 - rikkivety
 - pöly
 6. Tarkistusmittaukset
 7. Kunnossapito
- 12.30-14.00 Lounas

- 14.00-14.45 Kattila-automaation toteutustekniikka käyttäjän kannalta
Tapani Ruotsalainen, Kemi Oy, Kemi
1. Kattilasuojan toteutustekniikka
 2. Automaation ohjausten periaate ja varmennukset
 3. Automaation sähkösyöttö
 4. Automaatiojärjestelmiä koskevat erityismääräykset
standardiehdotuksessa PAL 420
- 14.45-15.30 Soodakattilan ylemmän tason ohjaukset
Mauri Loukiala, Oy Tampella Ab, Tampere
1. Ylemmän tason ohjauksien suunnittelun perustiedot
 - yksittäiset tutkimukset eri osa-alueilla
 - prosessituntemus
 - säätötekniikan kehitys
 2. Ohjausstrategiat em. seikkojen perusteella
- 15.30-16.00 Kahvi
- 16.00-16.45 Automaattiset kunnonvalvontajärjestelmät,
Erkki Koskela, A.Ahlström Osakeyhtiö, Varkaus
1. Kunnonvalvonta osana toimintakokonaisuutta
 - suunnittelutoiminta
 - kunnonvalvonta
 - prosessin ohjaus
 - prosessi
 2. Kunnonvalvonta
 - 2.1 Laitekunnonvalvonta
 - laitetiedot
 - varaosatiedot
 - huolto-ohjeet
 - 2.2 Rakennekunnonvalvonta
 - valmistuksen aikainen
 - käytön aikainen
 - 2.3 Prosessikunnonvalvonta
 3. Tietotekniikka kunnonvalvonnassa
 - 3.1 Yleisesti
 - 3.2 Rakennekunnonvalvonta
 - laitteet
 - ohjelmistot
 - liittynät muuhun kunnonvalvontaan
 4. Kattilatoimittajan palvelut kunnonvalvonnassa
 - esimerkkinä kohdan 3.2 rakennekunnonvalvonta

16.45-17.30

Tarkastus- ja kunnonvalvontamenetelmien käyttö soodakattiloiden
compound-putkivaurioiden havaitsemiseen,
Hannu Hänninen, VTT-Metallilaboratorio, Espoo

1. Compound-putkien erilaiset vauriotyypit

- hitsausliitosten jännityskorroosiomurtumat
voimakkaasti sekoittuneessa hitsiaineessa
- sisäiset säröt hitsiaineessa
- termoshokki/jännityskorroosiosäröt compound-
putkien pintakerroksessa
- haurastuminen

2. Tarkastusmenetelmät

2.1 Seisokin aikaiset

- radiografinen kuvaus
- ultraääni
- Barkhausen-kohinamittaus

2.2 Käytön aikaiset

- akustinen emissio

3. Putkien paksuusmittausten luotettavuus

17.30-18.30

Siirtyminen Hotelli Torniin

18.30-

Päivällinen Hotelli Tornissa

EV-94076Q-910
ETY-Soodakattilavaliokunta
Soodakattilapäivä 1989

LUENNOITSIJAT YRITYS	LUENNOITSIJA	KOKOUS	PÄIVÄLLINEN	MAJOITUS
VTT-Polttoainejalostustekn. lab. Espoo	Allan Johansson	x	x	
Oregon State University, U.S.A/ Åbo Akademi, Turku	James Frederick	x	x	x
TTKK, Tampere	Reijo Karvinen	x	x	x
Veitsiluoto Oy, Kemi	Pentti Tolonen	x	x	x
Oy Tampella Ab, Tampere	Mauri Loukiala	x	x	x
Kemi Oy, Kemi	Tapani Ruotsalainen	x	x	x
A.Ahlström Osakeyhtiö, Varkaus	Erkki Koskela	x	x	
VTT-Metallilaboratorio, Espoo	Hannu Hänninen	x	x	

OSANOTTAJAT YRITYS	OSALLISTUJA	KOKOUS	PÄIVÄLLINEN	MAJOITUS
A.Ahlström Osakeyhtiö, Varkaus	Tapani Karttunen Tapio Nyyssönen Raimo Paju Harry Rickman Jorma Simonen Liisa Simonen Pekka Varneslahti	x x x x x x x	x x x x x x x	x x x x x
EKONO Oy, Helsinki	Karri Airola Christian Herrmann Kyösti Koskinen Hannu Maskuniitty Dietrich Oehlandt Seppo Pietilä Erik Uppstu	x x x x x x x	x x x x x x x	
Enso-Gutzeit Oy, Energiatalousos.,Imatra	Matti Ijäs	x	x	x
Enso-Gutzeit Oy, Kaukopää, Imatra	Kosti Homanen Juha Kosonen	x x	x x	x x
Enso-Gutzeit Oy, Kotka	Jukka Mikkonen Jukka Puhakka Matti Takala	x x x	x x x	x x x
Enso-Gutzeit Oy, Tainionkoski, Imatra	Esko Paananen Hannu Pörsti	x x	x x	x x
Enso-Gutzeit Oy, Varkaus	Kauko Hellstén Matti Lehtinen	x x	x x	x
ETY, Helsinki	Olavi Vapaavuori Asmo Rantanen	x x	x x	
Joutseno-Pulp Oy, Joutseno	Jukka Veitola Jorma Viinikainen Matti Mäkelä	x x x	x x x	x x x
Oy Keskuslaboratorio Ab, Espoo	Liva Söderhjelm	x		
Kemi Oy, Kemi	Pauli Harila Keijo Imeläinen	x x	x x	x x
Kymmene Oy Kaukas, Lappeenranta	Juha-Pekka Juuti Hannu Kytö Olavi Linnapuomi	x x x	x x x	x x x
Kymmene Oy, Kuusankoski	Juha Kouki Pentti Nokelainen	x x	x x	x x

20.10.1989

3

Kymmene Oy Schauman, Pietarsaari	Stig Nickull Lars-Martin Wikström	x x	x x	x x
Oy Metsä-Botnia Ab, Kaskinen	Jouko Kurola	x	x	x
Oy Metsä-Botnia Ab, Äänekoski	Reijo Kiuru Timo Merikallio Osmo Niemitalo	x x x	x x x	x x x
OTSO Keskeytysvakuutus Oy, Helsinki	Esa Ilves Esa Penttilä	x x	x x	
Rauma-Repola Oy, Pori	Kauko Tattari	x	x	x
Rauma-Repola Oy, Rauma	Juhani Kinnunen Jari Virtanen	x x	x x	x x
Sunila Oy, Sunila	Pekka Manninen Seppo Nikula	x x	x x	x x
Oy Tampella Ab, Heinola	Rainer Kokemäki	x	x	
Oy Tampella Ab, Tampere	Kari Kuukkanen Lasse Mannola Marko Mäkinen Jussi Mäntyniemi Tuomo Ruohola	x x x x x	x x x x x	x x x x x
Teollisuusvakuutus Kesk. Yhtiö, Helsinki	Jarmo Gillberg	x		
Veitsiluoto Oy, Kemi	Teuvo Poikela	x	x	
Veitsiluoto Oy, Kemijärvi	Seppo Martikainen Antero Raassina	x x	x x	x x
Veitsiluoto Oy, Oulu	Reijo Paavola	x	x	x
Yhtyneet Paperitehtaat Oy, Valkeakoski	Olavi Aaltonen Erkki Pohja	x x	x x	x x
OSANOTTAJAT YHTEENSÄ		63	61	46
LUENNOITSIJAT YHTEENSÄ		8	8	5
YHTEENSÄ		71	69	51

THE FINNISH NATIONAL RESEARCH PROGRAM ON BLACK LIQUOR CONVERSION

Paterson McKeough, Allan Johansson and Kari Saviharju

Laboratory of Fuel Processing Technology
Technical Research Centre of Finland

A significant part of the recently-initiated JALO fuel conversion research program is devoted to research on black liquor conversion. This effort, carried out to a large extent at the Technical Research Centre of Finland (VTT), receives about 80 % of its funds from the public sector, in particular from the Finnish Ministry of Trade and Industry. The rest of the funds are provided by Finnish industrial companies, both equipment manufacturers and pulp producers. The yearly budget is currently running at 4,4 million FIM/a enabling an effort of approximately 8 man-years/a. The general aim of this research is to broaden and develop the knowledge necessary for the development of alternative black liquor conversion processes.

The research is concentrating on two specific technologies, liquid-phase thermal treatment and pressurized gasification. Of particular interest is the application of these technologies to the production of gas turbine fuel for use in combined-cycle power generation. A kraft recovery process integrated with a combined-cycle power plant offers the following potential advantages compared to conventional technology:

- higher ratio of electricity to process heat in energy production
- smaller investment costs
- reduced emissions
- improved plant safety

Note that, in integrated pulp and paper mills, the first advantage would generally mean a substantially reduced demand for purchased power. In Finland, where about 7 % of the total energy production has its origins in black liquors, a substantial amount of additional electricity could be produced in combined-cycle plants fuelled by black liquor.

The Laboratory of Fuel Processing Technology at the Technical Research Centre of Finland (VTT) has significant expertise in many areas related to the thermochemical conversion of black liquors and biomass. An alternative kraft recovery process based on liquid-phase thermal treatment has been under development at VTT since 1984. Another significant research effort has centred on the pressurized gasification of peat and biomass. This effort has included experimental studies on a 300 kW pressurized test rig located at our laboratory. Fundamental studies on the pyrolysis and combustion of black liquor and biomass have also been undertaken, some of these in cooperation with the Department of Chemical Engineering at Åbo Akademi (M. Hupa, et al). In fact, the Åbo Akademi group is actively involved in the new project as well.

The VTT liquid-phase treatment process for black liquor is, in many ways, similar to the well-known St. Regis Hydropyrolysis Process, the essential difference being that in the VTT process, the organic-phase product is a liquid. This difference constitutes a significant advantage in favour of

the VTT process, especially when the objective is, as it is the current project, to upgrade this primary product into a gas turbine fuel. Product upgrading is, in fact, the most important research topic in this part of the project, where the experimental studies will be largely conducted on the bench scale.

Research on the pressurized gasification of black liquor includes topics of both a fundamental and an applied nature, the former reflecting the lack of previous knowledge in this area. Fundamental studies currently under way include:

1. Studies at VTT, including single-drop thermobalance experiments, bench-scale fluidized-bed pyrolysis and gasification tests, studies on reactor materials and prestudies on chemical recovery after gasification.
2. Studies at Åbo Akademi, covering equilibrium calculations, tests in a single-drop furnace, and tests on a pressurized thermobalance.

In later phases of the project the gasification research will concentrate on experiments in a pressurized tests rig at VTT. This rig, to be designed and constructed during 1989 and early 1990, will have a capacity of about 60 kg/h black liquor solids (about 200 kW) and will be capable of operation up to a pressure of 50 bar. The gasifier will be of novel design, incorporating a reactor located in a separate pressure vessel. This will permit reactor modifications to be readily made. The gasification research will focus on temperatures below the melting point of the inorganic phase formed during black liquor gasification. Product gas clean-up will also be studied over a wide temperature range. At the current time the design of the test rig is well advanced and the gasifier pressure vessel is under construction.

MODELING OF BLACK LIQUOR DROPLET COMBUSTION

by

W. J. Frederick
Department of Chemical Engineering
Oregon State University
Corvallis, OR, USA
and Visiting Professor
Åbo Akademi
Department of Chemical Engineering
SF-20520 Turku, Finland

T. Noopila, and M. Hupa
Åbo Akademi
Department of Chemical Engineering
SF-20520 Turku, Finland

Presented at the Soodakattilapäivä 1989, Helsinki, November 26, 1989.

Introduction

Recovery boilers are often called the heart of the pulp mill. Certainly they are a key part of the chemical recovery cycle, and are also the most expensive unit in the pulp mill.

A great deal of effort has been made in the last fifteen years to understand recovery boilers better. Much of this has been in research on such topics as recovery boiler chemistry, combustion fundamentals, and black liquor properties. More recently, there has been much activity in modeling of recovery boilers.

An important question is why is this fundamental recovery boiler research and modeling needed? The answer is because there are many important problems with recovery boilers which need to be solved. These include

- Optimal boiler design
- Capacity limitations
- Deposits and plugging
- Corrosion
- Emissions

Some of the key questions which the researchers address are

- Why do liquors burn differently?
- How coarse/fine should spray be?
- How should air be delivered?
- How can fume and sulfur release be controlled?

The research on recovery boilers goes on world-wide. Table 1 shows some of the research activities which are ongoing in both Finland and the U.S. There are similar activities in Canada as well, notably in combustion fundamentals (at PAPRICAN) and in recovery boiler chemistry (at the University of Toronto).

Table 1. US/Finland Common Research Interests in Recovery.

Activity	Where research is done in	
	U.S.	Finland
Research		
Combustion fundamentals	IPC (Appleton) ¹	Åbo Akademi
Black liquor properties	U. of Florida	Oy Keskuslaboratorio Ab
Nozzles and droplet formation	U. of Maine, IPC (Appleton) ¹	
Recovery boiler chemistry	IPC (Appleton) ¹	Åbo Akademi
Modeling of recovery boilers	IPC (Appleton) ¹ /Oregon State U.	Åbo Akademi
Leadership/Funding	U.S. Department of Energy	LIEKKI

¹ Formerly the Institute of Paper Chemistry in Appleton, Wisconsin, USA, but now the Institute of Paper Science and Technology in Atlanta, Georgia, USA.

What Recovery Boiler Modeling Is

Recovery boiler models falls into two categories, physical models and numerical models. Physical models are used to determine the flow patterns in recovery boilers. Problems with air flow and mixing can frequently be solved this way. The manufacturers of recovery boilers often work with physical flow models. Other groups who are active in physical modeling of flows are Weyerhaeuser Company and Professor Collin's group at the Royal Institute of Technology (KTH) in Stockholm.

Numerical models are used to calculate what happens in a recovery boiler. The models can be flow models only, or can include the combustion processes and heat transfer as well. We often refer to large-scale models as *global* recovery boiler models because they include all aspects of the combustion and heat transfer processes.

Figure 1 shows what is needed to model a recovery boiler numerically, and what is calculated. Today's numerical models predict furnace temperatures, heat fluxes, entrainment, and the concentrations of the major components in the flue gas. They cannot yet predict fuming rates or H₂S and SO₂ concentrations accurately, have inadequate droplet combustion models. They are also quite slow, and can require days or weeks for one recovery boiler simulation. However, both the models and the calculation speed are being improved, and these models will probably be used extensively for boiler design and optimization within the next five years.

Why Model Recovery Boilers?

There are three good answers to this question:

- to answer questions which can't be answered easily by testing on full size recovery boilers
- to guide the design of recovery boilers
- to assist in controlling recovery boilers

The work I will discuss today is a joint research project between three research centers in Finland and the U.S.: Åbo Akademi, the Institute of Paper Science and Technology, and

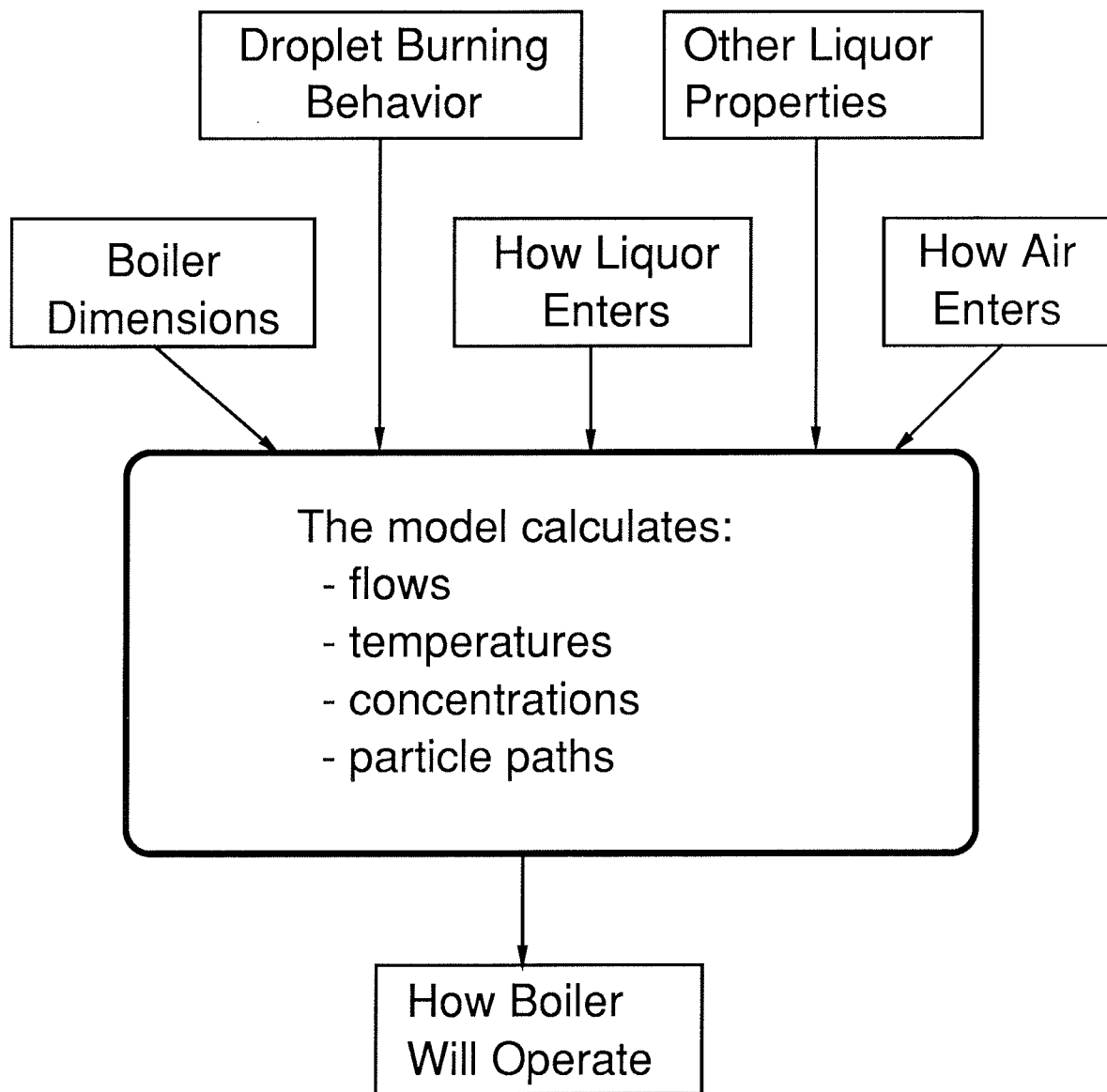


Figure 1. How a recovery boiler is modeled.

Oregon State University. This project came about because of a need for a good numerical description of the droplet combustion process. There has been much effort to develop global recovery boiler models, both at Appleton (Walsh et al., 1989) and at TTKK in Finland (Uppstu et al., 1989). Two weak areas in these models are the droplet combustion and combustion chemistry descriptions, or unit process models. The most critical need was a good numerical description of the droplet combustion process. Since the best data base available on black liquor droplet combustion is at Åbo Akademi, it became a logical place to base the project. A data base was also available at the Institute of Paper Science and Technology, and much of the modeling work has gone on there. While at Oregon State University and before that, one of us (Frederick) had had experience with recovery boilers and with process modeling. So the project became a cooperative effort between the three organizations.

A Description of Droplet Burning

The objective of this work is to describe the combustion of droplets as they go through the furnace. The description must, of course be put into numerical form (equations) so that it can be used in the large-scale, global recovery boiler models.

The starting point for the droplet burning model is to divide the process into stages. Hupa et al. (1982,1985) first defined the four stages of combustion for black liquor droplets. Figure 2 shows the stages.

Hupa, Solin, and Hyöty (1985) also reported that the droplets swelled during the drying and volatiles burning stages of combustion, and that swelling was different in the two stages. Figure 3 shows how a droplet of a typical kraft liquor swells and shrinks during the combustion process. The droplet swelled a little during drying, and much more during volatiles burning. More has been learned about swelling since then (Frederick, Noopila, Hupa, 1989) and this work continues at Åbo Akademi.

Two key criteria for the droplet burning model were that

1. it predicts accurately the time required for each burning stage, and
2. the calculations be done rapidly so that the overall calculation time for the global models would be reasonable.

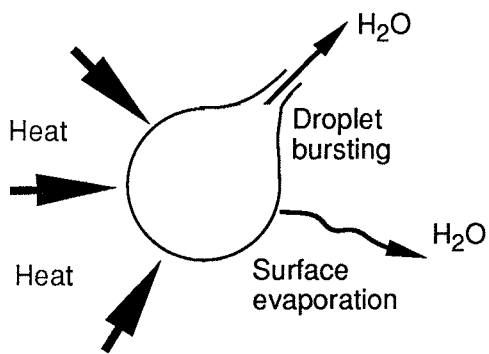
With the second criteria, it became important to use as simple a description as possible of the combustion stages. As an example, the drying stage model concept is shown in Figure 4. Drying is treated as a heat transfer process, and water is assumed to evaporate as quickly as heat is supplied.

With this description of the droplet drying stage, the drying time depends mainly on the size of the droplet, its initial solids content, and how much the droplet swells during drying. Experimentally, we observe the end of the drying stage to be when the droplet ignites. The droplet may not be completely dry then, and the drying time may depend also on liquor-specific ignition conditions.

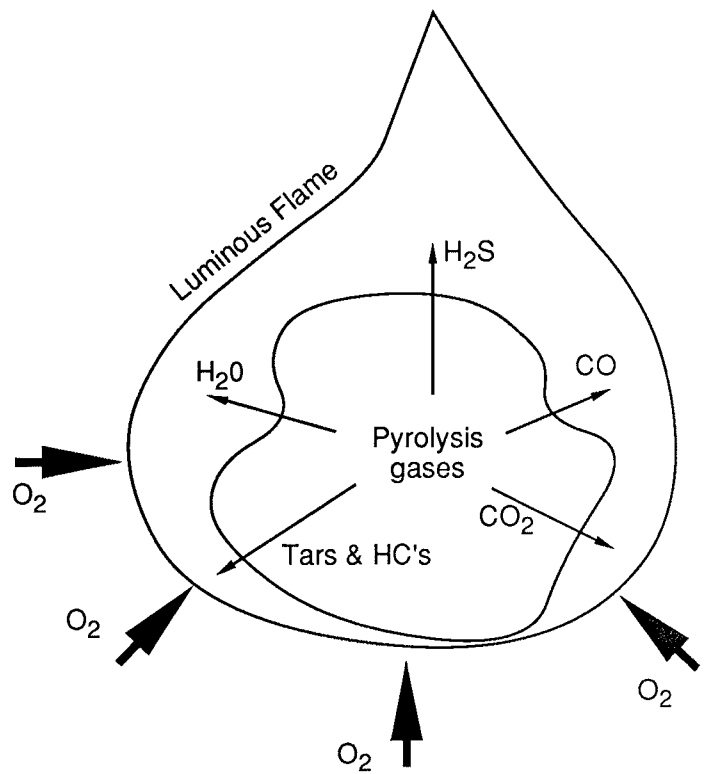
With the extensive droplet burning data base available at Åbo Akademi, it is possible to test the models with experimental data. Figure 5 shows that the model predicts accurately the drying time for a kraft liquor.

Similar models for the volatiles burning and char burning stages have been developed and tested. Because of time limitations, I will not discuss these results in detail today. The results are similar to those in Figure 5. All three droplet burning models are discussed in detail in a paper presented this year at the International Chemical Recovery Conference (Frederick et al., 1989).

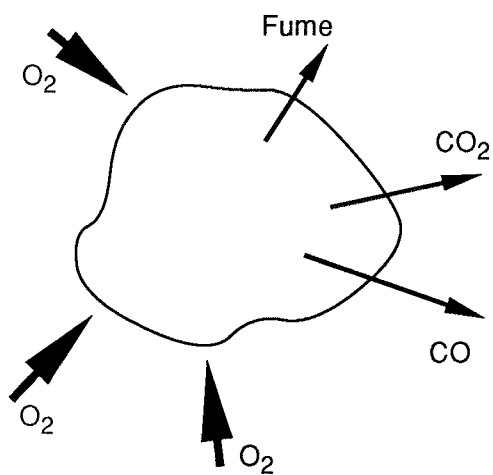
Drying



Devolatilization



Char Burning



Smelt Coalescence

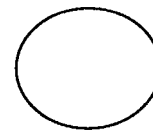


Figure 2. Black liquor droplet burning stages (Adams and Frederick, 1988).

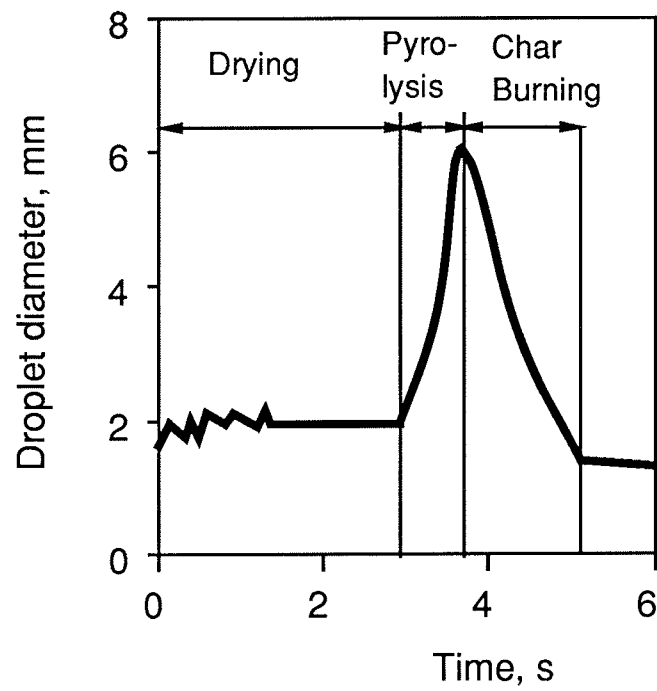
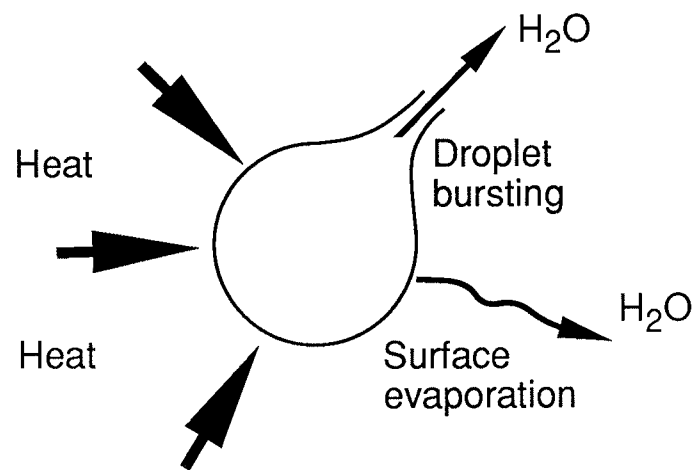


Figure 3. Droplet diameter versus time during burning of a kraft liquor droplet. 61% initial solids content, 700°C furnace temperature, in air. From Hupa et al., 1985.

Figure 4. A simple model for the drying stage



Water evaporates as fast as heat is supplied

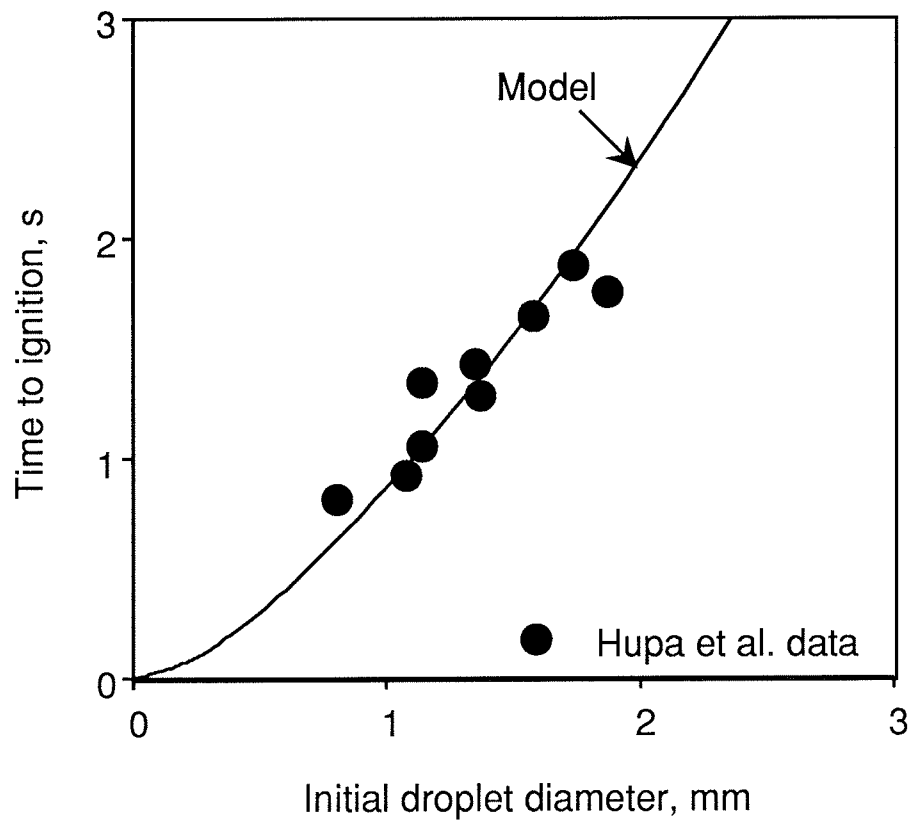


Figure 5. Drying time versus droplet size for a kraft liquor (Hupa, Solin, Hyöty, 1985)

There are three liquor-specific parameters which must be used as inputs to the droplet burning models:

- swelling factor during drying
- swelling factor at maximum volume
- volatiles fraction of the black liquor solids

Two of these parameters depend both on the particular liquor being burned and on the furnace environment. It is important to evaluate these parameters from experimental data, and this work is currently going on at Åbo Akademi. For example, Figure 6 shows how the maximum swelling varies for different pulping liquors. Alkaline liquors swell a great deal, more than neutral or acid liquors. But more noticeable is the difference *between* the alkaline liquors. Maximum swelling is clearly a liquor-specific parameter, and the current research at Åbo Akademi is addressing this question.

Key Results from the Modeling and Experimental Work

One objective of the modeling work was to provide a description of droplet burning for global recovery boiler models. A second was to use the numerical droplet burning model itself to better understand the experimental results on droplet combustion. The following are some of the key results which we have found.

Char burning takes the longest time. In Figure 7, we see that char burning takes much longer than either drying or volatiles burning. The burning times are experimental data, and are the time per milligram of black liquor solids. Black liquor droplets vary widely in size, typically 0.5-5 mm in diameter (0.1 to 80 mg) within the spray in any recovery boiler (Adams and Frederick, 1988).

Droplets do not burn much differently at high solids than they do at lower solids contents. Between 55 and 85% solids content, the volatiles burning times in Figure 7 are the same. The char burning times decrease by about 15% over this range. The drying times decrease because there is less water to be evaporated at higher solids contents.

High solids does not affect swelling during volatiles burning either. In Figure 8, there is no significant difference in the amount of swelling between 55% and 85% solids content.

Differences in swelling during the drying and volatiles burning stages can have a large effect on the flight path of droplets in a boiler. Global recovery boiler models are needed to predict the actual path of droplets in a recovery boiler. However, we can see how differences swelling affect a droplet's trajectory by making simpler calculations.

Before looking at some of the droplet trajectories, let us first look at the gas flow pattern in a boiler. Figure 9 shows the main features of the gas flow pattern. There is a high velocity gas channel in the boiler, and large, slow recirculation zones next to the walls. The channel may occupy as little as 20% of the boiler cross-section. Its actual location depends on the boiler design and operating conditions. Although the average upward gas velocities in the furnace are 3-5 m/s, the velocity in the central channel can be 25 m/s (Adams and Frederick, 1988).

Figures 10-13 show how droplet flight paths (trajectories) are influenced by differences in swelling either during drying or volatiles burning. The figures show the path a droplet follows after it enters a furnace if the gas velocity is uniform and upward across the whole furnace. The gas flow pattern in a recovery boiler is much different than this, and these figures are not intended to show how a particle moves in a recovery boiler. They show only how swelling differences can affect the droplet path.

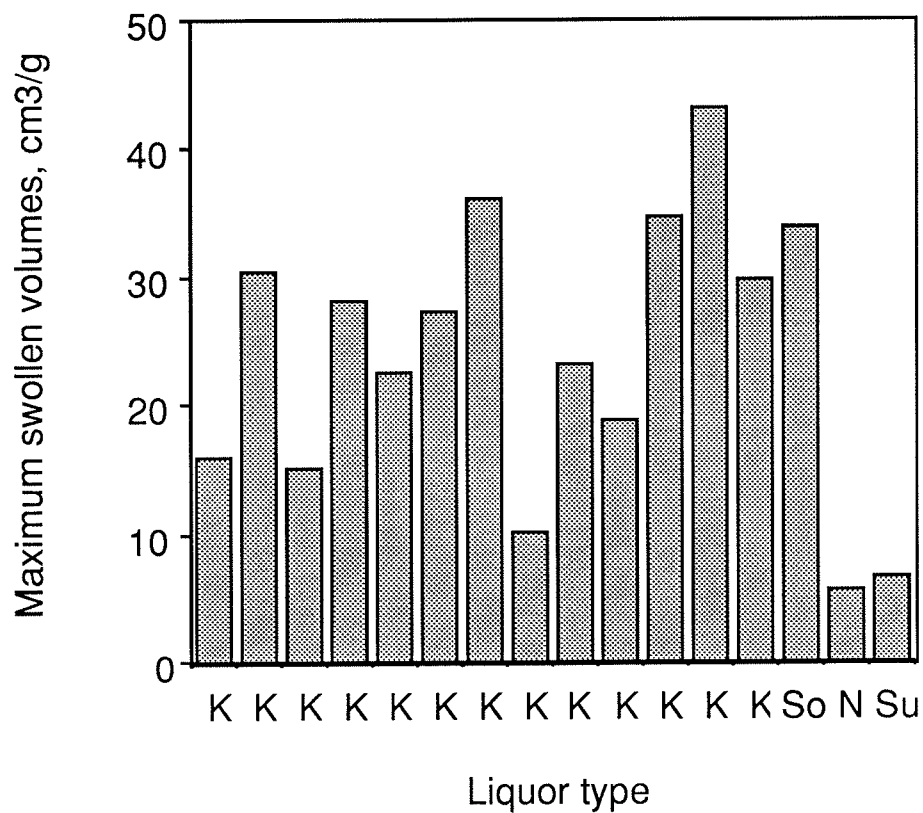


Figure 6. Maximum swollen volumes for 16 liquors (Noopila and Hupa, 1988). Liquor types are: K = kraft, So = soda, N = neutral sulfite semichem, Su = sulfite.

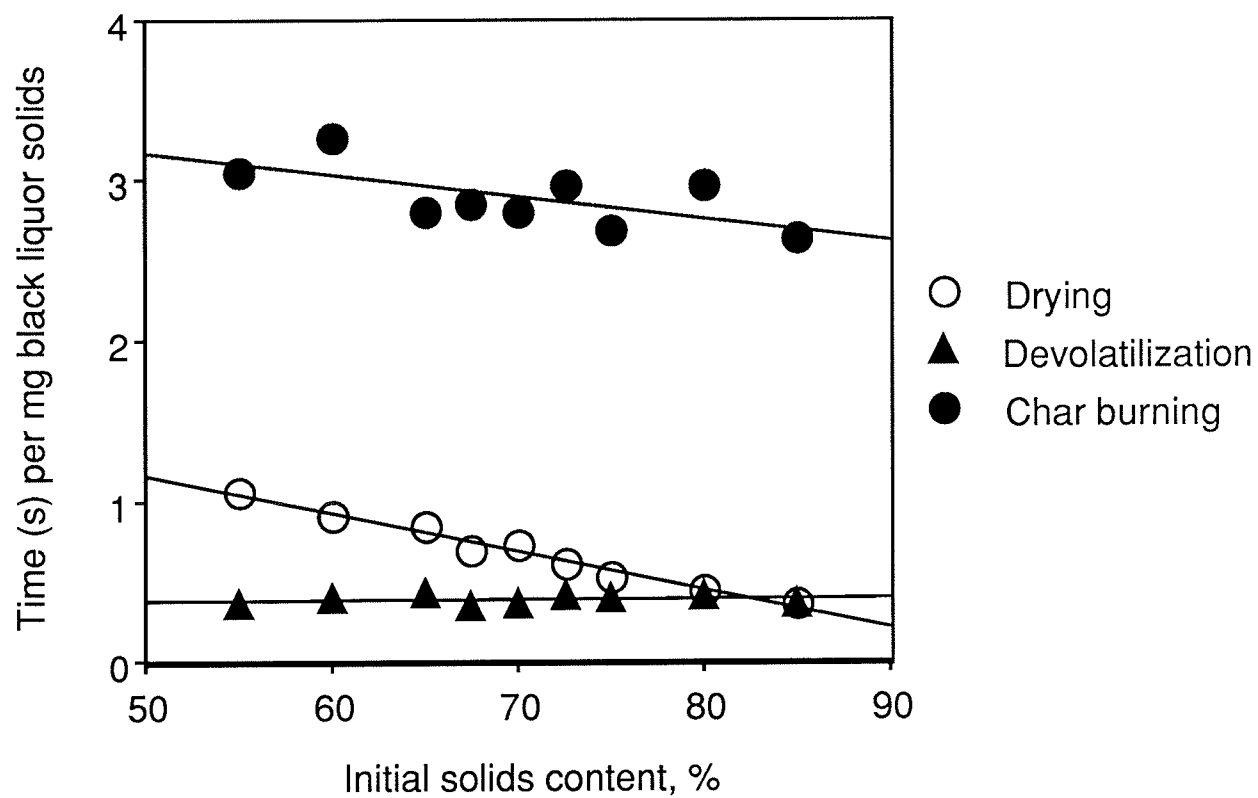


Figure 7. Droplet burning times for a pine kraft liquor (Noopila, 1989).

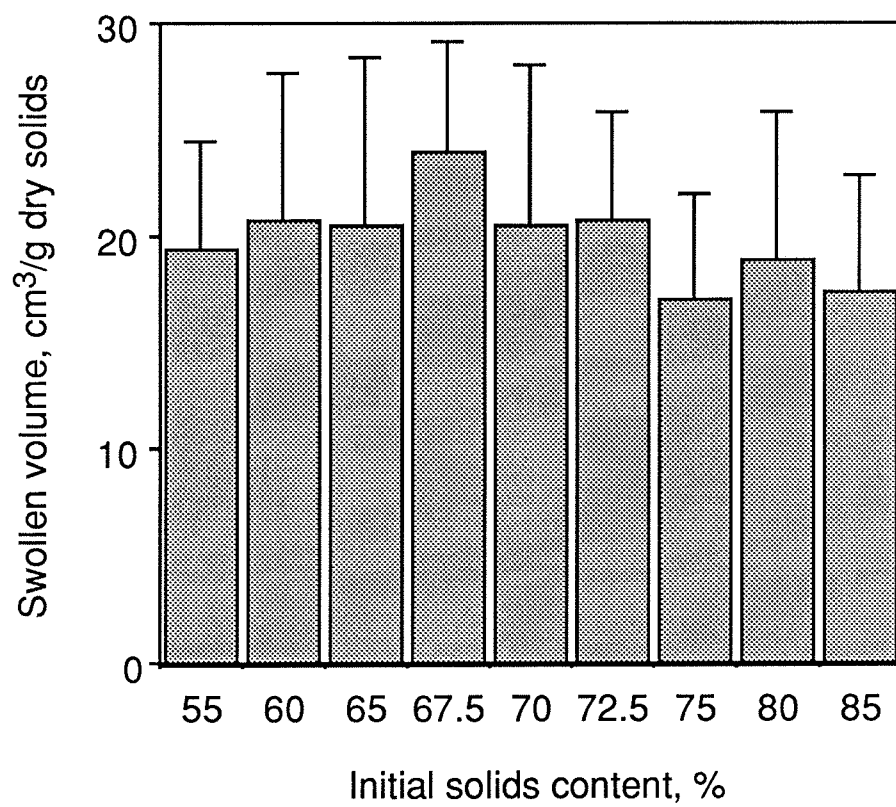


Figure 8. Swollen volumes for a kraft black liquor (Noopila, 1989).

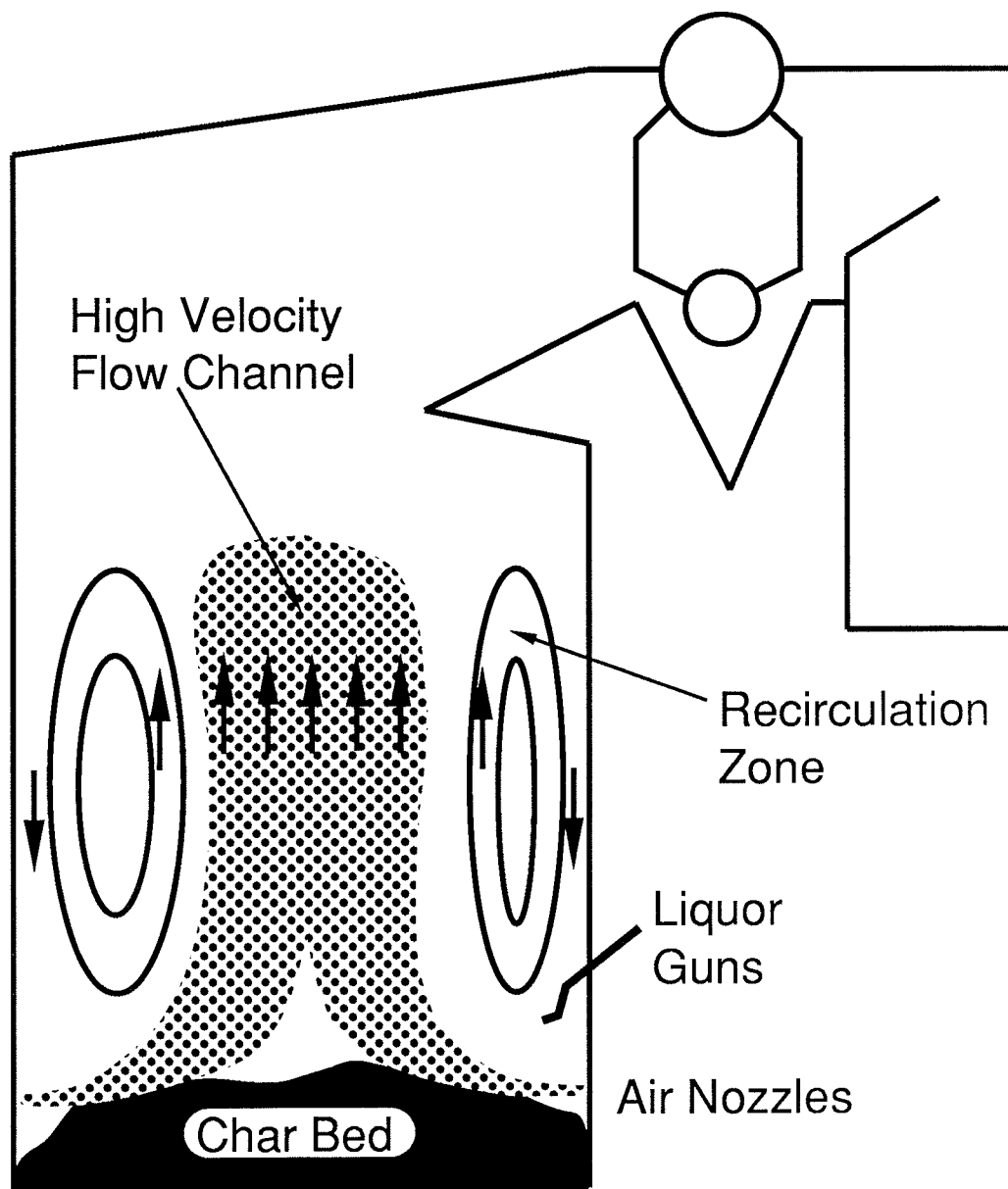


Figure 9. Flow channel development in a recovery furnace.
(Adams and Frederick, 1988)

Figure 10 shows calculated droplet flight paths for three droplets which swell differently during drying. The *direction* of flight during drying is not affected by differences in swelling during drying. The main difference is the point at which the droplets become dry. This can be seen in Figure 10 as the point where the trajectories depart from a smooth, downward curving trajectory and start to move upward. These are 1.5 mm droplets (initial diameter). Larger droplets behave similarly during drying.

Figure 10 suggests that droplets which swell less during drying will move closer to the char bed while drying, all other factors being equal. Large droplets of liquors which swell poorly during drying are more likely to reach the char bed wet, causing blackout problems. These liquors may need to be fired as smaller droplets.

Figure 11 shows how swelling during volatiles burning affects the droplet flight path. The main effect is where volatiles burning takes place in the furnace. Figure 11 suggests that droplets which swell more will follow the gas flow more closely, all other factors being equal. This means that the temperature profile in a furnace may depend on the swelling characteristics of the liquor being fired. Swelling during drying was assumed to be the same for all four liquors, so the droplet flight paths begin to turn upward at the same point.

The trajectories in Figure 11 are for 1.5 mm droplets. As droplet size increases, the peak during volatiles burning becomes less pronounced. 3 mm droplets do not turn upward and go through a peak at the gas velocity used in these calculations. At higher velocities, they do, however.

As discussed earlier, the velocity distribution in a recovery boiler is not uniform, but is higher near the center of the furnace cavity. If the upward gas velocity exceeds the terminal velocity of the particle as it exits the furnace chamber, then the particle will be carried over. Figure 12 illustrates this effect.

It would seem that droplets which swell more are more likely to be entrained and carried out of the furnace cavity. However, there is a tradeoff between swelling and burn time as they affect entrainment. Liquors which swell more tend to be entrained more easily. They also burn out faster, becoming a dense smelt bead (which is more difficult to entrain) more quickly. This combined effect of swelling and gas velocity is illustrated clearly by the two curves for 10 m/s gas velocity in Figure 12. The droplet which swells less during volatiles burning is actually higher in the furnace at burnout. Thus, liquors which swell a lot may be less of an entrainment problem than poorer swelling liquors. Entrainment problems from droplets which do not burn out before reaching the pendant heat transfer regions may instead be a result of poorly swelling liquors and high upward velocity regions in the recovery furnace. Note that the droplets in Figure 12 are larger (initially 2.2 mm in diameter) than in the previous figures.

If the droplets do not move into the high velocity central channel, then the effect of swelling during volatiles burning is more dramatic. Figure 13 shows the droplet flight paths in a 5 m/s upward gas flow. The droplets of the poorer swelling liquors never move upward in this gas flow. The droplets in this figure are also initially 2.2 mm in diameter.

Summary

Modeling of combustion processes is useful because it allows us to substitute inexpensive calculations for some of the very expensive pilot or full-scale testing to guide the design, optimization, and control of recovery boilers. It also helps us to interpret fundamental experimental data in terms of recovery boiler operations.

With respect to a droplet burning model, we are now able to numerically describe droplet behavior during combustion, and to verify that the droplet burning stage models are accurate by testing them with experimental data.

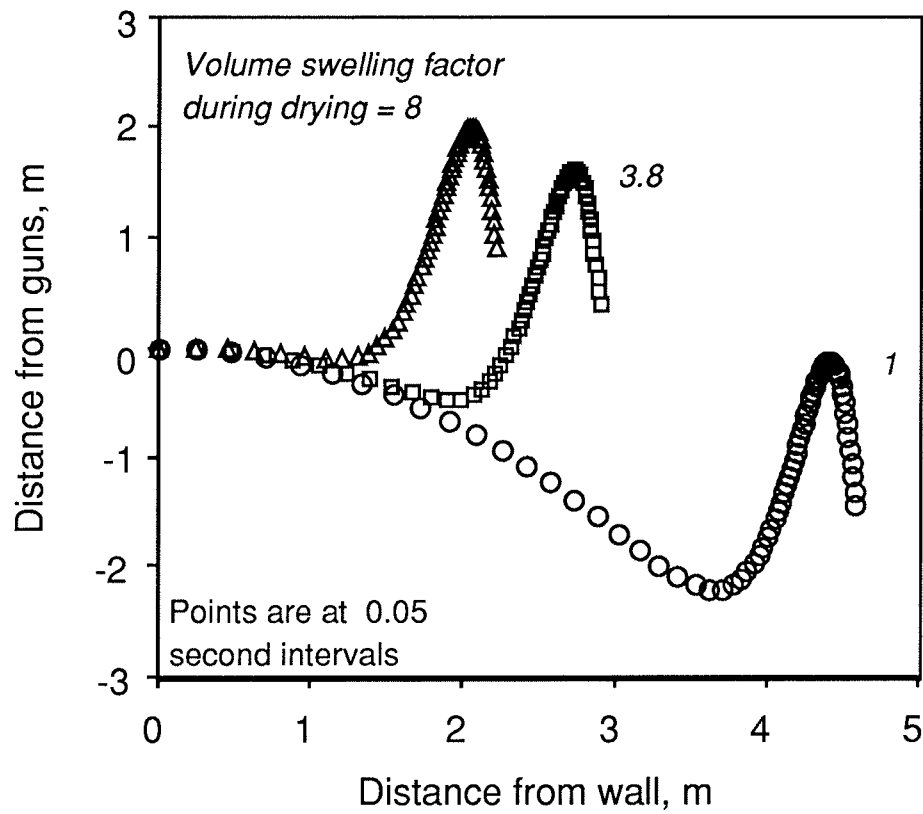


Figure 10. Trajectories to burnout for 1.5 mm droplets. Conditions are 1000°C , 5% oxygen, 3.3 m/s upward gas velocity, volume swelling factor of 27 during devolatilization.

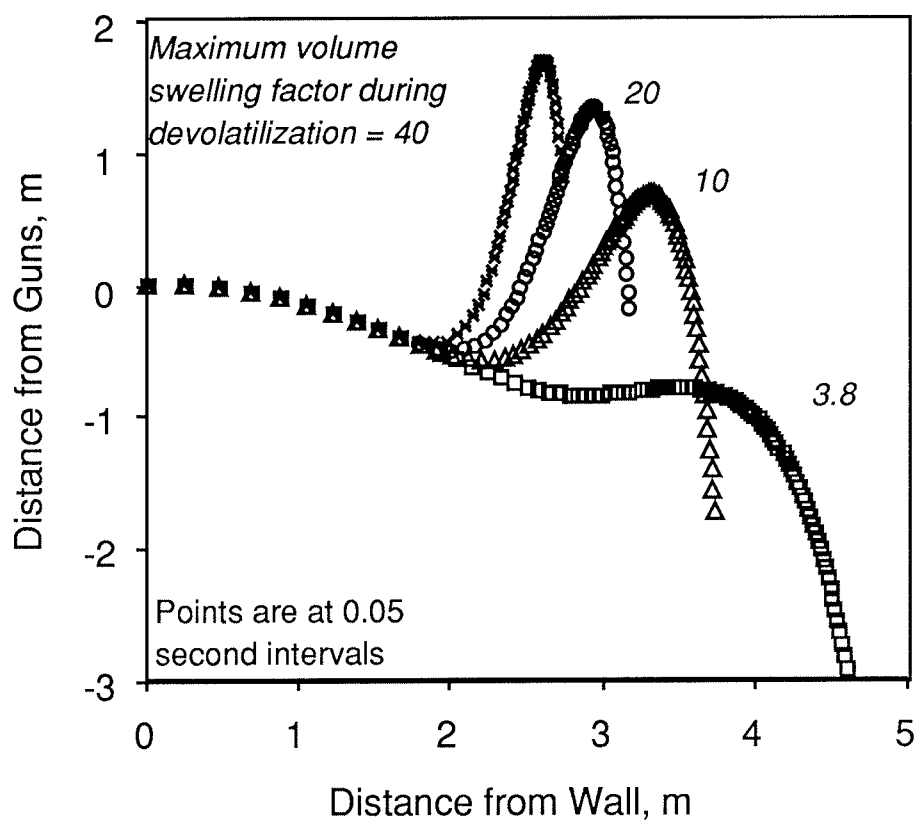


Figure 11. Trajectories to burnout for 1.5 mm droplets. Conditions are 1000°C, 5% oxygen, 3.3 m/s upward gas velocity, volume swelling factor of 3.8 during drying

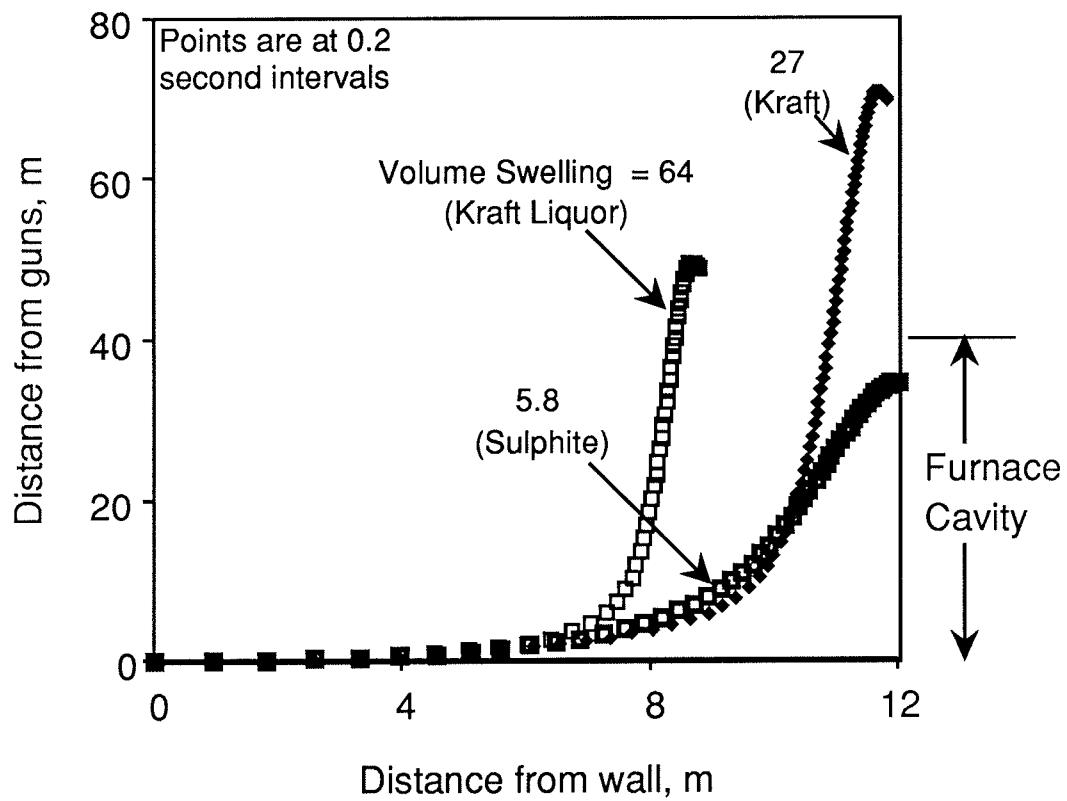


Figure 12. Trajectories for 2.2 mm droplets, 800°C, 10 m/s gas upflow. Volume swelling factor of 3.8 during drying.

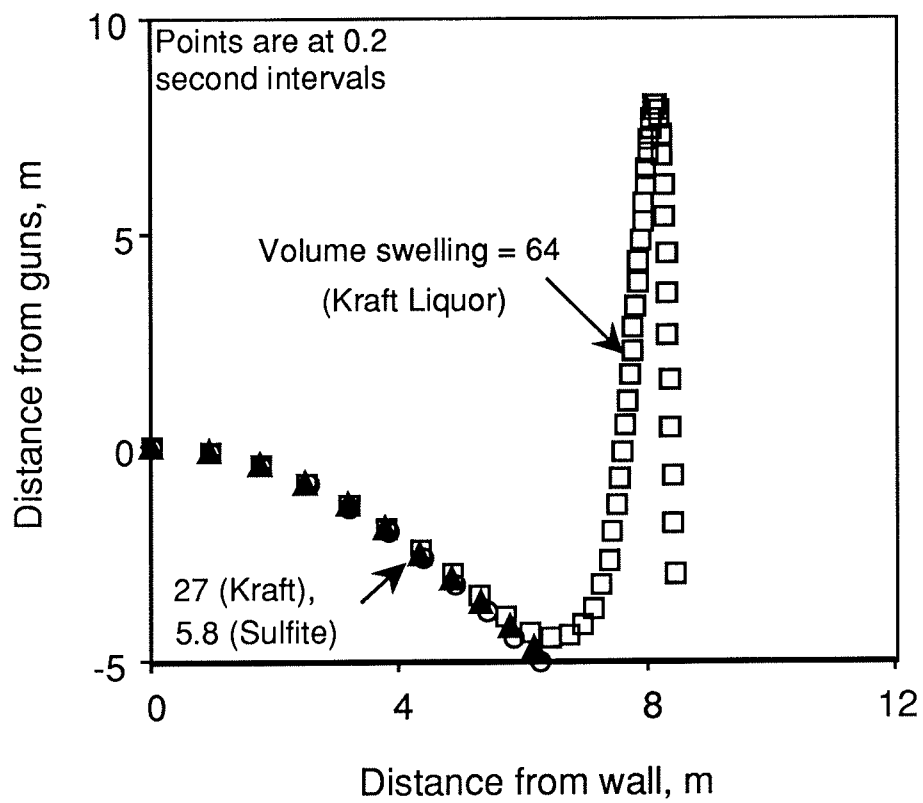


Figure 13. Trajectories for 2.2 mm droplets, 800°C, 5 m/s gas upflow. Volume swelling factor of 3.8 during drying.

Additional experimental data is necessary to improve our understanding of black liquor combustion and these models as well. In particular, we need to understand liquor-specific differences in swelling and ignition characteristics of the liquors.

In their present state, the droplet burning models provide us with useful information on what the important variables are in black liquor combustion. For example, they show the offsetting effect between swelling and burn time as they affect entrainment, and that liquors which swell more are entrained more easily but burn out faster than poorer swelling liquors.

Acknowledgements

The following organizations provided financial support for this project: LIEKKI, the Combustion Research Program of Finland; the Research Institute of the Åbo Akademi Foundation; Oy Tampella AB; the U.S. Department of Energy, and Weyerhaeuser Company. Their support is gratefully acknowledged.

References

Adams, T.N., Frederick, W.J. *Kraft Recovery Boiler Physical and Chemical Processes*, American Paper Institute (1988).

Frederick, W.J., Kulas, K.C., Clay, D.T., Hupa, M., Noopila, T., "Analysis of black liquor single droplet combustion data", *Proc. 1989 Int'l. Chem. Recovery Conference*, Ottawa, April 3-6, 1989, p. 81-88.

Frederick, W.J., Noopila, T., Hupa, M., "Swelling of spent pulping liquor droplets during combustion," to be presented at the AIChE 1989 Annual Meeting, San Francisco, Nov. 5-10, 1989.

Hupa, M., Backman, R., Hyöty, P. "Investigation of fireside deposition and corrosion in sulphate and sodium bases sulphite recovery boilers," *Proc. Black Liquor Recovery Boiler Symposium 1982*, Helsinki (August 31 - September 1, 1982).

Hupa, M., Solin, P., Hyöty, P., "Combustion Behavior of Black Liquor Droplets" in *Proc. 1985 Intl. Chem. Recovery Conf.*, p. 335-344.

Noopila, T., Hupa, M., "Measuring the Combustion Properties of Black Liquors by Different Techniques", Combustion Chemistry Research Group Report 88-5, Åbo Akademi, Turku, Finland (1988).

Noopila, T., Hupa, M., "The influence of dry solids content on black liquor burning behavior," in press.

Uppstu, E., Hyöty, P., Karvinen, R., Siskonen, P., "Alternative air supply system for recovery boilers," *Proc. 1989 Int'l. Chem. Recovery Conf.*, Ottawa, April 3-6, 1989, p. 9-13.

Walsh, A., Jones, A., Sumnicht, D., and Grace, T., "Three-dimensional mathematical model of the kraft recovery furnace," *Proc. 1989 Int'l. Chem. Recovery Conf.*, Ottawa, April 3-6, 1989, p. 1-8.

SOODAKATTILAN POLTTOPROSESSIN MALLINTAMINEN

Reijo Karvinen

Tampereen teknillinen korkeakoulu

1. JOHDANTO

Jopa kolmidimensioisten virtausongelmien ratkaiseminen, joihin liittyy lisäksi palamista on nykyisin mahdollista tietokoneiden ansiosta. Helpoin tapaus on kaasun palamisen mallintaminen, jota on tutkittu hyvin paljon erityyppisissä polttokammioissa. Hiilipölykattiloille tehtyjä simulointeja on verrattu kylmämalleilla tehtyihin mittauksiin ja tulosten vastaavuus on todettu hyväksi /1,2,3/. Kirjallisuudessa on myös muutamia artikkeleita, joissa on laskettu hiilipölykattilan toimintaa kolmidimensioisessa tilanteessa palamisen ollessa mukana /4,5/.

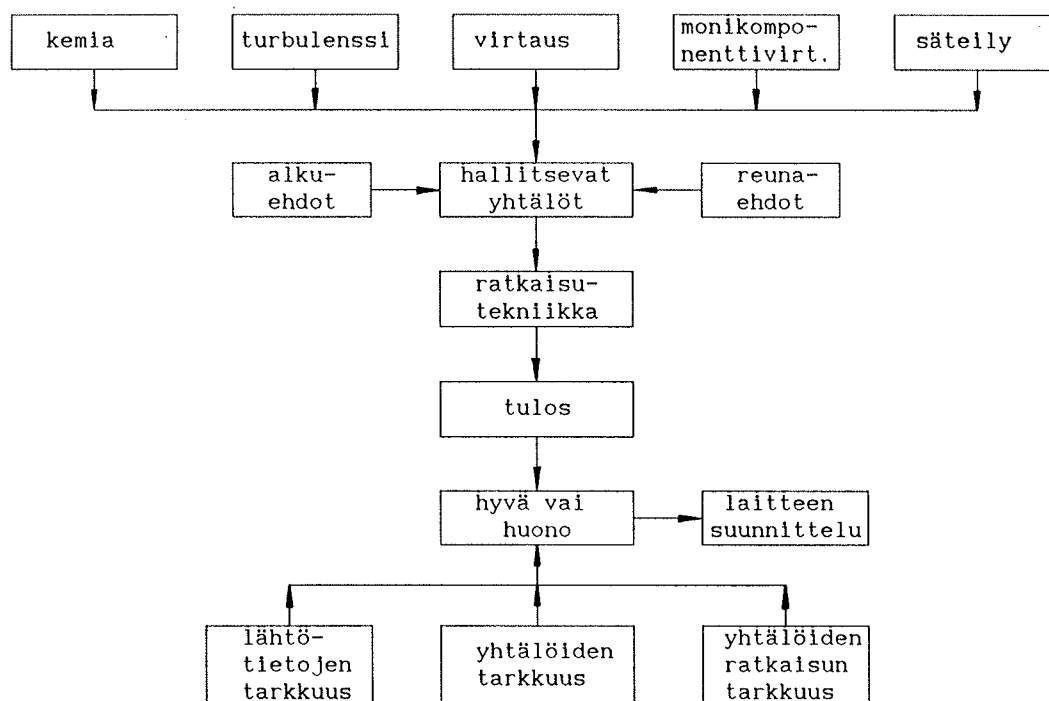
Soodakattilan osalta kattilassa tapahtuvien ilmiöiden ymmärtäminen on vähäisempää kuin esim. hiilipölykattilassa. Tämä johtuu siitä, että soodakattilan ilmiöt ovat monimutkaisempia. Yksidimensioisia analyysejä, jotka perustuvat suurelta osin kokeelliseen tietoon on olemassa /6/ mutta kolmidimensioinen laskenta on vasta alkamassa. Tässä kirjoituksessa esitetään tuloksia ja kokemuksia, joita Tampereen teknillisessä korkeakoulussa on saatu soodakattilan numeerisessa simuloinnissa. Esitetyt tulokset perustuvat suurelta osalta lähteisiin /7/ ja /8/.

2. NUMEERISEN SIMULOINNIN PERIAATE

Virtauksen numeerinen simulointi on tullut mahdolliseksi vasta 70-luvun alussa, josta lähtien tietokoneiden kehitys on ollut hyvin nopeaa muistitilan ja nopeuden kasvaessa 10-kertaiseksi noin viiden vuoden välein. Syynä numeerisen laskennan tarpeeseen on ollut se, että kokeellinen työ on hyvin kallista ja toisaalta todellista kokoa olevia malleja ei voida aina tutkimustarkoituksiin rakentaa. Näin on asia varsinkin palamisen osalta. Tällöin

täytyy pienoismallista saatavat mittaustulokset siirtää vastaamaan todellisen laitteen toimintaa. Laskenta antaa myös huomattavasti suuremman määrän tietoa kuin pelkkä mittaustulos. Tuloksena saadaan nopeus-, lämpötila- ja eri kemiallisten aineiden konsentraatiojakautumat, turbulenssia kuvaavat parametrit, leikkausjännitykset, lämpö- ja massavirrat jne. Siis suureita, joita käytännössä on mahdoton edes mitata luotettavasti. Laskenta antaa myös mahdollisuuden laitteen toiminnan nopeaan simulointiin, jos käyttöolosuhteet muuttuvat. Luotettavien tulosten saaminen asettaa kuitenkin suuria vaatimuksia fysikaalista ilmiötä kuvaaville matemaattisille malleille, numeeriselle ratkaisumenetelmälle sekä lähtötiedoille. Toisaalta virtausta ja lämmönsiirtoa kuvaavat mallit vaativat kokeellista tietoa, joten laskenta ei tule todennäköisesti koskaan korvaamaan täysin kokeellista työtä, vaan tehokkaan suunnittelun ja käytön täytyy perustua samanaikaiseen luotettavaan mittaukseen ja teoreettiseen tutkimukseen.

Ennenkuin virtausta ja siihen liittyviä ilmiöitä voidaan laskea numeerisesti, tarvitaan fysikaalisia ilmiöitä kuvaava matemaattinen malli. Se voi muodostua esim. kuvaan 1 merkityistä eri ilmiöitä kuvaavista yhtälöistä.

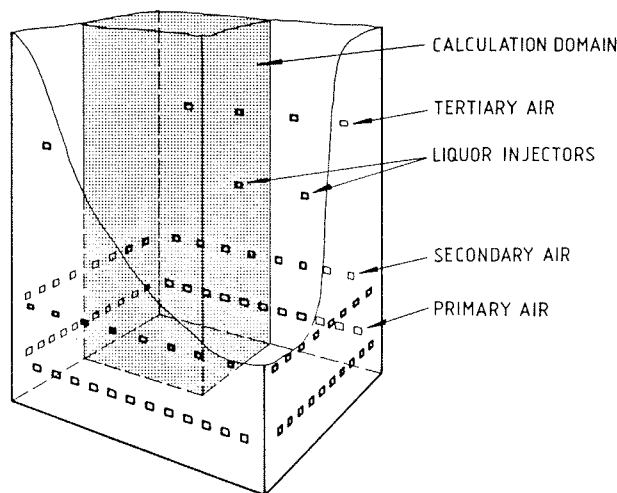


Kuva 1. Numeeriseen ratkaisuun vaikuttavia tekijöitä.

Jotta yhtälöt voitaisiin ratkaista, tarvitaan alku- ja reunaehdot. Tämän jälkeen tarvitaan tulokseen pääsemiseksi yhtälöryhmän ratkaisumenetelmä. Saadun tuloksen tarkkuus riippuu lähtötietojen tarkkuudesta, yhtälöryhmän ratkaisun tarkkuudesta sekä ennen kaikkea ilmiötä kuvaavasta matemaattisesta mallista. On selvää, että jos fysikaalista ilmiötä kuvaavat yhtälöt ovat virheellisiä, ei numeerinen laskenta voi tuoda ratkaisun kuluessa lisäinformaatiota.

3. SOODAKATTILAN PALAMISTA HALLITSEVAT ILMIÖT

Kuva 2 esittää kattilan alaosaa, jossa palamisen kannalta tärkeimmät ilmiöt tapahtuvat. Kun pisarat ruiskutetaan kattilaan, täytyy olla teoria, joka ottaa huomioon virtauksen ja pisaroiden välisen liikkeen. Samalla tapahtuu veden höyrystyminen, pyrolyysi ja ehkä jäännöshiilen palaminen. Niille



Kuva 2. Symmetrisen palotilan periaatekuva.

täytyy olla teoreettinen malli. Koska pisaroiden liike riippuu virtauksesta, täytyy olla menetelmä nopeuden laskemiseen. Kun pisarasta vapautuu palavaa kaasua tai hiilipartikkeli palaa, tarvitaan myös palamisen teoreettinen malli. Koska soodakattilassa syntyy runsaasti vesihöyryä ja siellä on palamisen tuloksena myös hiilidioksidia, täytyy kaasusäteily ottaa huomioon. Lisäksi partikkelit, pisarat ja noki voivat vaikuttaa säteilylämmönsiirtoon. Jotta kokonaisuus olisi selvillä pitäisi tuntea myös petissä tapahtuvat ilmiöt.

Kuvan 2 kattilassa palamisen laskentaan tarvitaan siten seuraavia ilmiöitä kuvaavat yhtälöt.

Virtaus

- jatkuvuusyhtälö (= massan säilyminen)
- liikeyhtälöt (3 kappaletta, Newtonin II laki)
- energiayhtälö (termodynamiikan I pääsääntö)
- yhtälöt konsentraatioille (O_2 , H_2O , pyrolyysikaasu, CO_2)
- turbulenssimalli (k- ϵ malli)

Pisaran höyrystyminen ja pyrolyysi

Hiilen palaminen

Pyrolyysikaasun palaminen

Kaasu-partikkeli säteily

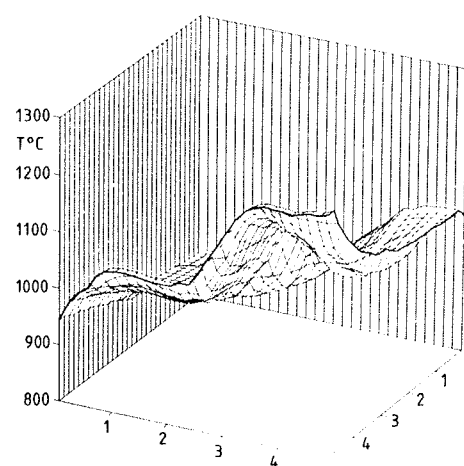
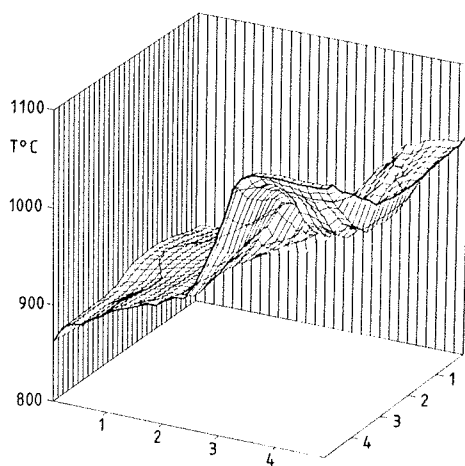
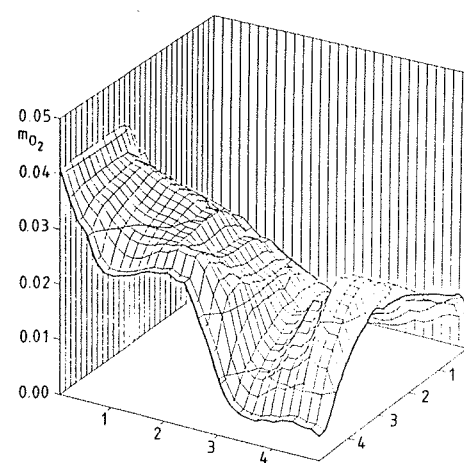
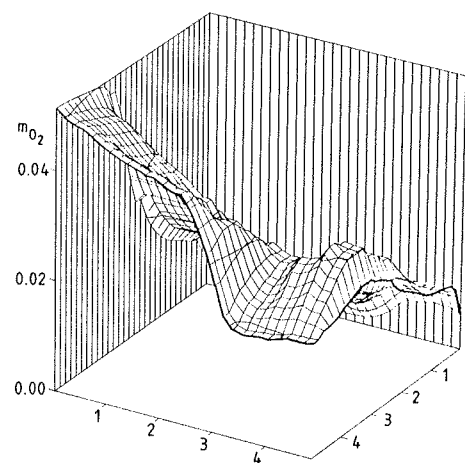
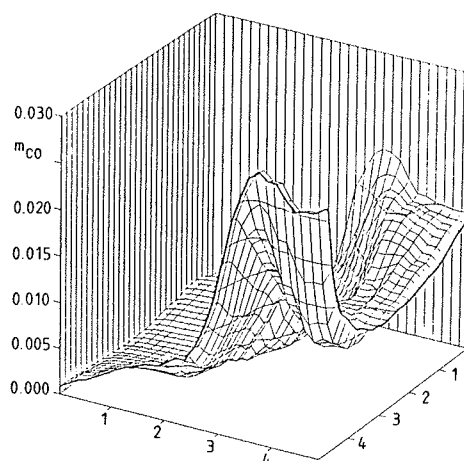
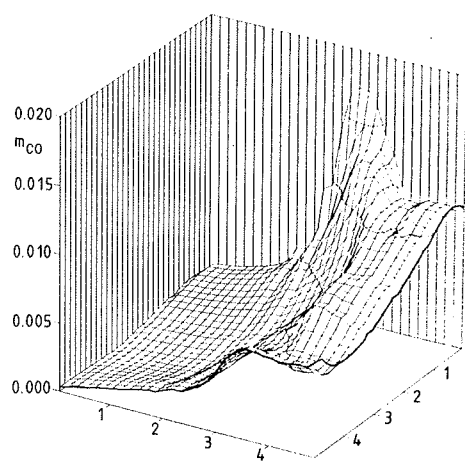
Petin ilmiöt.

Laskennassa käytetyt yhtälöt on esitetty lähteessä /7/.

4. TULOKSIA

Käsityksen saamiseksi numeerisen simuloinnin mahdollisuuksista alla on joitakin tuloksia kuvan 2 kattilalle. Laskennan lähtötiedot ovat kattilalle, jonka poikkipinta-ala on $10 \times 10 \text{ m}^2$ ja siinä on 4 lusikkasuutinta $4,5 \text{ m}$ petin yläpuolella. Kattilassa poltetaan $1460 \text{ tKA}/24\text{h}$ lipeän kuiva-ainepitoisuuden ollessa 65% .

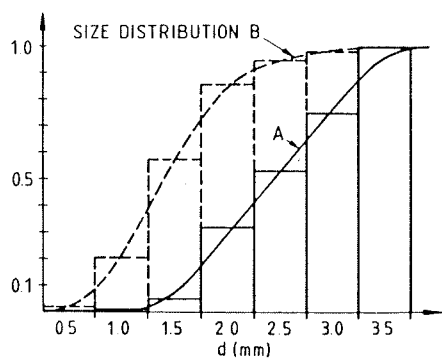
Kuva 3 esittää CO -, O_2 - ja lämpötilajakautumia tertiääri-ilmasuihkujen yläpuolelta kahdella eri pisarakokojakautumalla, jotka on esitetty kuvassa 4. Lipeä ruiskutetaan vaakasuoraan ja ruiskun avautumiskulma on 120° . Pisarasuihkun lähtönopeus on 10 m/s . Ilman nopeus sekundääri- ja tertiäärisuihkussa on 53 ja 64 m/s , jolloin sekundääritasolta tulee 53% ja tertiääritasolta 13% palamisilmasta. Havaitaan, että pisarakoko vaikuttaa oleellisesti tuloksiin. Kuva 5 esittää lämpötila- ja nopeusjakautumia tertiäärisuihkujen yläpuolella, kun sekundäärisuihkuissa ilman nopeus on 53 m/s ja 45 m/s . Sekundäärisuihkun nopeuden pienentäminen antaa tasaisemman lämpötila- ja nopeusjakautuman.



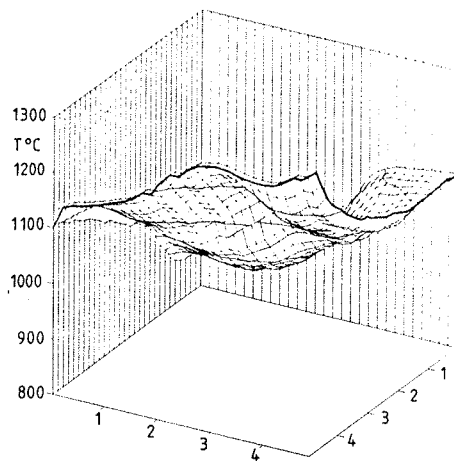
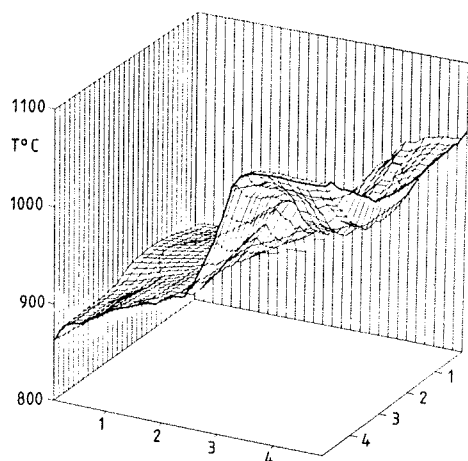
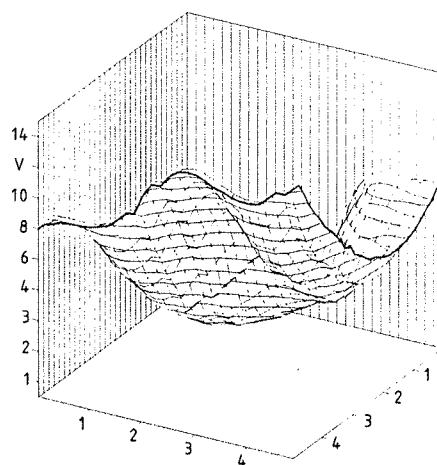
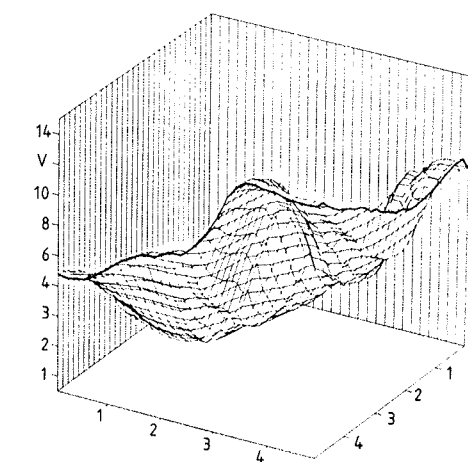
a) jakautuma A

b) jakautuma B

Kuva 3. Pisarakoon vaikutus lämpötila-, O_2 - ja CO -jakautumiin.



Kuva 4. Käytetyt pisarakoot.



a) nopeus 53 m/s

b) nopeus 45 m/s

Kuva 5. Sekundäärisuihkujen nopeuden vaikutus.

5. YHTEENVETO

Soodakattilan ilmiöiden numeerinen simulointi on saatu kehitettyä sellaiselle tasolle, että pystytään selittämään käytännössä tehdyt havainnot. Laskennan avulla voidaan tutkia eri parametrien kuten pisarakoon, kuiva-ainepitoisuuden ja ilmasuihkujen nopeuden ja sijainnin vaikutusta kattilan toimintaan. Voidaan laskea esim. tulistimeen kulkeutuvien pisaroiden määrä. Vuoden kuluessa on tarkoitus mallintaa sähkösuodattimeen joutuvien partikkelien määrä sekä petin muoto.

Laskentaan liittyy myös ongelmia. Laskenta-ajat ovat pitkiä varsinkin, jos pisarat ovat pieniä. Tämä johtuu siitä, että laskentakoppeja on paljon lukuisien ilmasuihkujen takia. Myöskään palamiseen liittyviä ilmiöitä ei tunneta kovin hyvin. Pyrolyysivaihe on huonosti tunnettu samoin kuin petissä tapahtuvat ilmiöt.

LÄHTEET

1. Chapman, P., McGovan, J.G., and Boysan, F., Physical and computational flow modelling of large scale furnace systems, Proc. British Flame Days, London, 1988.
2. Shida, H., Adachi, T., Kunimoto, T., Kuragasaki M., and Hasitome, M., Three dimensional flow analysis in boiler furnace, Bulletin of JSME, vol. 29, no. 247, pp. 136-142, 1986.
3. Görner, K., Strömungsvorgänge in Feuerräumen von Dampferzeugern - Mathematisches Modell und Simulation, VGB Kraftwerkstechnik 66, Heft 3, pp. 224-233, 1986.
4. Fiveland, W.A., and Wessel, R.A., Numerical model for predicting performance of three-dimensional pulverized-fuel fired furnaces. ASME Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, vol. 110, pp. 117-126, 1988.

5. Görner, K. Simulation turbulenter Strömungs- und Wärmeübertragungsvorgänge in Grossfeuerungsanlagen. Düsseldorf, Verein Deutscher Ingenieure, Fortschrittberichte VDI, Reihe 6 Nr. 201, 1987.
6. Haynes, J.B., Adams, T.N., and Edwards, L.L., Recovery boiler thermal performance, Tappi Journal, pp. 81-85, 1989.
7. Karvinen, R., Siiskonen, P., and Hyöty, P., Role of combustion simulation during the operation and in the design of a modern recovery boiler. Int. Forum on Mathematical Modelling of Processes in Energy Systems. Sarajevo, March 20-24, 1988. Ilmestyy Hemisphere publishing corporationin julkaisemassa kirjassa.
8. Karvinen, R., and Siiskonen, P., Problems and difficulties in the numerical modelling of a recovery boiler performance. Mid-night Sun Colloiquim on Recovery Research, Mariehamn, June 15-16, 1989.

SOODAKATTILAN POLTTOPROSESSIN MALLINTAMINEN

Reijo Karvinen

Tampereen teknillinen korkeakoulu

1. JOHDANTO

Jopa kolmidimensioisten virtausongelmien ratkaiseminen, joihin liittyy lisäksi palamista on nykyisin mahdollista tietokoneiden ansiosta. Helpoin tapaus on kaasun palamisen mallintaminen, jota on tutkittu hyvin paljon erityyppisissä polttokammioissa. Hiilipölykattiloille tehtyjä simulointeja on verrattu kylmämalleilla tehtyihin mittauksiin ja tulosten vastaavuus on todettu hyväksi /1,2,3/. Kirjallisuudessa on myös muutamia artikkeleita, joissa on laskettu hiilipölykattilan toimintaa kolmidimensioisessa tilanteessa palamisen ollessa mukana /4,5/.

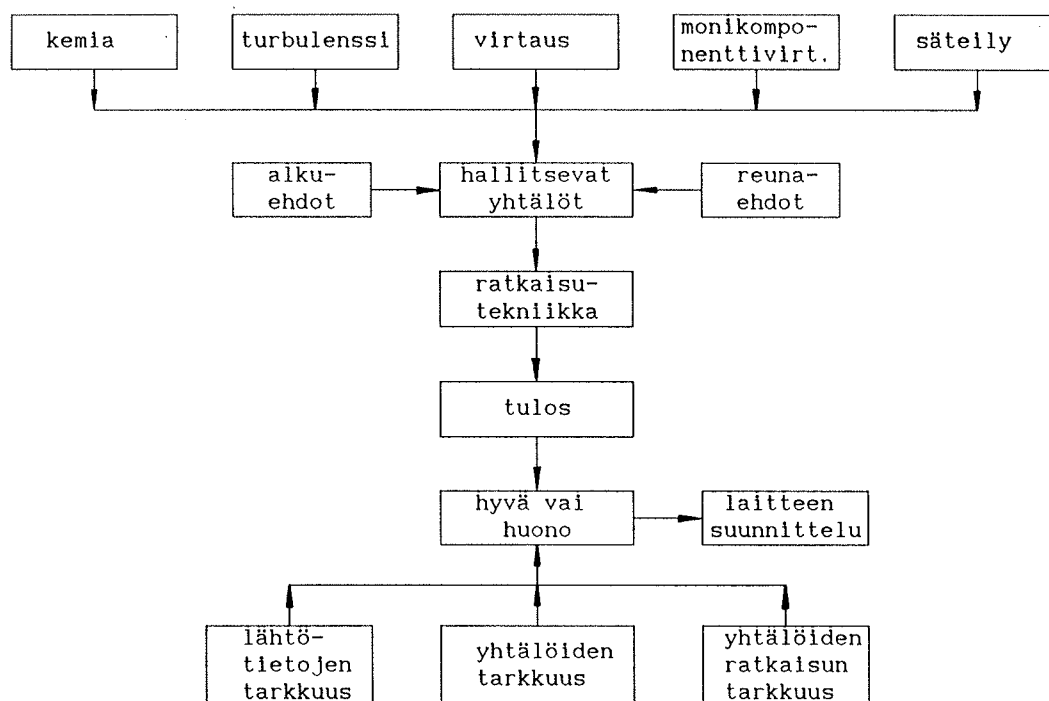
Soodakattilan osalta kattilassa tapahtuvien ilmiöiden ymmärtäminen on vähäisempää kuin esim. hiilipölykattilassa. Tämä johtuu siitä, että soodakattilan ilmiöt ovat monimutkaisempia. Yksidimensioisia analyysejä, jotka perustuvat suurelta osin kokeelliseen tietoon on olemassa /6/ mutta kolmidimensioinen laskenta on vasta alkamassa. Tässä kirjoituksessa esitetään tuloksia ja kokemuksia, joita Tampereen teknillisessä korkeakoulussa on saatu soodakattilan numeerisessa simuloinnissa. Esitetyt tulokset perustuvat suurelta osalta lähteisiin /7/ ja /8/.

2. NUMEERISEN SIMULOINNIN PERIAATE

Virtauksen numeerinen simulointi on tullut mahdolliseksi vasta 70-luvun alussa, josta lähtien tietokoneiden kehitys on ollut hyvin nopeaa muistitilan ja nopeuden kasvaessa 10-kertaiseksi noin viiden vuoden välein. Syynä numeerisen laskennan tarpeeseen on ollut se, että kokeellinen työ on hyvin kallista ja toisaalta todellista kokoa olevia malleja ei voida aina tutkimustarkoituksiin rakentaa. Näin on asia varsinkin palamisen osalta. Tällöin

täytyy pienoismallista saatavat mittaustulokset siirtää vastaamaan todellisen laitteen toimintaa. Laskenta antaa myös huomattavasti suuremman määrän tietoa kuin pelkkä mittaustulos. Tuloksena saadaan nopeus-, lämpötila- ja eri kemiallisten aineiden konsentraatiojakautumat, turbulenssia kuvaavat parametrit, leikkausjännitykset, lämpö- ja massavirrat jne. Siis suureita, joita käytännössä on mahdoton edes mitata luotettavasti. Laskenta antaa myös mahdollisuuden laitteen toiminnan nopeaan simulointiin, jos käyttöolosuhteet muuttuvat. Luotettavien tulosten saaminen asettaa kuitenkin suuria vaatimuksia fysikaalista ilmiötä kuvaaville matemaattisille malleille, numeeriselle ratkaisumenetelmälle sekä lähtötiedoille. Toisaalta virtausta ja lämmönsiirtoa kuvaavat mallit vaativat kokeellista tietoa, joten laskenta ei tule todennäköisesti koskaan korvaamaan täysin kokeellista työtä, vaan tehokkaan suunnittelun ja käytön täytyy perustua samanaikaiseen luotettavaan mittaukseen ja teoreettiseen tutkimukseen.

Ennenkuin virtausta ja siihen liittyviä ilmiöitä voidaan laskea numeerisesti, tarvitaan fysikaalisia ilmiöitä kuvaava matemaattinen malli. Se voi muodostua esim. kuvaan 1 merkityistä eri ilmiöitä kuvaavista yhtälöistä.

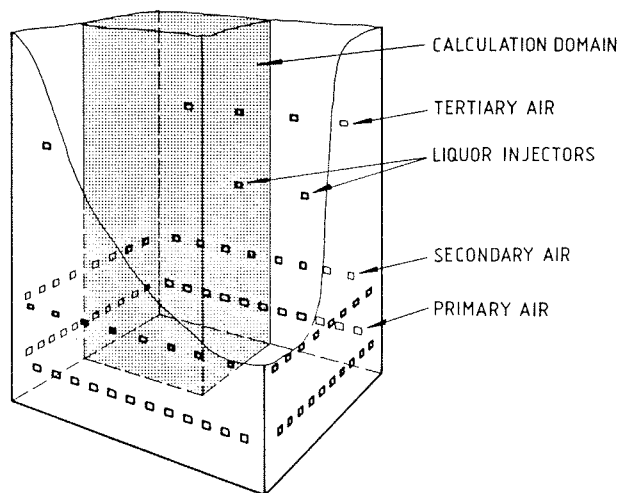


Kuva 1. Numeeriseen ratkaisuun vaikuttavia tekijöitä.

Jotta yhtälöt voitaisiin ratkaista, tarvitaan alku- ja reunaehdot. Tämän jälkeen tarvitaan tulokseen pääsemiseksi yhtälöryhmän ratkaisumenetelmä. Saadun tuloksen tarkkuus riippuu lähtötietojen tarkkuudesta, yhtälöryhmän ratkaisun tarkkuudesta sekä ennen kaikkea ilmiötä kuvaavasta matemaattisesta mallista. On selvää, että jos fysikaalista ilmiötä kuvaavat yhtälöt ovat virheellisiä, ei numeerinen laskenta voi tuoda ratkaisun kuluessa lisäinformaatiota.

3. SOODAKATTILAN PALAMISTA HALLITSEVAT ILMIÖT

Kuva 2 esittää kattilan alaosaa, jossa palamisen kannalta tärkeimmät ilmiöt tapahtuvat. Kun pisarat ruiskutetaan kattilaan, täytyy olla teoria, joka ottaa huomioon virtauksen ja pisaroiden välisen liikkeen. Samalla tapahtuu veden höyrystyminen, pyrolyysi ja ehkä jäännöshiilen palaminen. Niille



Kuva 2. Symmetrisen palotilan periaatekuva.

täytyy olla teoreettinen malli. Koska pisaroiden liike riippuu virtauksesta, täytyy olla menetelmä nopeuden laskemiseen. Kun pisarasta vapautuu palavaa kaasua tai hiilipartikkeli palaa, tarvitaan myös palamisen teoreettinen malli. Koska soodakattilassa syntyy runsaasti vesihöyryä ja siellä on palamisen tuloksena myös hiilidioksidia, täytyy kaasusäteily ottaa huomioon. Lisäksi partikkelit, pisarat ja noki voivat vaikuttaa säteilylämmönsiirtoon. Jotta kokonaisuus olisi selvillä pitäisi tuntea myös petissä tapahtuvat ilmiöt.

Kuvan 2 kattilassa palamisen laskentaan tarvitaan siten seuraavia ilmiöitä kuvaavat yhtälöt.

Virtaus

- jatkuvuusyhtälö (= massan säilyminen)
- liikeyhtälöt (3 kappaletta, Newtonin II laki)
- energiayhtälö (termodynamiikan I pääsääntö)
- yhtälöt konsentraatioille (O_2 , H_2O , pyrolyysikaasu, CO_2)
- turbulenssimalli (k- ϵ malli)

Pisaran höyrystyminen ja pyrolyysi

Hiilen palaminen

Pyrolyysikaasun palaminen

Kaasu-partikkeli säteily

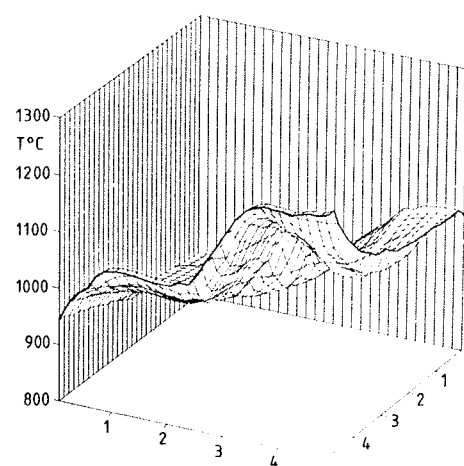
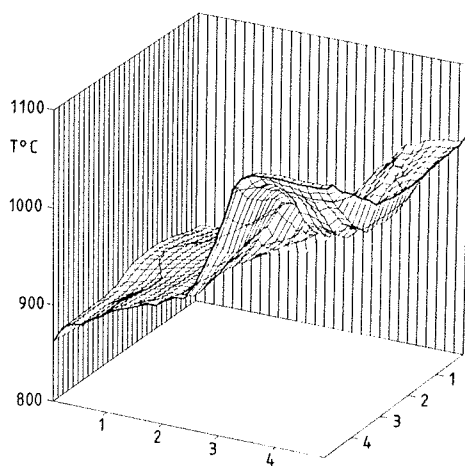
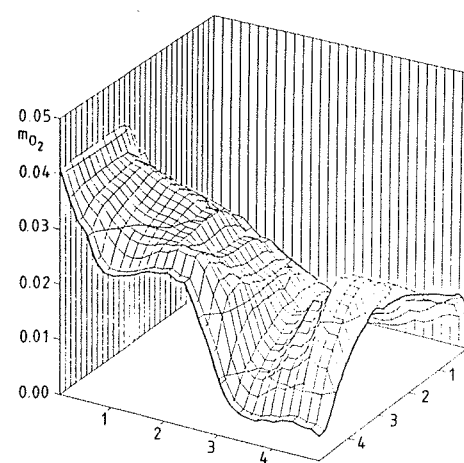
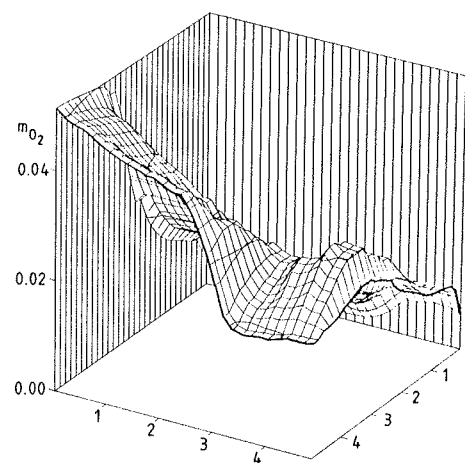
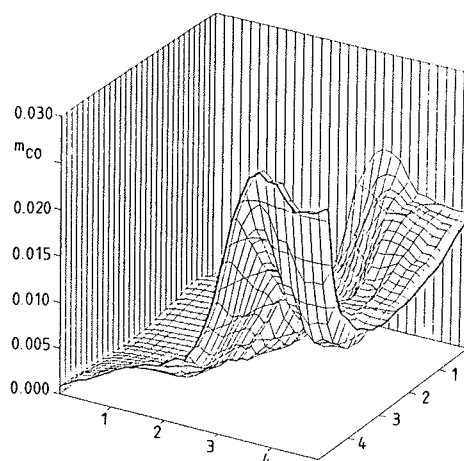
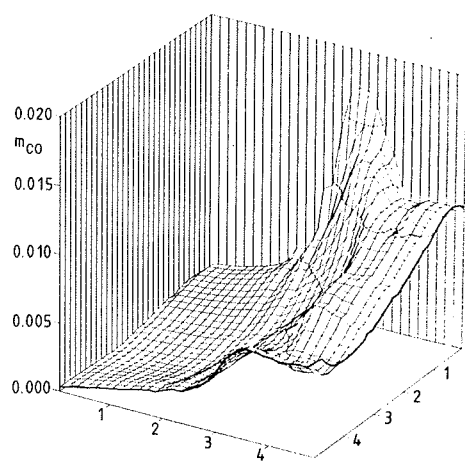
Petin ilmiöt.

Laskennassa käytetyt yhtälöt on esitetty lähteessä /7/.

4. TULOKSIA

Käsityksen saamiseksi numeerisen simuloinnin mahdollisuuksista alla on joitakin tuloksia kuvan 2 kattilalle. Laskennan lähtötiedot ovat kattilalle, jonka poikkipinta-ala on $10 \times 10 \text{ m}^2$ ja siinä on 4 lusikkasuutinta $4,5 \text{ m}$ petin yläpuolella. Kattilassa poltetaan $1460 \text{ tKA}/24\text{h}$ lipeän kuiva-ainepitoisuuden ollessa 65 %.

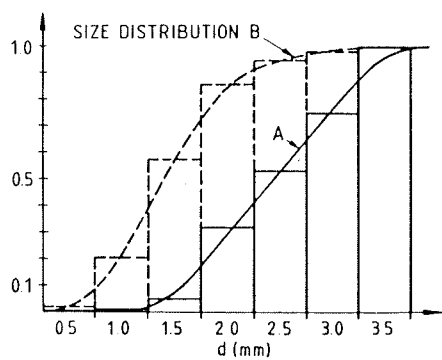
Kuva 3 esittää CO -, O_2 - ja lämpötilajakautumia tertiääri-ilmasuihkujen yläpuolelta kahdella eri pisarakokojakautumalla, jotka on esitetty kuvassa 4. Lipeä ruiskutetaan vaakasuoraan ja ruiskun avautumiskulma on 120° . Pisarasuihkun lähtönopeus on 10 m/s . Ilman nopeus sekundääri- ja tertiäärisuihkussa on 53 ja 64 m/s , jolloin sekundääritasolta tulee 53 % ja tertiääritasolta 13 % palamisilmasta. Havaitaan, että pisarakoko vaikuttaa oleellisesti tuloksiin. Kuva 5 esittää lämpötila- ja nopeusjakautumia tertiäärisuihkujen yläpuolella, kun sekundäärisuihkuissa ilman nopeus on 53 m/s ja 45 m/s . Sekundäärisuihkun nopeuden pienentäminen antaa tasaisemman lämpötila- ja nopeusjakautuman.



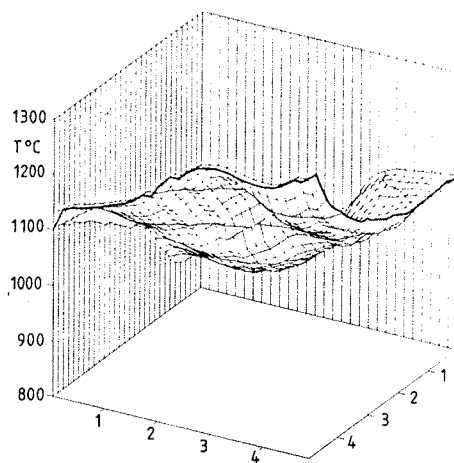
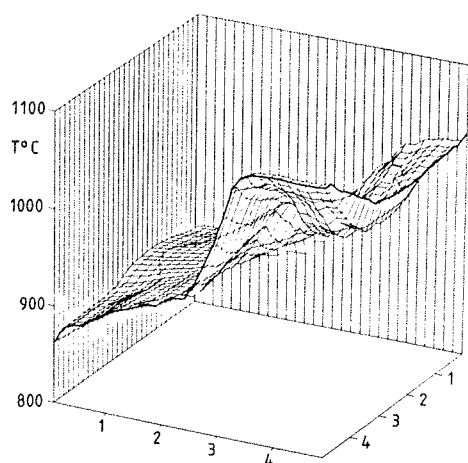
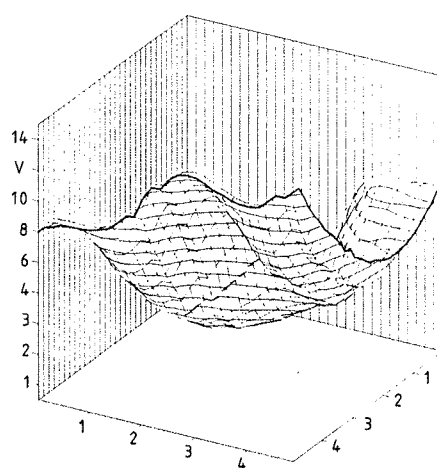
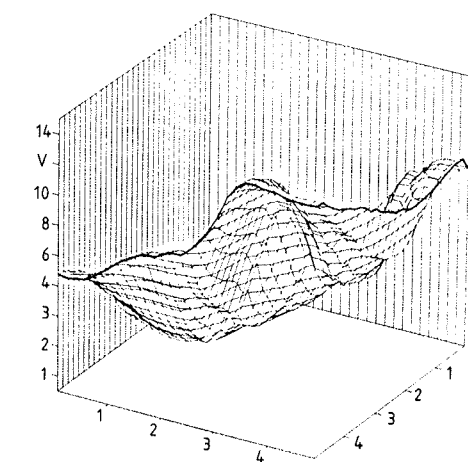
a) jakautuma A

b) jakautuma B

Kuva 3. Pisarakoon vaikutus lämpötila-, O_2 - ja CO -jakautumiin.



Kuva 4. Käytetyt pisarakoot.



a) nopeus 53 m/s

b) nopeus 45 m/s

Kuva 5. Sekundäärisuihkujen nopeuden vaikutus.

5. YHTEENVETO

Soodakattilan ilmiöiden numeerinen simulointi on saatu kehitettyä sellaiselle tasolle, että pystytään selittämään käytännössä tehdyt havainnot. Laskennan avulla voidaan tutkia eri parametrien kuten pisarakoon, kuiva-ainepitoisuuden ja ilmasuihkujen nopeuden ja sijainnin vaikutusta kattilan toimintaan. Voidaan laskea esim. tulistimeen kulkeutuvien pisaroiden määrä. Vuoden kuluessa on tarkoitus mallintaa sähkösuodattimeen joutuvien partikkelien määrä sekä petin muoto.

Laskentaan liittyy myös ongelmia. Laskenta-ajat ovat pitkiä varsinkin, jos pisarat ovat pieniä. Tämä johtuu siitä, että laskentakoppeja on paljon lukuisien ilmasuihkujen takia. Myöskään palamiseen liittyviä ilmiöitä ei tunneta kovin hyvin. Pyrolyysivaihe on huonosti tunnettu samoin kuin petissä tapahtuvat ilmiöt.

LÄHTEET

1. Chapman, P., McGovan, J.G., and Boysan, F., Physical and computational flow modelling of large scale furnace systems, Proc. British Flame Days, London, 1988.
2. Shida, H., Adachi, T., Kunimoto, T., Kuragasaki M., and Hasitome, M., Three dimensional flow analysis in boiler furnace, Bulletin of JSME, vol. 29, no. 247, pp. 136-142, 1986.
3. Görner, K., Strömungsvorgänge in Feuerräumen von Dampferzeugern - Mathematisches Modell und Simulation, VGB Kraftwerkstechnik 66, Heft 3, pp. 224-233, 1986.
4. Fiveland, W.A., and Wessel, R.A., Numerical model for predicting performance of three-dimensional pulverized-fuel fired furnaces. ASME Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, vol. 110, pp. 117-126, 1988.

5. Görner, K. Simulation turbulenter Strömungs- und Wärmeübertragungsvorgänge in Grossfeuerungsanlagen. Düsseldorf, Verein Deutscher Ingenieure, Fortschrittberichte VDI, Reihe 6 Nr. 201, 1987.
6. Haynes, J.B., Adams, T.N., and Edwards, L.L., Recovery boiler thermal performance, Tappi Journal, pp. 81-85, 1989.
7. Karvinen, R., Siiskonen, P., and Hyöty, P., Role of combustion simulation during the operation and in the design of a modern recovery boiler. Int. Forum on Mathematical Modelling of Processes in Energy Systems. Sarajevo, March 20-24, 1988. Ilmestyy Hemisphere publishing corporationin julkaisemassa kirjassa.
8. Karvinen, R., and Siiskonen, P., Problems and difficulties in the numerical modelling of a recovery boiler performance. Mid-night Sun Colloiquim on Recovery Research, Mariehamn, June 15-16, 1989.

Pentti Tolonen 9.10.1989

SOODAKATTILAN ERIKOISMITTAUKSET

1. YLEISTÄ

Soodakattilan ajon kannalta muutamit savukaasun ja lipeän tilan mittaukset ovat erityisen tärkeitä, jotta palamisprosessi hallittaisiin hyvin. Lipeän ominaisuuksia ei enää voida muuttaa, vaan savukaasuja ja tulipesää analysoimalla voidaan olosuhteita muuttaa niin, että jäännöksiä ja päästöjä ei esiinny ja kattilaa ei uhkaa likaantuminen eikä korroosio. Tässä esitelmässä käydään läpi tärkeimmät erikoismittaukset kattilan ajon kannalta. Jokaisessa kohdassa on esitelty yksi mittauslaite mainiten se nimeltäkin. Käyttökelpoisia laitteita ja mittausperiaatteita on kohteisiin olemassa useita, mutta laajuuden takia vain yksi esimerkki mahtui mukaan.

2. KATTILAVEDET

Kattilavesistä analysoidaan jatkuvatoimisesti johtokykyä ja pH-arvoa. Ilmanpoiston kunnossapysyminen voidaan valvoa jatkuvalla mittauksella syöttövedestä. Jos happea alkaa esiintyä, voidaan poistoa lisätä ja jos sekään ei auta, mahdollisesti seisokissa täytyy tehdä sisäpuolinen tarkastus laitteille.

2.1 Syöttöveden liuennut happi

Liuenneen hapen mittalaitteista on esimerkiksi otettu Polymetron OXISTAT. Mittaus perustuu sähkökemialliseen kennoon. Elektrodiparia, kultakatodia ja hopea-anodia syötetään vakiojännitteellä. Hapetta läpäisevä kalvo erottaa elektrodit näytevedestä, mutta diffusoi näytteessä olevan liuenneen hapen. Läpivirtauskennon ohi-tuksessa diffusoitunut happi pelkistyy kultakatodille. Tästä aiheutuva virta (μA) on suoraan verrannollinen liuenneen hapen konsentraatioon alueella 0...2000 ppb. Kalibrointia varten laitteistossa on mukana Faradayn kenno. Liitteessä 1 on periaatekaavio ja laitekaavio.

Samalla analysaattorilla voidaan analysoida useamman vierekkäisen kattilan vedet järjestämällä näytevirtaukset samaan paikkaan. Näytelinjojen vaihto voidaan ohjata automaatiojärjestelmästä esimerkiksi 30 tai 60 minuutin välein.

3. LIPEÄ

3.1 Kuiva-aine

Soodakattilan höyrytuotanto määräytyy kattilaan syötettävän vahvamustalipeän määrästä ja kuiva-ainepitoisuudesta. Kuiva-ainepitoisuus voidaan parhaiten mitata refraktometrillä. Toinen mahdollisuus on mitata lipeän kokonaistiheys radiometrisellä mittauksella. Paras tulos saavutettaisiin, jos mitattaisiin molemmat. Tällöin voitaisiin tuhkaryöpyt esimerkiksi havaita syöttölipeästä.

Esimerkkimittaukseksi on otettu K-Patentsin mikroprosessoripohjainen refraktometri. Refraktometri määrittää kokonaisheijastuskulman avulla mustalipeälle valon taitekertoimen (R.I.). Valolähteestä saapuva valo suunnataan prisman ja mustalipeän väliseen rajapintaan. Valonsäteet kohtaavat pinnan erilaisissa kulmissa. Heijastuneet säteet muodostavat kuvan, jossa kokonaan heijastuneiden ja osittain heijastuneiden säteiden rajapinta voidaan eroittaa. Tämän rajan sijainti on mustalipeäliuoksen kokonaisheijastuskulman mitta. Rajapinta muutetaan valosähköisen tunnistimen avulla sähköiseksi viestiksi, joka vastaa mustalipeän kuivaainepitoisuutta. Prosessorin muistissa on kyseessä olevan lipeän heijastuskulman arvot kalibrointeja varten. Liuoksen väri, kaasukuplat tai liukenemattomat aineet eivät vaikuta mittaustulokeen. Liitteessä 2 on kuva periaatteesta ja itse laitteesta.

Refraktometrit tarvitsevat säännöllisen välein tapahtuvan prisman puhdistuksen esimerkiksi höyrypuhalluksella automatiikan perässä. Prismat eivät kestä liian suuria lämpöiskuja, joten puhallusjaksot ovat lyhyitä ja seisokkien ja tuotantokatkojen takia on puhallus hyvä lukita syöttöpumpun käyntiin esimerkiksi.

Viimeaikoina on kuiva-ainetasoa nostettu perinteisestä 65 prosentista aina 80 prosenttiin saakka. Refraktometriä pitäisi selvittää näistäkin tasoista.

3.2 Viskositeetti

Mustalipeän viskositeetti riippuu sen sisältämästä kuiva-aineesta, lämpötilasta ja lipeään sisältyvistä kemikaaleista ja peruspuuainesta eli onko kysymys koivu- tai mäntylipeästä esimerkiksi.

Jotta mustalipeän palaminen tapahtuisi hyvin, olisi lipeän pesäänsyötön pisarakoko saatava säädettyä. Pisarakoko taas riippuu mustalipeän viskositeetista, syöttöpaineesta ja suuttimien rakenteesta.

Lipeän lämpötilaa säätämällä voidaan viskositeetti pitää halutulla alueella.

Sopivaa mittalaitetta viskositeetin mittaukseen ei ole ollut saatavilla näihin päiviin saakka. Kokeillut laitteet ovat vaatineet jatkuvaa päivittäistä puhdistusta ja ovat olleet mekaanisesti nopeasti särkyviä.

BTG on kehittänyt sakeuslähettimensä runkoon viskositeettimittarin VISC-2000. Laitteesta on jo lähes vuoden pitkä kokemus ja tulokset ovat lupaavia.

Mittausperiaate on, että kahden sylinterin, joista

toinen on kiinteästi paikoillaan ja toinen pyörii vakionopeudella, välissä oleva lipeä aiheuttaa leikkausvoiman, joka mitataan optisesti poikkeamakulmana, joka on verrannollinen viskositeettiin ja muutetaan sähköiseksi signaaliksi. Liitteessä 3 on laitteen periaatekuva ja laitekuva.

Laitteen asennuskoko laippoineen on suuri, mutta mustaliipeäputkeen voidaan tehdä laajennus ohituslinjoihin. Pystyputkiasennus on suositeltavaa. Liitteessä 4 on mittaustuloksia.

4. PALAMINEN

4.1 Tulipesän lämpötilat

Tulipesän lämpötilamittauksien avulla voidaan palamista valvoa sekä keon korkeudella että ylempänä kattilassa. Mittaukset tehdään yleisesti pyrometreillä ja mittauksien perusteella tehdään korjauksia ilmasäätöihin, lipeäsyöttöön tai lipeän lämpötilaan tietyissä rajoissa. Pyrometrejä on tarjolla useita ja yleinen keskustelun aihe on, millä aallonpituudella mittaus olisi suoritettava.

Keon lämpötilan mittaus tehdään usein ilmarekisteristä, jolloin mittaussäde etenee palamisilman läpi keokohti, jolloin mittaustie on suhteellisen puhdas. Eniten käytetyt aallonpituudet ovat $0.8...0.9\ \mu\text{m}$, jolloin vesihöyry ja CO eivät häiritse mittausta.

Ylempänä kattilassa kaasutilassa ilmeisesti parempi tulos teoreettisesti saavutettaisiin kaksiaaltopyrometrillä, jolloin saadaan vertailu jo mittauksessa tehtyä. Kuinka paljon oikeampi tulos on verrattuna yksiaaltopyrometriin onkin jo suuri kysymysmerkki. Kaksiaaltopyrometrien hinta on kaksinkertainen verrattuna yksiaaltoisiin.

Esimerkiksi on otettu infrapunapyrometri IRCON. Pyrometri on sopiva juuri keon mittaukseen. Ylempänä pesässä palamisvyöhykkeessä kiintoainehiukkasia ja pölyä on jo mittaustiellä. Mittauskeilan pituus on 10 m tai ylikin, jolloin mittaumatkalla hiukkasosuvat säteeseen. Pyrometrissä on vakiona säädettävä huippuarvon pito, jolloin kylmempien partikkelien lämpötilat eivät pääse häiritsemään. Liitteessä 5 on esitetty tämä asia sekä laitteen kuva.

Liitteessä 6 on koemittaustuloksia, joissa rinnakkain oli pyrometrit A ($0,9\ \mu\text{m}$) ja B ($2,5\ \mu\text{m}$). Havaittiin, että ne piirsivät lähelle toisiaan, mutta mittaukset menivät välillä ristiin ja ajoittain oli jopa 50 C eroja. Liikuttiiin tasolla 1000 C, joten ero oli kuitenkin pieni.

Näyttäisi, että tarpeeksi luotettava lämpötilaprofiili saavutetaan yksiaaltopyrometreillä soodakattilasta. Jos samassa kattilassa eri korkeuksilla käytetään erilaisia pyrometrejä, eivät ne enää ole vertailukelpoisia. Ylempänä kaasutilassa olevien pyrometrien aukipyminen tahtoo olla ongelma huuhteluilmasta huolimatta. Pyrometri voidaan kuitenkin kiinnittää aukkoon sa-

ranalla, jolloin puhdistuksen voi tehdä tarvittaessa nopeasti.

4.2 Tulipesäkamerat

Mittausten perusteella tapahtuvaan soodakattilan ajoon tuo tarpeellisen lisän tulipesäkameroiden avulla nähtävä kuva keosta ja palamisesta. Ongelmana on ollut kuitenkin kameroiden mekaaniset laitteet, jäähdytys vedellä, ulosvetolaitteiden tarve, ettei kameraa polteta, jos jäähdytys ei enää toimikaan. Lisäksi perusongelma on, että kuvausaukko menee tukkoon. Soodakattilassa olosuhteet ovat ovat muihin kattiloihin nähden vielä vaikeammat. Näkökentässä on säteileviä kaasuja, lipeäroiskeet syötöstä ja seinältä valuva lipeä vaikeuttavat kuvausta.

Viimeaikoina vidikonpohjaiset IR-alueella toimivat kamerat ovat kehittyneet niin paljon, että tulipesästä saadaan riittävän hyvää kekokuvaa. Vaatimukset kameralle ovat kuitenkin kovat, koska olosuhteet vaihtuvat lipeän laadun, pesän lämpötilojen, ajovauhdin ja muiden tekijöiden takia. Jotta kaikissa olosuhteissa näkyisi hyvä kuva, on kameran suodattimien ja valitun lämpötila-alueen erottelutarkkuuden ja aallonpituuden oltava kohdallaan.

Itse kameran lämpötila saadaan jo pidettyä tarpeeksi alhaisena ilma-jäähdytyksellä, joka pitää olla kuitenkin suodatettua ilmaa, ettei liata kameran linssejä. Kameroiden kuvakulmat myös vaihtelevat ja mitä laajempaan kulmaan mennään, sitä lähemmäs kattilan sisäseinää asennus on tehtävä ja sitä herkempi taas on linsin likaantuminen.

Katseluaukon aukipysyminen on ongelmana, jos kamera-tekniikka onkin saatu hallintaan. Automaattisia aukon puhdistajia on jo saatavissa esimerkiksi ilmarekistereille, mutta niiden korkea hinta on ollut yleistymisen jarruna. Lisäksi vanhoista kattiloista ei tahdo löytyä sopivaa kamera-aukkoa.

Hyvä mustavalkoinen kekokuva on jo riittävä, mutta sama kuva voidaan myös värittää prosessoritekniikalla. Viimeisimmät mahdollisuudet on tuonut kuvankäsittelytekniikka. Kuva käsitellään digitaalisesti ja näin saadaan määritettyä keon koko, muoto, paikka ja historiatietoa keon muodoista ja lämpötilaeroista. Tekniikalla olisi myös mahdollista hylätä kuvan laatua häiritsevät huonot kuvat ja näyttää 24 kuvan asemesta vain 15 hyvää kuvaa sekunnissa. Kotimaisen kehitystyön tuloksena yllämainittu käsittelytekniikka toimii koe-laitteistona.

Vidikonpohjaiset kamerat yleensä ovat amerikkalaisia. Toimittajat, joilla on eniten soodakattilakameroita käytössä, ovat Diamond ja SSP International. Esimerkiksi on otettu SSP:n RCA-kamera. Järjestelmä käyttää tavallista erikoissuotimilla varustettua vidikon kameraa. Kamera ja optinen järjestelmä on sijoitettu ilma-jäähdytteiseen koteloon. Ilma suodatetaan, jotta mah-

dolliset pölyt ja kosteuspisarat saadaan eliminoidua. Kuva näytetään valvomoon sijoitetuissa kuvaruuduissa. Mustavalkoinen kuva voidaan värittää prosessoripohjaisella COLORPLUS-laitteistolla, jossa sävytasoja voidaan säädellä. Liitteessä 7 on esitetty laitteiston kokoonpano. Laitteistoon voidaan lisätä myös kuvankäsittely-yksikkö TIPS (Temperature Imagin and Profile System).

Huolto- ja tarkastusmielessä on olemassa kameroita, jolloin noin NS 100 aukosta voidaan kattilaan työntää noin 5 metrin putki, jonka päässä on kamera. Putkea voidaan käänellä ja kuvata kattilaa sisältä eri kulumista ja etäisyyksiltä ja samalla nauhoittaa tarkastuskuvaukset myöhempää tutkimista varten. Vidikonkameroiden putken elinikä on noin 1...3 vuotta olosuhteista riippuen.

4.3 Kamerat kipinänilmaisijoina

Kattilan yläosaan voidaan asentaa kameroita valvomaan savukaasun mukaan lähteviä palavia partikkeleita. Lisäksi voidaan havaita, jos tulistinpinoilla kertymät alkavat hehkua. Kuva on normaalisti musta, mutta häiriötilanteissa alkaa viiruja näkyä. Vaikeutena on ollut aukkojen aukipysyminen. Toisaalta kameraa on pidetty liian kalliina tähän tarkoitukseen. Huippuarvon pidon omaavalla pyrometrillä ilmeisesti voitaisiin valvoa samaa asiaa.

5. SAVUKAASUT

Soodakattilan ilmasäädöt suoritetaan syötettävän mustalipeän määrän ja kuiva-aineen, savukaasun happi- ja hiilimonoksidipitoisuuden perusteella ensisijaisesti. Happi pyritään pitämään tasolla 1,5...2 % huolehtien kuitenkin, ettei CO-pitoisuus nouse liian ylös.

5.1 Happimittaus

Mittaus suoritetaan yleensä kattilan molemmilta sivuilta ennen ekoja, jotta mahdollinen kanavoituminen voidaan havaita. Usein mittausarvoksi otetaan näiden kahden keskiarvo. Mahdollisia vuotoja myöhemmin savukaasukanavassa voidaan valvoa samanlaisilla lisäantureilla.

Happianturiksi on vakiintunut suoraan prosessiin asennettavat zirkonium-kennoon perustuvat anturit. ZrO_2 -kenno lämmitetään 700...800 °C lämpötilaan, jolloin se toimii happi-ioneja johtavana ja pintojen välille syntyy happieron mukainen jännite. Kalibroinnit voidaan tehdä näytekäasulla helposti. Liitteessä 8 on esimerkki laitteesta. Zirkonium-kennon elinikä on 1,5...3 vuotta riippuen happitasosta ja kaasun muista komponenteista. Vaihtokennon hinta voi eri toimittajilla poiketa toisistaan moninkertaisesti.

Happimittausta ei kannata enää tehdä näytteenottoon perustuvilla laitteilla.

5.2 Hiilimonoksidimittaus

Hapen kanssa CO-mittaus on tärkeä mittaus, jonka avulla mitataan palamattomat komponentit. CO-mittaus on toteutettu viimeaikoina kanavan läpi mittaavilla laitteilla. Joitakin tutkimuksia on tehty, joiden perusteella on päätelty, että läpimittaavat laitteet näyttävät vähemmän kuin näytteenottoon perustuvat laitteet. Näyteperustaiset laitteet ottavat pistemäisen näytteen, jolloin kanavoituminen voi aiheuttaa virhetta ja lisäksi näytteestä poistetaan yleensä kosteus. Kanavan läpi mittaava antaa keskimääräisen tuloksen kanavan poikkipinnan mukaan. Soodakattilan säädön kannalta läpimittaavat mallit ovat täysin riittäviä. Laitteet kannattaa sijoittaa savukaasupuhaltimien imu-puolelle, jotta yhteet pysyvät puhtaana. Esimerkkimittaukseksi on otettu Codel 1010, joka koostuu IR-lähteestä, vastaanottimesta, viestinkäsittelyprosessorista. Liitteessä 9 on laitteen periaatekaavio. Infrapunälähteen lähettämä säteily katkotaan pulssimuotoiseksi lähetinyksikössä olevalla hakkurilla ja kohdistetaan keskitetysti IR-säteeksi linssin avulla. Vastaanottimessa olevan linssin avulla vastaanotettu säteily kohdistetaan optisen suodattimen läpi puoliläpäisevän peilin kautta kahdelle puolijohdeanturille. Viestiprosessori vertaa antureiden signaaleja toisiinsa ja laskee CO-pitoisuuden. Kalibrointia varten on vastaanottimessa pieni kaasukenno, joka sisältää puhdasta hiilimonoksidia.

5.3 Rikkidioksidi

Rikkidioksidia mitataan yleensä savukaasuista ennen ja jälkeen savukaasupesurin. Jos savukaasun SO₂-pitoisuus on korkea, se kertoo, että pelkistyneitä rikkiyhdisteitä (TRS) on paljon, jotka lisäävät korroosiota ja kerrostumia tulistuspinnnoille. Korkea SO₂-pitoisuus merkitsee, että palamisen ja keon lämpötila on ilmeisesti liian alhainen. Lämpötilaa voidaan nostaa korottamalla lipeän kuiva-ainetta, nostamalla polttoilman lämpötilaa alapesässä ja ilmajaon muutoksella, jotta parempi palaminen saavutettaisiin. Rikkidioksidi voidaan mitata optiseen absorptioon perustuvilla menetelmillä joko näytteenottooperustaisena tai kanavan läpi mittaavana. Aallonpituudet käytetyissä laitteissa ovat sekä IR-, UV-, että näkyvän valon alueella. Varmin tapa toistaiseksi kuitenkin on mitata SO₂-pitoisuus näytteenoton perässä olevalla analysaattorilla.

SO₂-analysaattorin esimerkiksi on otettu Ultramat-analysaattori. Laitteisto muodostuu IR-lähteestä, valonsäteenkatkojasta, suodatinkammioista, heijastuksen vaimentimesta, referenssikammioista, näytekammioista ja mikrovirtausanturista. Säteilijän lähettämä säde jaetaan säteiden jakajassa kahteen säteeseen, mittaus ja vertailusäteeseen. Mittaussäde menee mittauskammion

läpi ja kohdistuu mittauskaasun väkevyyden heikentämänä vastaanotinkammion vasenpaan osaan. Erilaisesta säteilyintensiteetistä johtuen vastaanotinkammioiden kaasu lämpenee eri tavalla, niin että syntyy paineeron takia virtausta välikanavassa. Virtausanturi on kaksikerrosilmaisina. Pulssimaisella virtauksella anturi antaa vaihtojännitettä, joka vahvistetaan mittaus-signaaliksi. Liitteessä 10 on laitteiston periaatekaavio.

5.4 Rikkivety

Rikkivetypitoisuuden kohoaminen kertoo palamatta jääneistä kaasuista tulipesässä. Palamattomuus kielii myös CO- ja SO₂-pitoisuudet ja usein rikkivety alkaa esiintyä vasta, kun CO-pitoisuus on ollut jo pitkemmän aikaa korkealla. Hapen ja rikkivedyn esiintyessä pitoisuudeltaan samansuuruisina on korroosio pahimmillaan. Lisäksi H₂S on ympäristöpäästöjenkin ja pahan hajun takia pidettävä kurissa ja sitä on valvottava. Rikkivetyä mitataan joko ennen savukaasupesuria tai jälkeen savukaasupesurin tai molemmista paikoista. Rikkivedylle ei ole toistaiseksi löytynyt luotettavaa jatkuvatoimista mittalaitetta. Laitteet, joissa H₂S hapetetaan ensin SO₂:ksi, eivät ole osoittautuneet selektiivisiksi.

Jäljelle jää kaksi vaihtoehtoa, joilla rikkivetytaso voidaan mitata. Varmin tapa lienee mitata pitoisuus näytteenoton perässä olevalla prosessikromatograafilla. Samalla laitteella saadaan sitten myös SO₂- ja dimetyylisulfidit. Kromatografien varjopuolena on taas korkea hinta (peruslaite yli 200 000 mk) ja tulosten harva väli. Uuden tuloksen saa 3...8 minuutin välein riippuen analysoitavien komponenttien määrästä. Lisäksi on pelko kunnossapitokustannuksista.

Toinen vaihtoehto on jo kauan käytetty kolorimetrinen rikkivety määräytys, joka perustuu värinmuutokseen, joka tapahtuu näytepaperin kiinteän materiaalin ja kaasun reagoissa.

Esimerkkinä on otettu Maihakin Monocolor-analysaattori. Paperinauha (lyijyasetaatilla tai hopeanitraatilla käsitelty) ajetaan vertailu- ja mittakammion läpi. Vertailukammiossa on puhdas ilma ja mittakammiossa on näytekaasua. Näytekaasun H₂S reagoi paperin kanssa ja tummuu ja tummuusaste mitataan. Mittaus ei ole jatkuva, vaan uusi mittausarvo saadaan 2...4 minuutin välein riippuen asetellusta paperin nopeudesta. Erikoispaperi maksaa analysaattoria kohden noin 6000 mk vuodessa. Liitteessä 11 on periaatekaavio laitteesta.

5.5 Näytteenotto

Käytetyt rikkivety- ja rikkidioksidilaitteet tarvitsevat näytteenottolaitteistot. Laitteisto muodostuu seuraavista osista:

1. Näytteenottosondi (voidaan varustaa puhalluksella)
2. Lämmitettävä näytelinja

3. Näytejäähdytin
4. Lauhteen poisto
5. Näyteventtiili
6. Kosteushälytin
7. Hienosuodatin
8. Näytepumppu
9. Kalibrointiventtiilit ja kalibrointikaasupullot
10. Näytevirtauksen säätö ja virtaushälytys

Liitteessä 12 on näytesysteemin kaavioesitys.

Liian usein varsinainen mittalaite saa huonon maineen, kun näytesysteemi on rakennettu puutteellisesti tai sen toiminnan valvominen laiminlyödään. Valvomoon tuleva suuntahälytys systeemin häiriöistä on välttämätön.

5.6 Pölymittaus

Savukaasujen pölypitoisuuden kohoaminen kertoo, että palaminen ei ole kohdallaan. Säätkohteita ovat lämpötilat, ilmajaot ja lipeän syöttö esimerkiksi. Pöly mitataan sekä ennen, että jälkeen sähkösuotimien, jollain suotimien toimintaa voidaan valvoa. Savukaasupii-pusta taivaalle menevää pölymäärää ei pystytä korkean kosteuden takia mittaamaan jatkuvasti.

Pölymittaukset tehdään yleensä optisilla laitteilla kanavan läpi. Yleisin mittalaite on laserpölymittari. Laserilla on etuja verrattuna hehkulamppuvalolähteisiin. Laservalo on monokromaattista, vanhenemisen kompensointia ei tarvita, vastaanottimen linjaus on helppoa kirkkauden vuoksi ja käytetyt yhteen tulevat pienemmiksi koon puolesta.

Esimerkkilaitteeksi on otettu Emicon-pölymittari, jonka laitteistokuva on liitteessä 13. Säteilylähteenä on Helium-Neon laser. Mittaus perustuu valon vaimentumiseen savukanavassa olevassa hiukkasjoukossa. Mittaus-tulos on suhteellinen pitoisuus.

Valonlähteen ja vastaanottimen kohdistus ei saa muuttua lämpölaajenemisesta tai muusta rakenteiden elämisestä. Usein sekä vastaanotin että säteilijä asennetaan samalle asennusrungolle. Mittaus tarvitsee joko jatkuvan tai ajoittaisen puhdistusilman. Painepuolella savukanavassa yhteen vaativat jatkuvan puhalluksen. Suurissa pitoisuuksissa voidaan mittatietä lyhentää kanavan läpimenevällä sisäputkella, jossa on lyhyempi mittausaukko.

6. TARKISTUSMITTAUKSET

Jatkuvien prosessimittauksien lisäksi on hyvä tehdä ajoittain tarkistusmittauksia prosessin tilasta. Tämä on välttämätöntä jo ympäristönäkökohtienkin vuoksi. Käytettävissä on esimerkiksi laimentavia sondejia käytäviä laitteita, joilla saadaan pitempiäkin tutkimusjaksoja tallennettua. Laitteet ovat jo kuitenkin pyörillä olevia hankalammin kuljetettavia analysaattoreita, jotka sopivat isompiin tutkimuksiin.

Varsin käyttökelpoinen on helposti mukana kannettava kylläkin vain hetkellisiä arvoja antava mittalaite, jolla saadaan happi, hiilimonoksidi, hiilidioksidi ja typen oksidit mitattua vaivattomasti. Näitä laitteita on useita markkinoilla. Liitteessä 14 on esimerkki yhdestä laitteesta. Hinnat vaihtelevat 15 000 - 30 000 mk välillä.

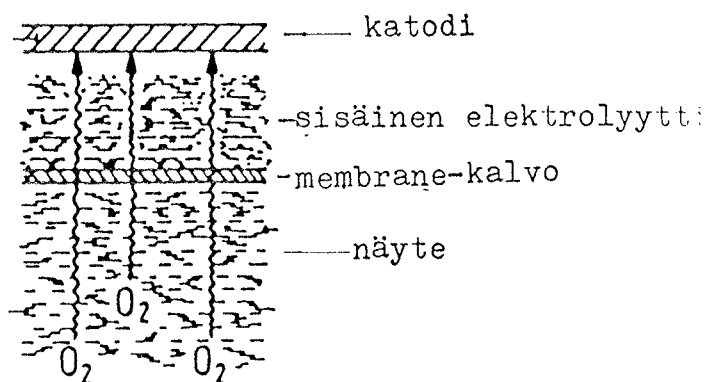
7. KUNNOSSAPITO

On turha kuvitella, että edellämainitut mittaukset voisi asennuksen ja virityksen jälkeen jättää ilman jatkuvaa huoltoa. Juuri nämä laitteet vaativat normaalia enemmän huoltoa ja lähtökohta on, että soodakattilan erikoismittaukset vaativat viikossa normaalisti 2 miestyöpäivää tarkistus- ja huoltotyötä. Päivittäinen aamukierros on myös tärkeä, jotta alkavat viat ja liukumiset huomataan ajoissa. Laitteiden kalibroinnit ja isommat huollot on hyvä suunnitella etukäteen tietyksi ajankohdaksi ja valvoa, että ne tulee myös tehdyksi. Useimmiten kunnossapito lyödään laimin ja tämän takia mittauksiin ei enää uskota ja laitteet saavat huonon maineen tämän takia. Panostus laitteiden kunnossapitoon maksaa itsensä takaisin lyhyessä ajassa.

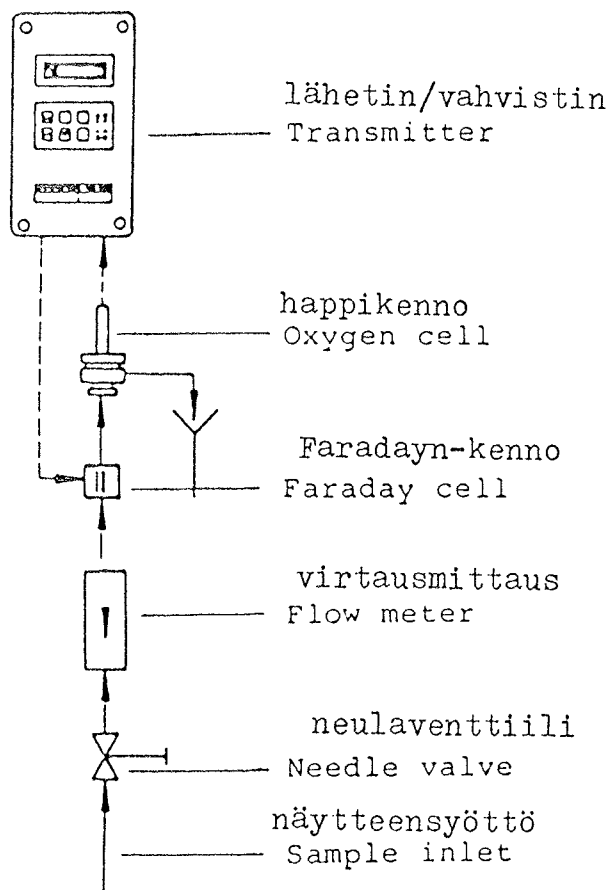
VIITTEET: Tekstissä mainittujen laitteiden esitteet

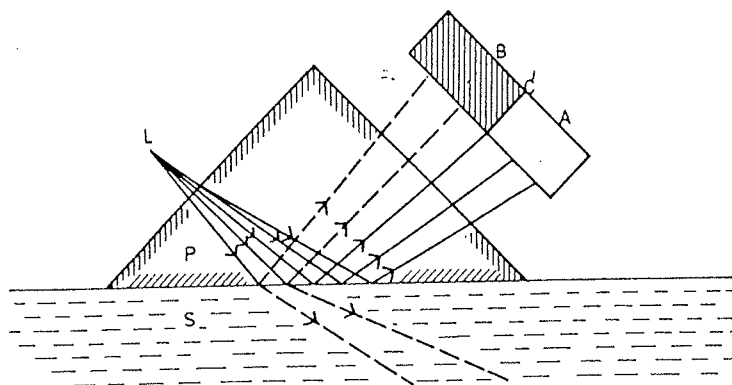
LIUENNEEN HAPEN ANALYSAATTORI

O X I S T A T

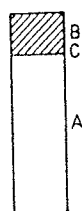


läpivirtaus piirros
Fig. 3: Flow Diagram

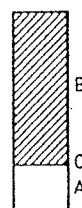




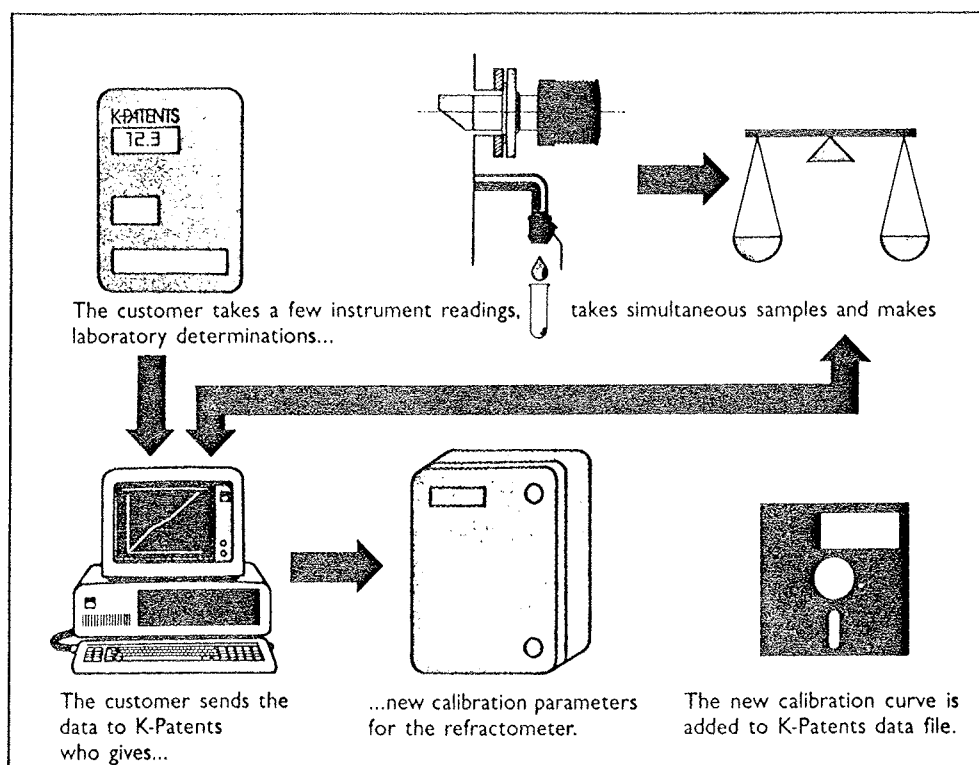
Refraktometrin periaate.



Alhainen pitoisuus



Korkea pitoisuus



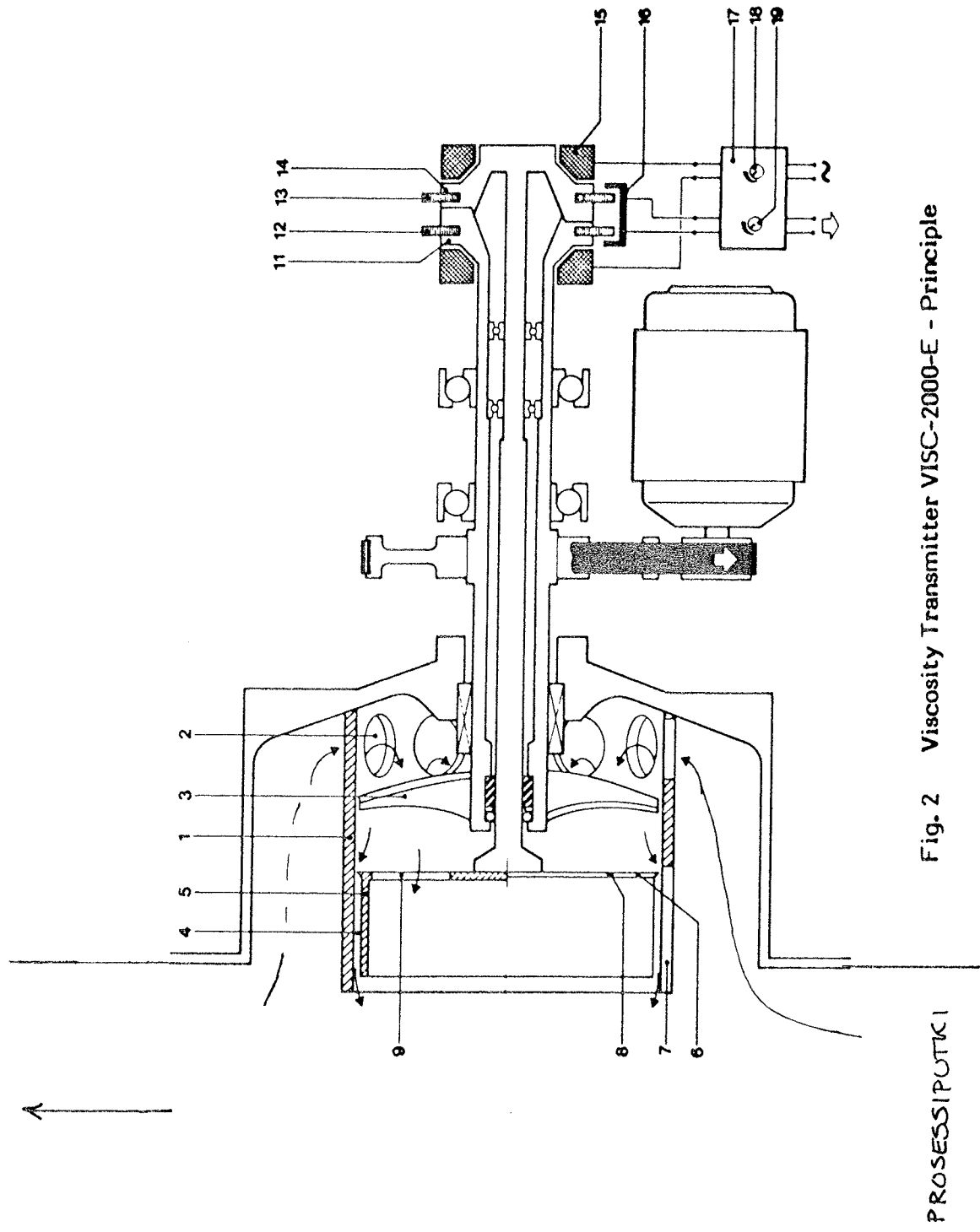
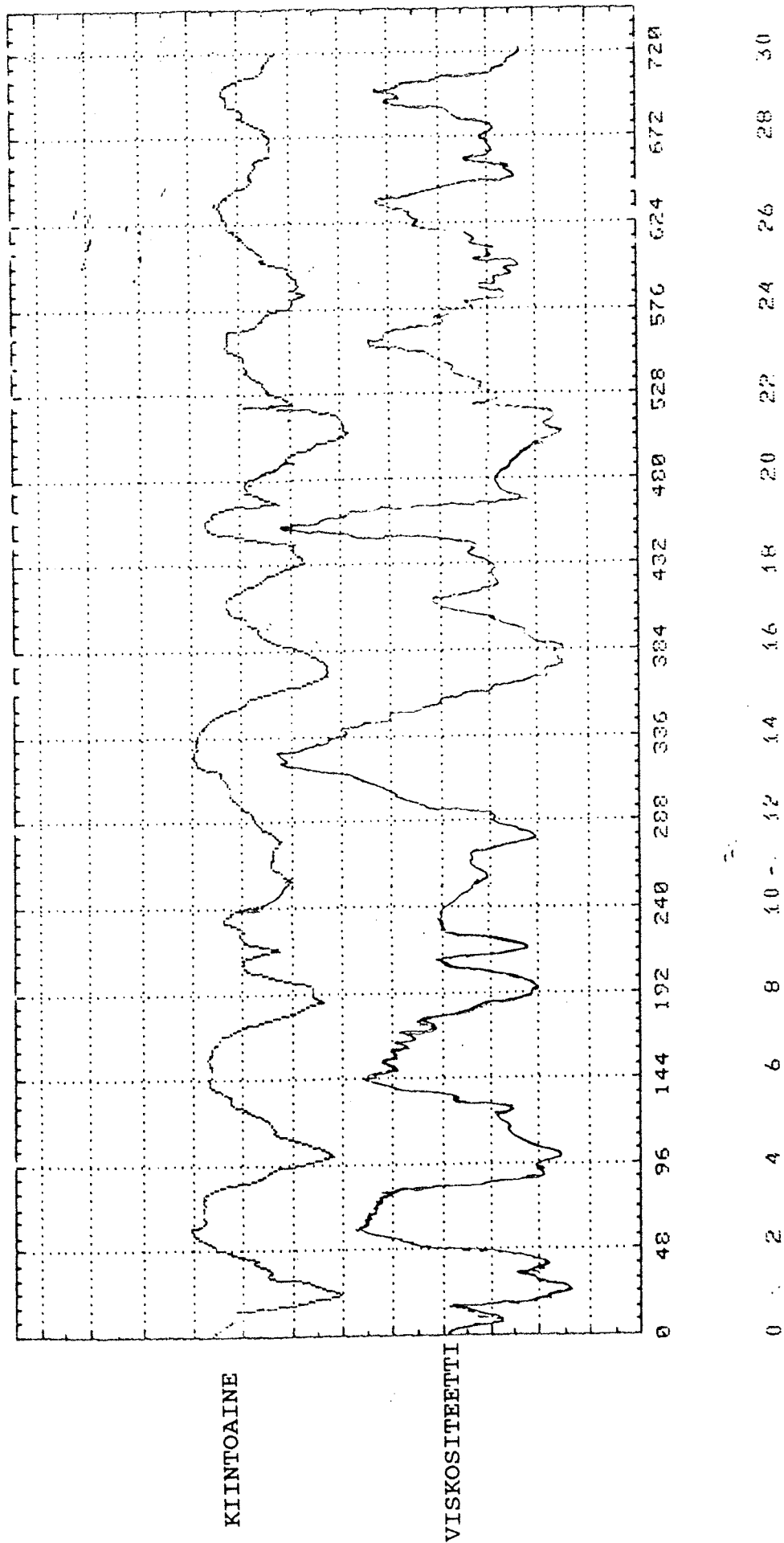


Fig. 2 Viscosity Transmitter VISC-2000-E - Principle

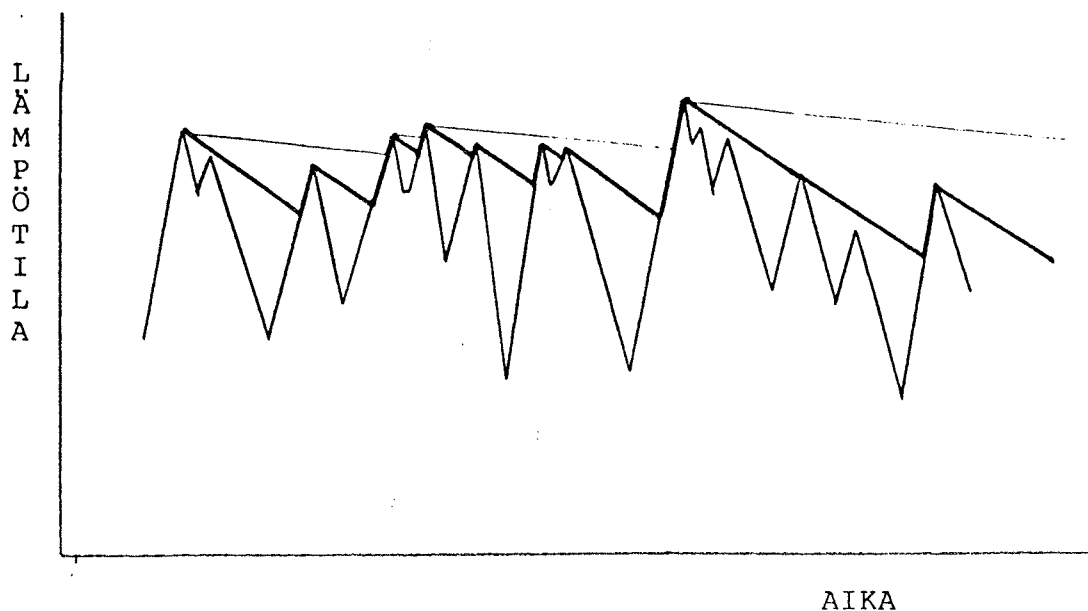
PROSESSIPUTK1

POLTTOOLIPEÄN KIINTOAINEN JA VISKOSITEETTI, KUUKAUSIKÄYRÄ

Vaihtuva mänty/koivulipeä

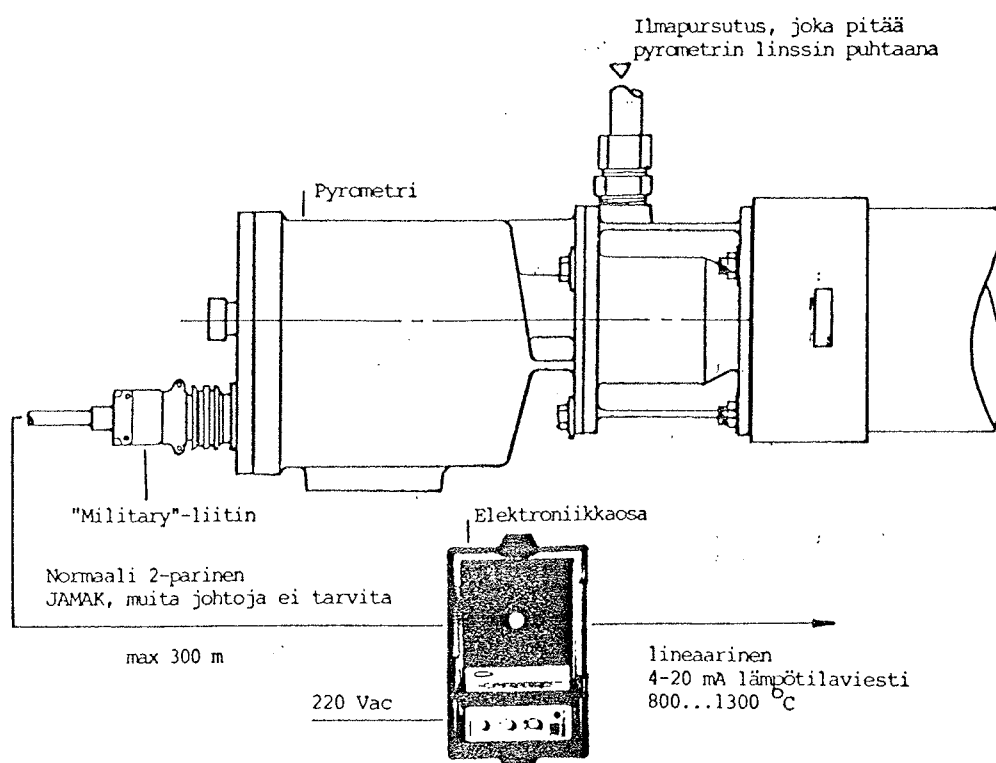


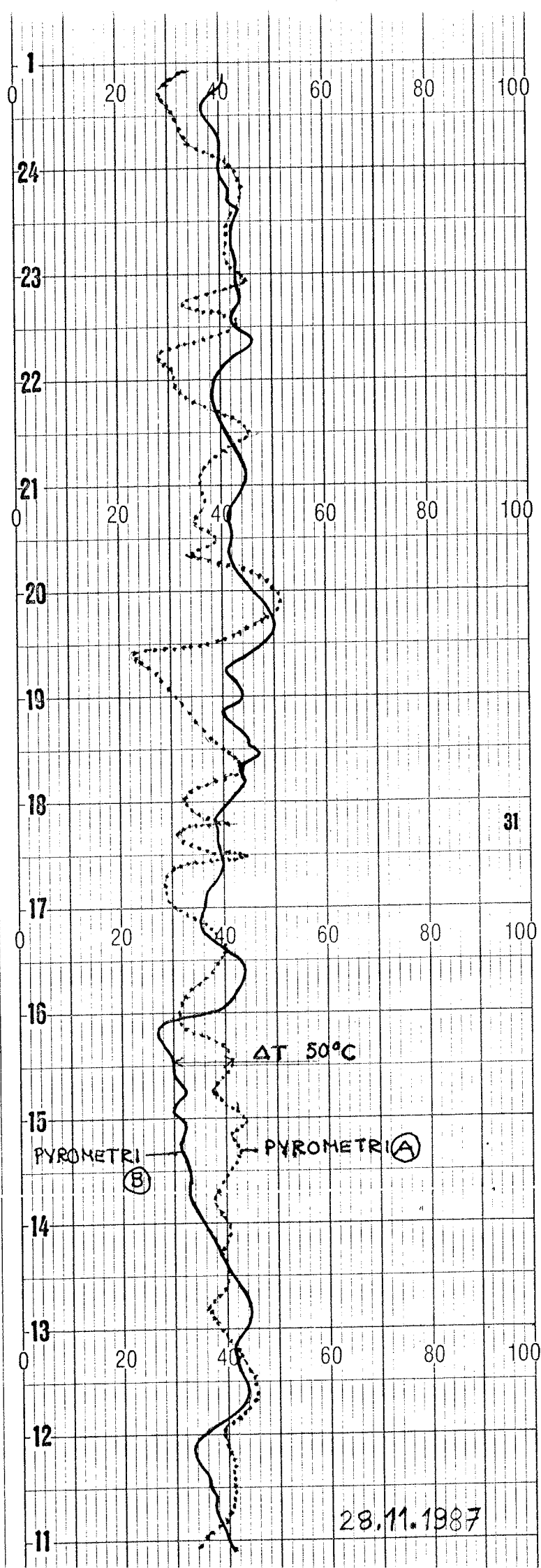
LÄMPÖTILA $\pm 1^{\circ}\text{C}$

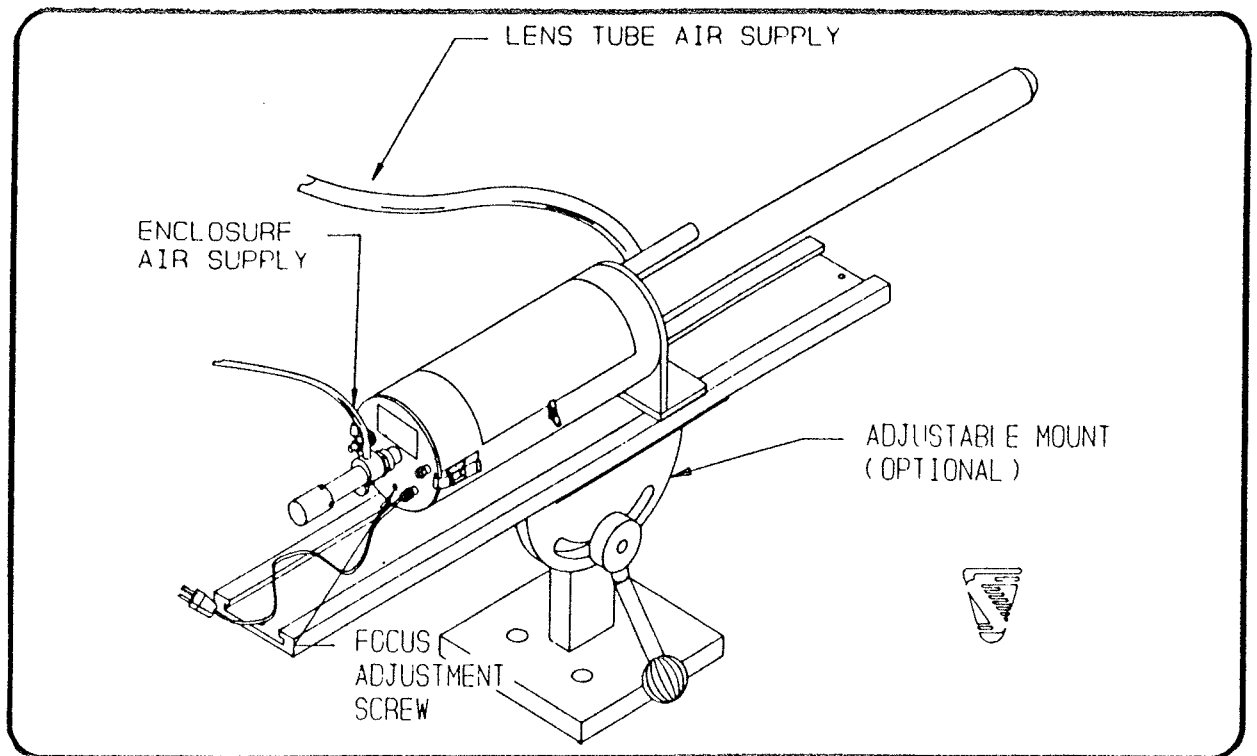


- Ei huippuarvon pitopiiriä, nousu- ja laskunopeus sama.
- Laite varustettu huippuarvon pitopiirillä, nousunopeus 30 mS, laskunopeus esim. 5 astetta sekunnissa.
- Kuten edellä, mutta laskunopeus pienempi.

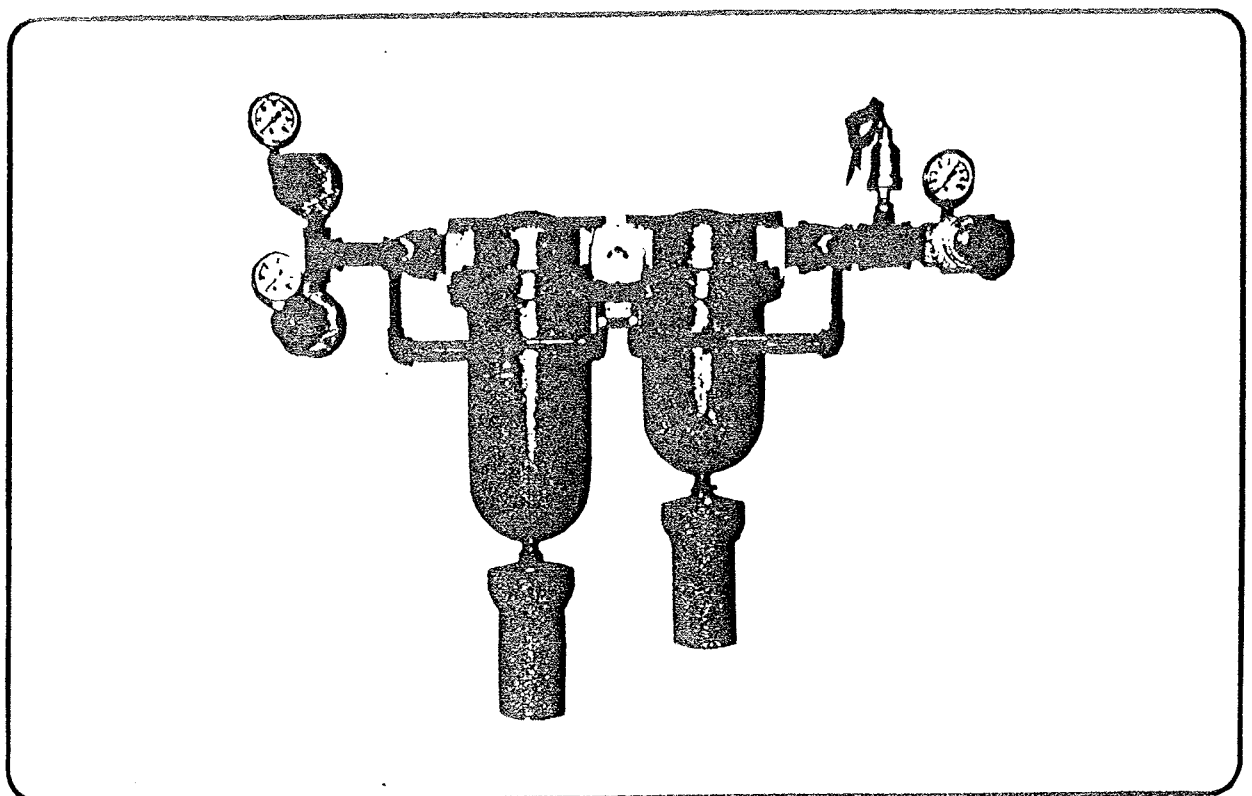
Modline II huippuarvon pitopiirin laskunopeus on aseteltavissa 0.1 - 100 s/ 1 % alueesta.



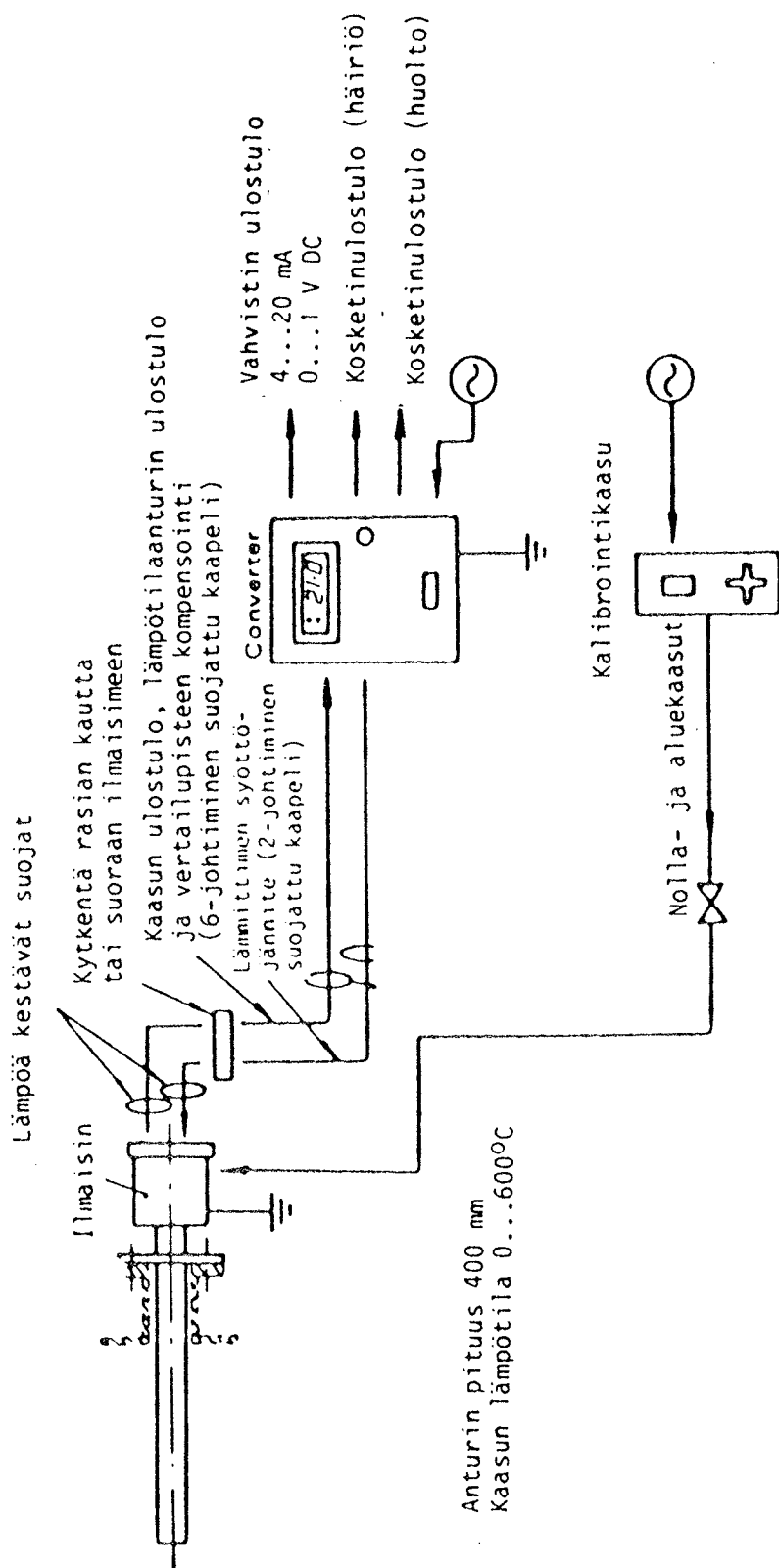




Jäähdytysilman liitännät ja kuvan tarkennuksen säätöruuvi



Ilmasuodatinyksikkö

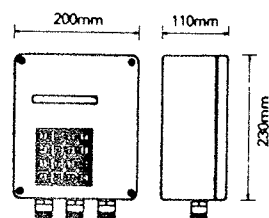


YOKOGAWA

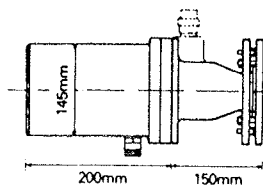
Model ZO21
DIRECT INSERTION TYPE
ZIRCONIA OXYGEN ANALYZER

Codel 1010

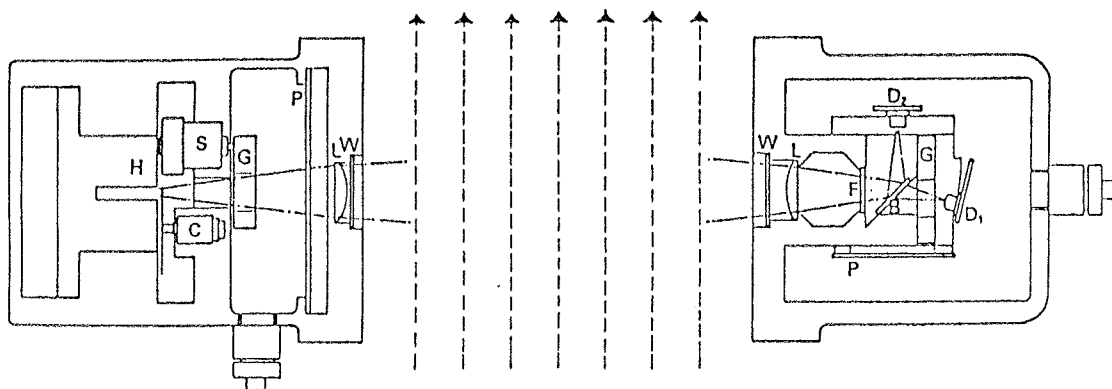
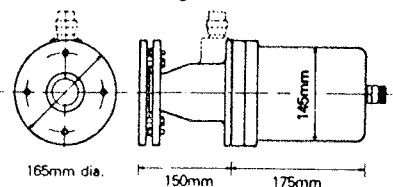
Signal Processor



Infra-red Source and Purge Unit



Infra-red Receiver and Purge Unit

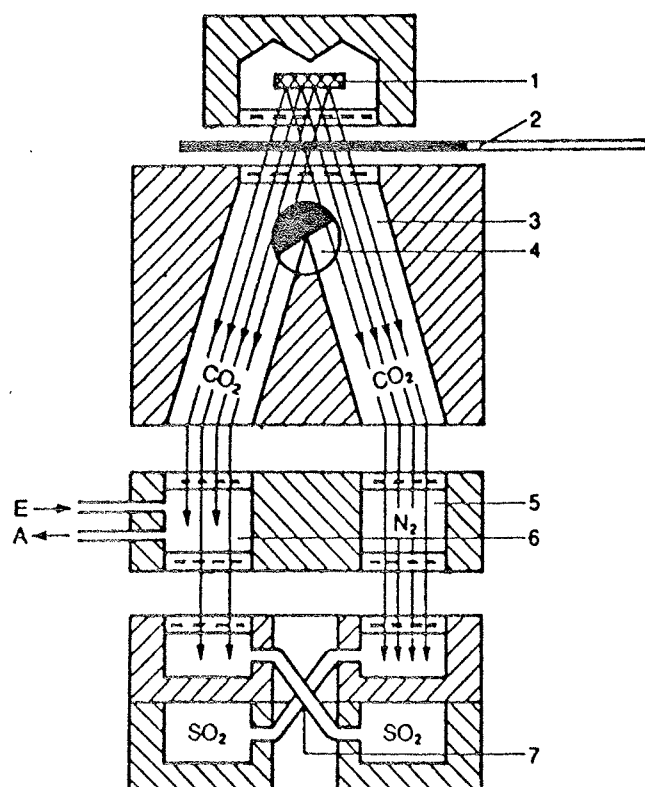


Infra-red Source

- C chopper motor and blade
- G gas cell
- H heater
- L lens
- P printed circuit card
- S stepper motor and gearbox
- W window

Infra-red Receiver

- B beam splitter
- D₂ side detector
- D₁ end detector
- F filter
- G gas cell
- L lens
- P printed circuit amplifier board
- W window



U L T R A M E T E R

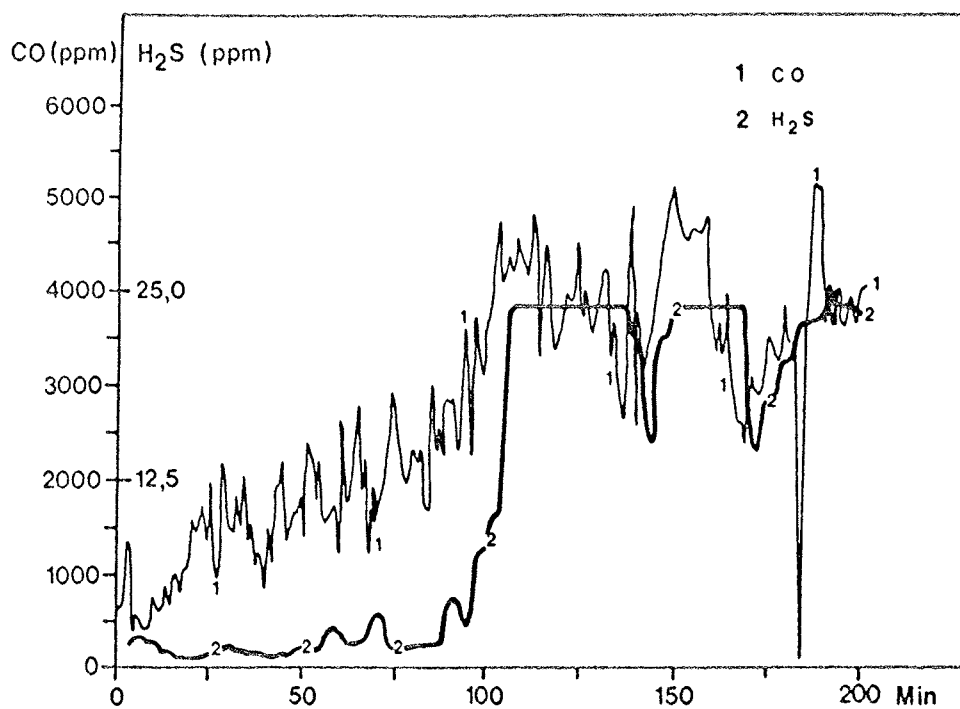
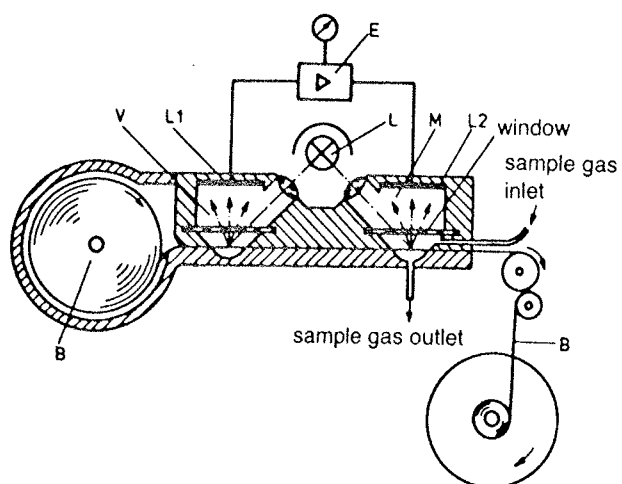
1. IR-lähde
2. Katkoja
3. Suodatinkammio
4. Heijastuksen vaimennin
5. Vertailukammio
6. Näytekammio
7. Mikrovirtausanturi



Mikroprosessori takaa yksinkertaisen ja varman kayton

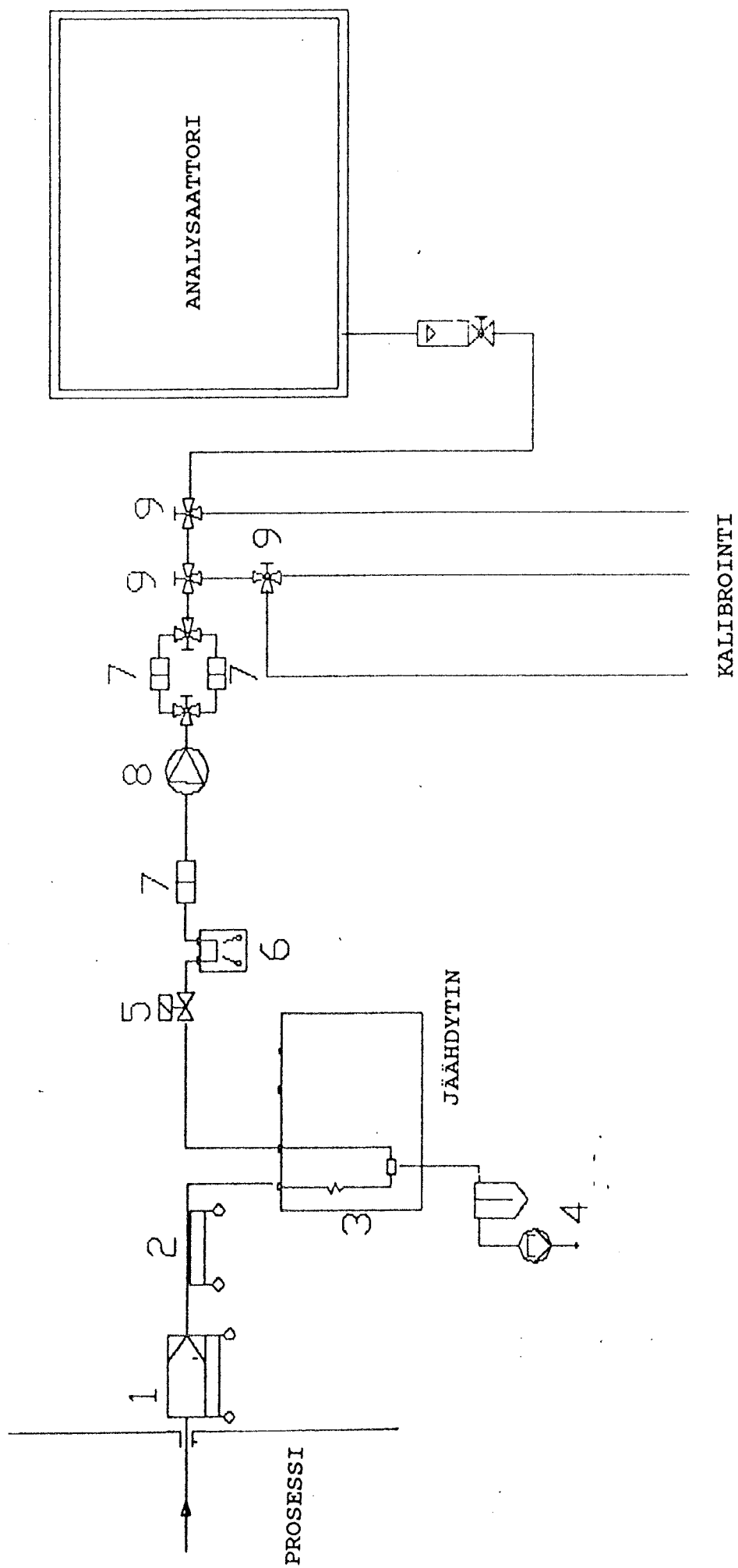
- 01 Mittausalueen vaihto
- 02 Mittausalueen naytto
- 03 Ohjearvo 0-pisteen naytto
- 04 Ohjearvo 0-pisteen asetus
- 05 0-pisteen kalibrointi ohjearvoon
- 06 Vastanottimen ohjearvon naytto
- 07 Vastanottimen ohjearvon asetus
- 08 Vastanottimen ohjearvon kalibrointi
- 09 Raja-arvon naytto

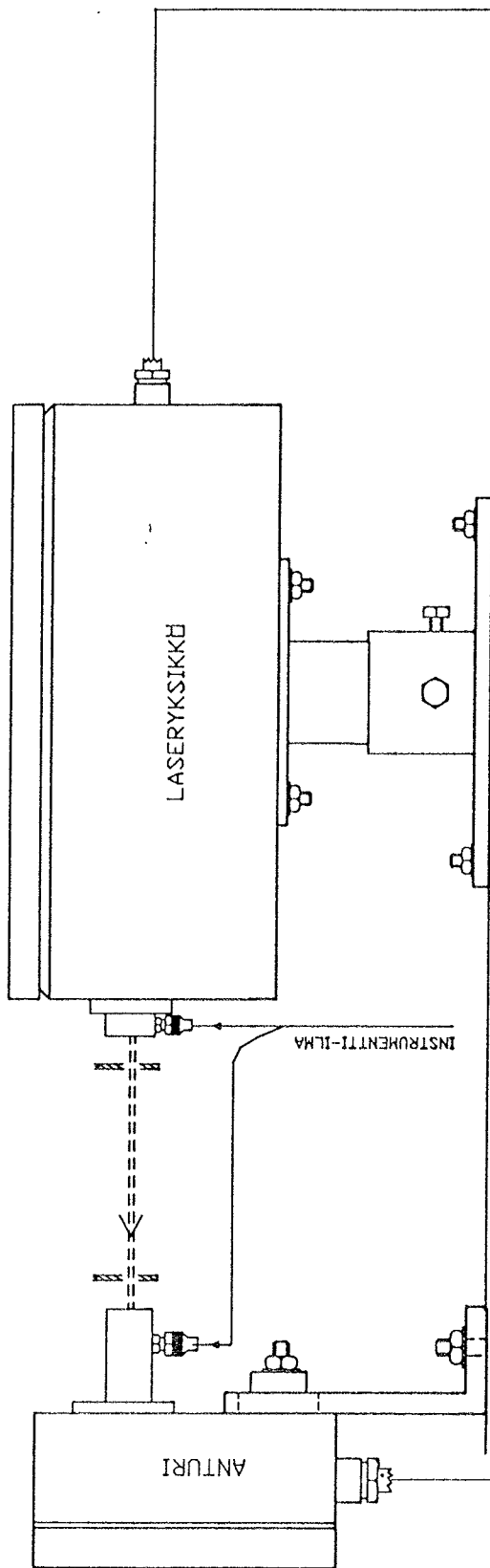
MONOCOLOR 1N



Boström et al, Nordmiljö 80 Rapport

NÄYTTEENOTTOSYSTEMI





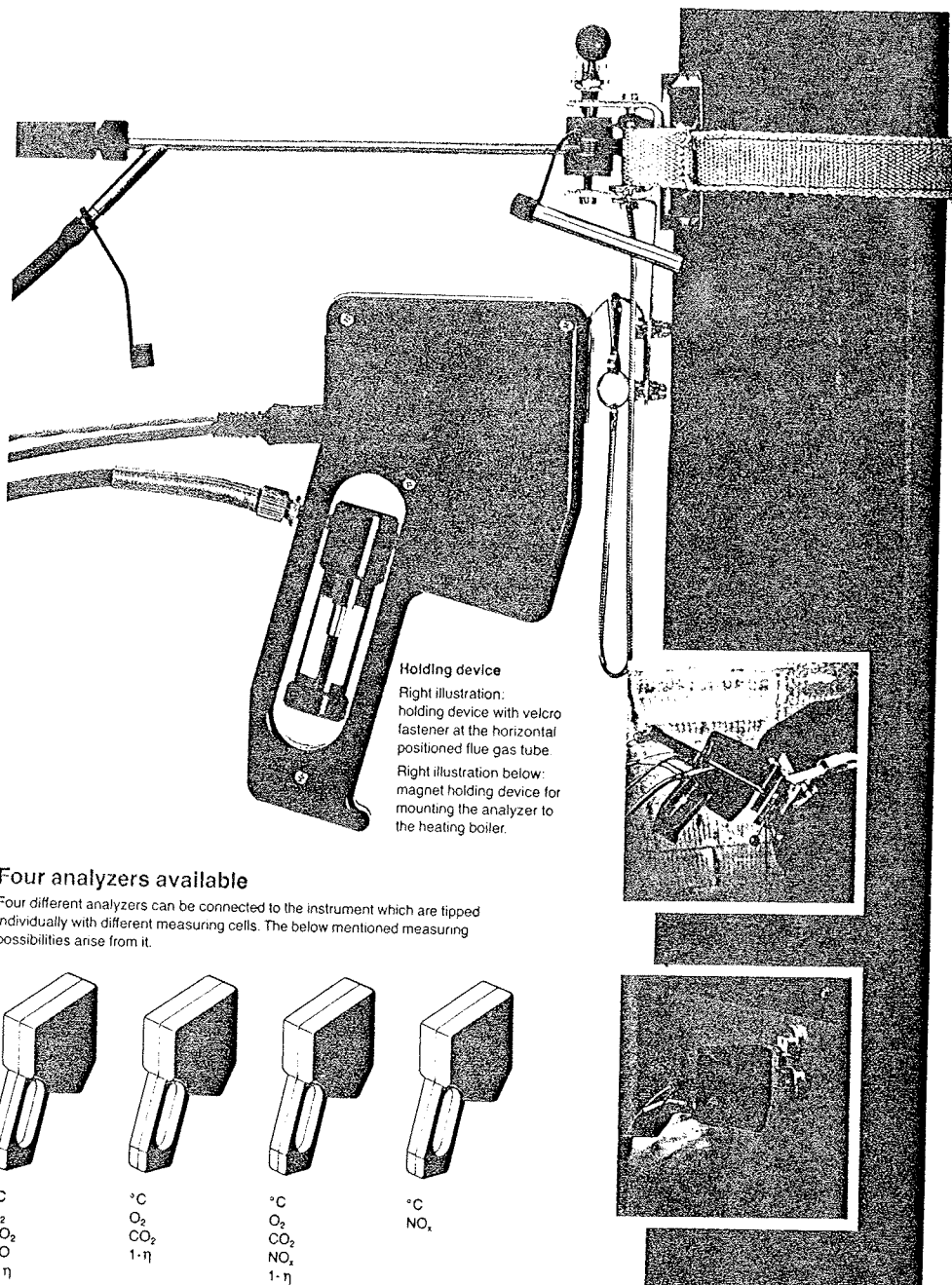
JAMAK 2x(2+1)x0,5

1	Osan nimi	AL	1
Osä	Osän tai kokoonpanoryhmän nimi	Piirustuksen Laatu	Muoto, mitat, malli
Valmist	Litty	Osän lajimerkki	Kpl
Massa kg	Laskettu Punnittu	Toleranssit	Suhde
EMICON P EMP		toleranssit	Part. JH
		mitat	Tark. Hyv.
EMIPLAN OY		KAAPELOINTI	
Vuoksenniskantie 47 SF-55800 IMATRA		3200-1	
		Korvaa Korvattu	

Liite 13

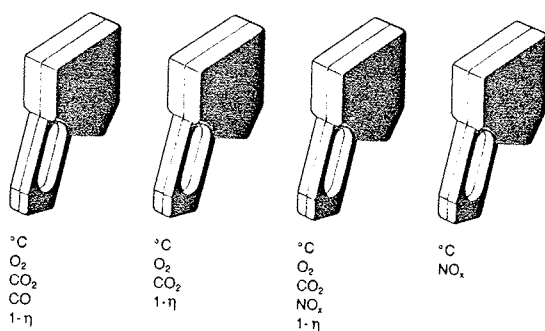
testo® 32

Electronic Combustion Efficiency Analyzer for °C, O₂, CO₂, CO, NO_x and flue gas loss

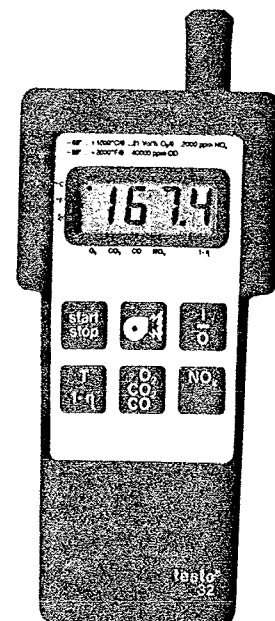
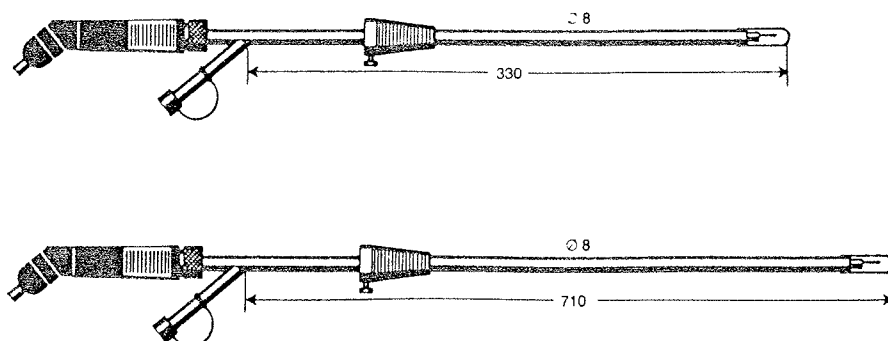


Four analyzers available

Four different analyzers can be connected to the instrument which are tipped individually with different measuring cells. The below mentioned measuring possibilities arise from it.



Flue gas probes



SOODAKATTILAN AUTOMAATION TOTEUTUSTEKNIikka**1****JOHDANTO**

Esityksessä käsitellään soodakattilan automaatiokonseptin valintaan vaikuttavia tekijöitä, automaatiojärjestelmän rakennetta, poikkeustilanteiden hallintaa, lukituksia ja suojauksia sekä totetusratkaisua lainsäädännön kannalta. Yhteenvedossa sivutaan käyttökokemuksia.

Kemi Oy rakensi vuosina 1982 - 83 uuden kiinteän polttoaineen kattilan korvaamaan öljyä raaka-aineenaan käyttävän säätökattilan. Samassa yhteydessä rakennettiin kyseiselle K10-kattilalle ja GV-soodakattilalle yhteinen keskusvalvomo, josta ajetaan molemmat kattilat.

Vuonna 1984 uusittiin BW-soodakattilan automaatio vastaamaan nykyaikaisen soodakattilan ohjaustarpeita.

Rakenteilla olevan Tampella-soodakattilan automaation toteutuksessa hyödynnetään käytössä olevista järjestelmistä saadut kokemukset ja markkinoilla olevien järjestelmien tekninen kehitys.

2**KATTILOIDEN KOKONAISAUTOMAATIOKONSEPTTI**

Konseptti on kolmitasoinen. Ylimpänä on prosessitietokone, jonka tehtävänä on soodakattilan käyttöraportointi, polton optimointi, kattilasta saatavan viherlipeän laadun korkea taso ja tasaisuus sekä nuohoushöyryn käytön minimointi.

Välitasoa automaatiokonseptissa edustaa digitaalinen automaatiojärjestelmä, jonka avulla on toteutettu mittausinformaation tuonti valvomoon, prosessin perussäädöt, hälytysinformaatio, moottoriohjaukset ja laitekohtaiset lukitukset.

6.10.1989

2

Automaation alinta tasoa edustavat prosessisuureiden mittaus- ja toimilaitteet sekä pienreletekniikalla toteutetut kattilasuojaukset. Automaatiojärjestelmän mahdollisen totaalisen häiriön varalta on molemmille olemassaoleville kattiloille rakennettu ns. apuohjauspaikka.

Apuohjauspaikkaan kerättyjen prosessin tärkeimpien mittaus-, säätö- ja ohjaussuureiden avulla voidaan suorittaa kattiloiden hallittu alasajo.

3

AUTOMAATIOKONSEPTIN VALINTAAN

VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ

Digitaalitekniikkaan perustuvan teknologian riskit kyetään hallitsemaan mikäli niiden olemassaolo huomioidaan automaatiojärjestelmän suunnittelussa ja toteutuksessa.

Tilanteessa, jossa automaatiokonseptin valinta tehdään, on huomioitava soodakattilalaitossovelluksen erityispiirteet. Erityistä huomiota on kiinnitettävä automaation sähkösyöttöön, ohjausten periaateratkaisuihin, kahdennustekniikkaan ja suojausten sekä lukitusten toteutustekniikkaan.

Muita soodakattilasovelluksessa huomioitavia seikkoja ovat:

- valvomon miehitys
- mittaukset, säädöt, hälytykset, ohjaukset ja lukitukset jaettava prosessiosittain prosessiasemille
- apuohjaus/varaohjauspaikan tarve ja laajuus
- kattilasuojan ja pikapysäytyksen sekä -alasajon toteutus
- yksittäisohjaustasokäyttö

4

AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄ

Edellä kuvatun kokonaisautomaation välitaso toteutetaan automaatiojärjestelmällä.

Automaatiojärjestelmä rakentuu toimintojen hajautus ja valvonnan keskitys - periaatteella. Toiminnot on jaettu itsenäisesti toimiville yksiköille, mikrotietokoneille. Mikrotietokoneyksiköt ovat nimeltään - riippuen tehtävästä: Operointiasema, prosessiasema, hälytysasema, piirturiasema ja raporttiasema.

Prosessin valvonta suoritetaan keskitetysti videopohjaisesta valvomosta, jossa näyttö- ja toimintojen ohjaustekniikka mahdollistaa useamman kattilan hallinnan samasta pisteestä.

Käyttäjä suorittaa prosessin valvontaa ja ohjausta värivideomonitorien ja näppäimistöjen avulla.

Näppäimistössä on normaalien kiinteiden näppäimien lisäksi joukko dynaamisia näppäimiä, joiden merkitys riippuu näytössä olevasta kuvasta. Näppäimien merkityksiä voidaan tarvittaessa muuttaa määrittelymenettelyllä ilman ohjelmamuutoksia.

Valvomon värinäyttöpäätteelle saadaan eri lähteistä tulevia tietoja. Ne voivat olla tietoja suoraan prosessista prosessiaseman kautta, historiatietoja tai laskettuja arvoja raporttiasemalta, tai tietoja prosessitietokoneelta. Näitä tietoja voidaan yhdistellä samaan kuvaan ja ne voidaan esittää numeroarvojen lisäksi pylväsdiagrammeina, historiakäyrinä, tilanteen mukaan vaihtuvina väreinä, teksteinä ja elävinä pintoina. Tällä tavoin voidaan rakentaa kuhunkin käyttötilanteeseen parhaiten sopiva kaaviokuva riippumatta tiedon lähtökohdista.

Piirinäytöstä tai kaaviokuvasta ohjataan automaatiojärjestelmän eri tasoilla olevia kohteita kuten asetusarvoja, moottoreita, venttiilejä, sekvenssejä ja viritysparametreja.

6.10.1989

4

Eräs tärkeimmistä toiminnoista valvomossa on hälytysten ilmaisu ja käsittely. Hälytystilanteissa käyttäjä pääsee kiinni häiriökohteeseen yhdellä näppäimen painalluksella.

AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄN OSAT

Väylä Väylä yhdistää kaikki järjestelmän asemat toisiinsa ja mahdollistaa asemien välisen tietojen siirron.

Operointinäppäimistö

Käyttäjä antaa järjestelmälle haluamansa komennot operointinäppäimistön välityksellä. Tyypillisiä toimintoja ovat esimerkiksi kuvapyyntöt, asetusarvojen muutokset ja suorat ohjaukset.

Sormiosoitus tai kursori

Järjestelmän sormiosoitusyksikön tai kursorin avulla voi käyttäjä operoida suoraan kuvaruudussa olevaan näyttöön.

Värivideo Käyttäjä seuraa ja ohjaa prosessia värivideon näyttöjen avulla.

Operointiasema Operointiasema huolehtii värivideon kuviin liittyvien tietojen vastaanotosta, näytöstä sekä kuvien päivityksestä. Operointiasema tulkitsee operointinäppäimistöltä ja sormiosoitusyksiköltä tulevat komennot ja välittää ne edelleen muille asemille.

Raporttiasema Raporttiasema huolehtii historiatietojen keruusta ja tallennuksesta sekä raporttien muodostamisesta. Järjestelmään kuuluvat massamuistit on liitetty raporttiasemaan. Järjestelmän konfigurointi suoritetaan raporttiasemaan liittyvällä kirjoittimella tai ohjelmointilaitteella.

Levymuisti Raporttiasema tallettaa keräämänsä historiatiedot levymuistiin. Sille on tallennettu myös järjestelmän sovellutusohjelmiston varmuuskopiot. Muistiin kuuluu kaksi levy-yksikköä joista toinen toimii varmistusmuistina.

Hälytysasema Hälytysasema huolehtii hälytystietojen käsittelystä ja tulostuksesta.

Prosessiasema

Prosessiasema kytkeytyy prosessiin liitäntäkorttiensa välityksellä. Asema huolehtii tyypillisesti mittauksista, säädöistä, moottori- ja venttiiliohjauksista, sekvenssiohjauksista sekä hälytysten muodostamisesta.

Lisäksi järjestelmään liittyy hälytys- ja raporttikirjoitin sekä kuvaruudussa olevan kuvan kopiointilaitte.

5**POIKKEUSTILANTEIDEN HALLINTA**

Poikkeustilanteena pidetään mahdollista tilannetta, jossa osa kattilan automaatista tai koko automaatiojärjestelmä vikaantuu siten, että sillä on vaikutusta kattiloiden ajoon.

Kun järjestelmä on kunnossa, niin prosessiteknisistä syistä aiheutuvat poikkeukselliset ajotilanteet kyetään hallitsemaan jopa paremmin kuin analogisella säätöjärjestelmällä, sillä sovellutusohjelmissa kyetään osittain varautumaan kyseisiin tilanteisiin.

Automaatiojärjestelmän rakenteessa on kiinnitetty erityistä huomiota toimintavarmuuteen.

Järjestelmän perusrakenne - ohjelmisto ja laitteisto on toteutettu siten, että yhden yksikön vikaantuminen ei vaikuta muun järjestelmän toimintaan:

- järjestelmän jännitesyötössä on automaattinen akuilla varustettu NO-BREAK-laitteisto
- väylä on kahdennettu
- operointiasemat ovat toistensa varalaitteita
- värivideomonitorit ja näppäimistöt ovat toistensa varalaitteita
- osa prosessiasemista on kahdennettu
- tärkeimmät mittaukset ja ohjaukset on toteutettu yksittäisliitetyntä-korteilla
- moottoriohjaukset on toteutettu kaksikanavaisina impulssiohjauksien, joissa piirin pito on kentällä. Tämä mahdollistaa jopa moottoriohjaukskortin vaihdon käynnin aikana.

6.10.1989

6

Prosessiasemien kahdennus on toteutettu siten, että systeemiin kuuluu kaksi identtistä asemaa, jotka suorittavat samoja tehtäviä. Erillinen yksikkö valvoo asemien kuntoa ja valitsee kentälle sen aseman ohjaukset, joka toimii oikein.

Prosessiasemien kahdennus kattaa prosessorin, aritmetiikkaprosessorin, muistit ja prosessiliityntäkortit.

Kattiloiden prosessiasemista puolet on kahdennettu. Kahdennetuille asemille on keskitetty tärkeimmät kattilan mittaus-, ohjaus- ja säätösuureet, kuten:

- syöttövesi- ja höyrylinjojen suureet
- tehon säädön, ilma- ja savukaasulinjojen suureet
- polttoaineen syötön suureet

Hälytysasemat ovat ns. nopeita hälytysasemia.

Asemien erottelykyky on 20 ms. Hälytysasema on täysin kahdennettu asemien kytkentäkortteja myöten.

APUOHJAUSPAIKKA

Automaatiojärjestelmän mahdollisen totaalisen häiriön varalta on kattiloille rakennettu apuohjauspaikka hallittua alasajoa varten. Apuohjauspaikan analogiset mittaus- ja säätölaitteet on langoitettu automaatiojärjestelmän rinnalle ristikytkentään saakka. Sen sijaan apuohjauspaikan moottoriohjaukset on toteutettu järjestelmän yksittäisohjauskortin kautta.

Apuohjauspaikkaan on koottu seuraavat suureet:

- lieriön pintasäätö
- tulipesän paineensäätö
- syve-venttiilin paine-eron säätö
- syve, höyry, ilma, lieriön pinta, höyryn lämpötila- ja painepiirrot
- tärkeimmät syve- ja höyrylinjojen moottoritoimilaitteella varustetut venttiilit
- syve-pumppujen, ilma- ja savukaasupuhaltimien ohjaukset
- öljypoltinohjaukset ja soodakattilan pikatyhjennysventtiileiden ohjaus

6.10.1989

7

Järjestelmän ohjelmat ovat patterivarmistetuilla muisteilla. Edelleen ohjelmien varmuuskopiot ovat kovalevyillä ja kasettinauhalla. Mikäli diagnostiikka havaitsee virheen asemien muisteissa, ladataan ko. ohjelma-alue uudelleen kovalevyltä asemalle. Periaatteessa oikean ohjelmiston käyttö on varmistettu kolmeen kertaan.

6**LUKITUKSET JA SUOJAUKSET**

Kattilalukitukset ja -suojaukset, öljypolton lukitukset ja kattilan tuuletus sekä soodakattilan pikatyhjennysautomaatiikka on toteutettu reletekniikalla. Toteutusperiaate on lepovirtakytkentä, mikä merkitsee, että suojaus- ja lukitusvirtapiirin koskettimet ovat normaali-tilassa sulkeutuneina ja virtapiirin katkeaminen aiheuttaa lukitus- tai suojaustoiminnan.

Jännitetaso on 220 V, 50 Hz.

Lukituksissa ja suojauksissa tarvittavat raja-arvosignaalit on muodostettu erillisissä analogisissa raja-arvovyksiköissä.

Suojausten laukeamisesta on hälytys ja suojauksen syy nähtävissä erillisestä merkkilampputaulusta, joka on sijoitettu apuohjauspaikkaan.

Rakenteilla olevassa kattilassa kattilasuoja toteutetaan reletekniikalla, mutta muutoin lukitukset tehdään automaatiojärjestelmässä.

7**TOTEUTUSRATKAISU LAINSÄÄDÄNNÖN KANNALTA**

Varsinaiset kattilalaitoksia koskevat tekniset määräykset on annettu noudatettavaksi määrätyillä standardeilla.

Paineastia-asetuksen 549/73 käyttäjiä koskeva § 30 määrittelee, että paineastian omistajan on nimettävä paineastialle yksi tai useampi käyttäjä. Käyttäjän tehtävänä on henkilökohtaisesti hoitaa paineastiaa käytön aikana.

Standardi SFS 2864 määrittelee vedensyöttölaitteiden ja polttoaineiden syötön automatiikan. Esim. kohdassa 6.2.1 todetaan, että polttoaineiden syötön ja vedenkorkeuden säätöjen tulee olla itsetoimivia. Määräykset eivät määrittele sinällään tekniikkaa, jolla itsetoimivuus olisi toteutettava, joten tätä taustaa vasten se voidaan tehdä ohjelma-perusteisesti mikäli toteutus luo edellytykset höyrykattilan turvalliselle käytölle.

Standardissa SFS 3337 kohdassa 4.3.1 todetaankin, että tarkkailu-, säätö- ja ohjauslaitteiden tulee olla sellaiset, että kattilalaitoksen käyttöhenkilökunta voi turvallisesti käyttää höyrykattilaa suunnittelu-arvojen ja käyttöohjeiden mukaisesti. Samassa standardissa määritellään automaatiolaitteiden ja lukitusten ennen kattilan käyttöönottoa tapahtuva kalibrointi, viritys ja kokeilu. Lukitusten kohdalla todetaan, että ne on kokeiltava erityisen huolellisesti. Edelleen standardi 3337 määrittelee käyttö- ja kunnossapito-ohjeet, joista tulee ilmetä selvitykset ohjausten ja säätöjen toiminnasta ja käytöstä sekä selvitys lukitusten toiminnasta ja niiden määrääjain suoritettavasta kokeilusta.

Uuden teknologian käyttöönotossa joudutaan periaatteessa lainsäädännön kannalta vastaamaan kysymykseen: Onko ohjelmoitava digitaalinen automaatiojärjestelmä tarpeeksi luotettava ja turvallinen höyrykattilan valvonta- ja säätölaitteistoksi. Mielestäni käytäntö on vastannut kysymykseen myönteisesti.

Standardi 3338 sisältää määräykset kattilan automatiikan tarkastuksesta.

6.10.1989

9

Eräs toistuvasti ongelmia aiheuttava toiminto kattila-automaatiossa on suojaus- ja lukituspiirien toiminnan tarkistus ennen kattilan käyttöönottoa. Olisi toivottavaa, että TTK osaltaan ryhtyisi vaikuttamaan, jotta lukitusraja-arvoluettelosta ja lukitusten koestuspöytäkirjasta tehtäisiin SFS-standardi. Uskoisin, että tämä olisi myös TTK:n edun mukaista, koska nykyisin TTK:n edustajat joutuvat luottamaan kyseisten tarkastustoimintojen toteuttamisen osalta kattilan käytönvalmisteluaikaisen käytönvalvojan ilmoitukseen, joka saattaa usein olla varsin yleisluonteinen. Samaisia lukitusraja-arvoluetteiloita ja -koestuspöytäkirjoja voitaisiin hyödyntää myös kyseisten kohteiden määräaikaistarkastuksissa.

Valmisteilla oleva standardiehdotus PAL 420 höyrykattilan vähimmäisvaatimuksista ottaa kantaa myös automaation toteutustekniikkaan. Ehdotuksessa otetaan kantaa sähkösyötön katkeamattomuuteen, lukitusten ja suojausten toteutukseen useampikanavaisena, itsediagnostiikkaan, kattilasuojan rakentamiseen kaksinaivaisena ja varaohjauspaikan tarpeellisuuteen. Ehdotusta on valmisteltu pari vuotta. Tänä aikana automaatiota koskevat määrittelyt ovat jo osin vanhentuneet.

Yleisesti ottaen voitane todeta, etteivät kattilalaitoksia koskevat noudatettavaksi määrätyt standardit vastaa tämän päivän käytäntöä mittaus-, ohjaus- ja valvontalaitteita koskevilta osiltaan. Tiettyjä puutteita esiintyy myös omistajan nimeämän käytönvalvojan ammattipätevyydessä, kun on kyse kattilalaitosten nykyautomaatiosta.

6.10.1989

10

8

YHTEENVETO

Tarkasteltaessa automaatiojärjestelmän luotettavuutta voidaan tähän astisten kokemusten perusteella todeta, ettei epäkäytettävyyttä tuotannon tekemisen suhteen ole esiintynyt. Toisaalta voidaan todeta, että ellei varmennuksia ja kahdennuksia olisi toteutettu, niin epäkäytettävyyttä olisi esiintynyt.

Järjestelmärakenteen elektroniikan onnistunut hajautus- ja kahdennusfilosofia ovat taanneet etteivät esiintyneet viat ole näkyneet tuotannonmenetyksinä. Järjestelmä on kyetty koulutetun oman henkilökunnan ja osittain huoltosopimukseen perustuvan valmistajan huoltohenkilökunnan avulla pitämään kunnossa niin, että vika-ajat ovat olleet verrattain lyhyitä.

Valittu digitaalinen automaatiojärjestelmä täyttää kokonaisuutena tarkasteltuna luotettavuuskriteerit, joita kyseinen sovellutuskohde edellyttää.

AHLSTROM

Höyrykattilatehdas

Erkki Koskela

MUISTIO/am13

6.10.1989

1(5)

ASIA : Soodakattilapäivä 26.10.1989

AIHE : KUNNONVALVONTAJÄRJESTELMÄ

1.KUNNOSSAPITO OSANA TOIMINTAKOKONAISUUTTA

Kunnossapito "esikuntatoimintona" turvaa omalta osaltaan palvelemansa tuotantotoiminnan suunnitelmien toteuttamista.

Kunnossapidon laajaa kenttää sen valvontatoimintojen osalta tarkastellaan tässä liitteen 1 jaon mukaisesti.Oleellista on eri toimintatasojen keskinäinen kommunikointi siten,että valvontatiedot mahdollistavat tehokkaat toimenpideohjeet kunnossapidon käyttöön.Edelleen tiedot toimenpideohjeiden toteutumisesta välitetään talous- ja materiaalihallintaan.

Kokonaisuutena kunnossapidon toimivuutta mitataan ensisijaisesti tuotantotoiminnan käyttövarmuutena ja toisaalta, mitä ko. varmuus on tullut maksamaan.Ja tavoitehan on selvä;käyttövarmuuden kohottaminen kustannuksia pienentäen.

2.KUNNONVALVONTA

Kunnonvalvonta jaetaan tässä seuraaviin osiin:

- LAITEKUNNONVALVONTA
- PROSESSIKUNNONVALVONTA
- RAKENNEKUNNONVALVONTA

2.1.LAITEKUNNONVALVONTA

Laitekunnossapito koostuu seuraavista tieto-osajärjestelmistä :

- laitetiedot, joihin liittyvät :
 - varaosatiedot
 - tekniset tiedot
 - huolto-ohjeet
 - toimittajatiedot
 - kustannustiedot
 - historiatiedot

Em. tieto-osajärjestelmät ovat lähtötietoja valvontarutiinien toiminnoille:

- määräaikaishuollon suunnittelu ja seuranta
- varaosavaraston ylläpito
- ostotoiminnot
- historia
- liitynnät muihin järjestelmiin

2.2.PROSESSIKUNNONVALVONTA

Prosessikunnonvalvonnan tavoitteista tärkeimpiä ovat :

- kattilan käynnin virittäminen
- käyttöhenkilökunnan prosessihallintakoulutus

Kattilan käynnin virittämisen apuvälineet ns.prosessitohtorit ovat joko kattilan ohjausjärjestelmään sisältyvä ominaisuus tai erillisiä prosessin I/O:n kiinnitettäviä työkaluja.

Virityksen lopputuloksena saadaan mm. säätöpiirien parametreille lähtöarvovaihtoehdot eri ajotapatilanteille sekä mittauskohteiden riippuvuudet toisistaan.

Käyttöhenkilökunnan koulutuksessa sekä kattilan käyttöönoton yhteydessä että käynninaikaisena täydennyskoulutuksena on ohjausjärjestelmäsimulaattorin käyttö osiottautunut tehokkaaksi, jolloin mm. kenttälaitetulot ja -lähdöt on korvattu ohjelmallisesti.

2.3.RAKENNEKUNNONVALVONTA

Kattilan tarkastustoiminta rakennekunnonvalvonnan osalta sisältää mm. seuraavat tarkastustoiminnan menetelmät :

- visuaalinen
- röntgen
- ultraääni
- pintamenetelmät
 - magn.jauhe
 - tunkeuma neste
- jäljenne
- näytepalat

3.TIETOTEKNIikka KUNNONVALVONNASSA

3.1.YLEISTÄ

Tietotekniikka kunnonvalvonnassa on "perinteisimmillään" sovellettu laitekunnonvalvonnan alueelle, jossa kohteina on satoja laitteita, niiden varaosat ja huoltovälit. Tällöin käsikortti- ja muistivihkopohjaisten järjestelmien poistuminen on antanut työnjohdolle enemmän aikaa valvonta-tehtävistä suunnittelutehtäviin.

Toisaalta tietotekniikan käyttöönotto paljastaa usein puutteita manuaalisessa kunnossapitojärjestelmässä ja edessä onkin koko järjestelmän "remontti" ennenkuin on valmiudet hyödyntää kunnossapidossa uusia menetelmiä ja tekniikoita.

Jatkossa käsitellään tietotekniikan hyväksikäyttöä ultra-äänimittaukseen perustuvassa rakennekunnonvalvonnassa.

3.2.PAKSUUSMITTAUS RAKENNEKUNNONVALVONNASSA

Soodakattilan paksuusmittaukset suoritetaan 1-3 kertaa vuodessa, jolloin muutaman vuorokauden aikana

- suoritetaan mittaukset
- käsitellään tulokset
- suoritetaan tarvittavat korjaustoimenpiteet.

Järjestelmän tavoite on laatia korjaustoimenpide-ehdotukset mittaustulosten perusteella arvioimalla mm. kulumisnopeudet aikaisempiin mittaustietoihin perustuen. Koska mittauspisteitä voi olla tuhansia, ei tietojen manuaalinen käsittely toimenpide-ehdotusten saamiseksi käytettävissä olevan ajan puitteissa ole mahdollista.

3.2.1.JÄRJESTELMÄN KUVAUS

Järjestelmän toiminta jakaantuu seuraaviin osiin :

A)MITTAUKSEN SUUNNITTELU

Määritellään mittauspisteet ja siirretään ne mikrosta keruulaitteeseen.

B)MITTAUKSEN SUORITUS

Mittauksen suunnittelutiedot ohjaavat mittausta antamalla keruulaitteiston näyttöön mm.seuraavan mittauspisteen koordinaatit, hälytysrajat, referenssiarvon.

C)MITTAUSTIETOJEN KÄSITTELY

Mittaustiedot puretaan keruulaitteelta mikroon, jossa suoritetaan keruutietojen analysointi :

- mittaustulokset alueittain
- muutosnopeudet
- toimenpide-ehdotukset.

Edelläkuvattu järjestelmä toimii työkaluna toimintaketjussa, jonka tavoitteena on kattilan turvallinen ja taloudellinen käyttö tehokkaan kunnonvalvontapalvelun avulla :

- A)Seisokin ENNAKOIVAT kunnossapitotoimenpiteet
 - korjaussuunnitelma edellisten mittausker-
tojen perusteella
 - mittaussuunnitelman laatiminen
- B)Seisokin AIKAISET kunnossapitotoimenpiteet
 - mittaustuloksiin perustuvat
- C)Seisokin JÄLKEISET kunnossapitotoimenpiteet
 - yhdistäminen muuhun kunnossapitotietoon
 - aikaisemmin tehdyt toimenpiteet
 - prosessitiedot
- D)Yhdistäminen MUUHUN tietojärjestelmään

4.KATTILATOIMITTAJAN PALVELUT KUNNONVALVONNASSA

Kattilatoimittaja laatii haluttaessa-sopimuksen mukaan, tarkastussuunnitelman, jossa määritellään asiakaskohtaisesti tarkastuslaajuus yhdessä käyttäjän kanssa. Suunnitelmaan sisältyy mm.

- tarkastuskohteet kerätyn kokemuksen pohjalta nimettymä.
- tarkastusmenetelmät
- tarkastuksen tulosten käsittely ja dokumentointi
- toimenpidesuositus korjauksista ja/tai prosessimuutoksista

Tarkastusmenetelmistä soodakattiloissa on yksi merkittävimmistä materiaalin paksuusmittaus, joka on kuvattu kohdassa 3.2.1.

LIITE 1.Kunnonvalvontajärjestelmä osana toimintakokonaisuutta

Kunnonvalvontajärjestelmä on osa toimintakokonaisuutta seuraavasti :

: SUUNNITTELU :

: JÄRJESTELMÄ :

^ Yhteydet talous- ja
| materiaalihallintaan

PROSESSI	:	KUNNON	:	MUU
VALVONTA	:	VALVONTA	:	VALVONTA

^ Autom.	^ Manuaali
keruu	keruu

: PROSESSIN :

: OHJAUS :







•

22

•

:
 : P R O S E S S I

Salvatore Costella

TARKASTUS- JA KUNNONVALVONTAMENETELMIEN KÄYTTÖ SOODAKATTILOIDEN COMPOUND-PUTKIVAURIOIDEN HAVAITSEMISEEN

Hannu Hänninen
VTT/Metallilaboratorio

ABSTRAKTI

Esitelmässä kuvataan erilaiset vauriotyypit, joita on todettu soodakattiloiden compound-putkissa. Tyypillisiä vikoja ovat olleet hitsausliitosten jännityskorroosiomurtumat voimakkaasti sekoittuneessa hitsiaineessa, sisäiset säröt hitsiaineessa, ja termoshokkisäröt/jännityskorroosiosäröt compound-putkien ruostumattomassa pintakerroksessa. Lisäksi on todettu hitsien haurastuvan käytön aikana. Vikojen havaitsemisessa käytetään apuna tavallisesti radiografista kuvausta tai ultraäänitarkastusta. Uutena tarkastusmenetelmänä on käytetty Barkhausen-kohinamittausta. Käytönaikaiseen seurantaan voidaan mahdollisesti käyttää myös akustista emissiota. Esitelmässä käsitellään myös putkien paksuusmittauksen luotettavuutta. Lopuksi ehdotetaan mahdollisia tutkimusaiheita vaurioiden syiden selvittämiseksi.

JOHDANTO

Soodakattiloiden compound-putkien hitsausliitoksissa on esiintynyt erilaisia vaurioita. Vauriot ovat tavallisimmin olleet hitsin juuresta lähteviä säröjä, jotka joissakin tapauksissa ovat edenneet hitsin läpi aiheuttaen vesvuodon tulipesään. Vaurioita on korjattu poistamalla vaurioitunut alue hiomalla ja hitsaamalla liitos uudestaan. Joissakin tapauksissa näin korjatut hitsiliitokset ovat alkaneet vuotaa uudestaan jopa vain muutaman kuukauden käytön jälkeen.

Soodakattilan compound-putkien hitsausliitoksien ainettarikkomatonta testausta vaikeuttaa mm. ohuet seinämän paksuudet, austeniittinen ruostumaton hitsi sekä huono luoksepäästävyys.

Käytönaikaiset monitorointimenetelmät ovat myös kehittyneet viime aikoina, ja vuotoja voidaan seurata ja paikallistaa mm. akustisilla menetelmillä ja vesikemiaa voidaan seurata suoraan käyttöolosuhteissa tapahtuvalla jatkuvalla monitoroinnilla.

COMPOUND-PUTKIEN ERILAISET VAURIOTYYPIT

Tyypillisiä compound-hitsiliitosten vaurioita on esitetty kuvissa 1 ja 2. Kuvat 1 (a) ja (c) esittävät kattilan alkuperäisiä hitsejä ja kuva 1 (b) kerran vaurioitunutta ja sen jälkeen korjattua hitsausliitosta. Korjattu hitsausliitos oli vaurioitunut uudestaan muutaman kuukauden käytön jälkeen. Liitosten tarkempi tutkimus osoitti, että säröt olivat lähteneet liikkeelle hitsin juurikuvun terävästä reunasta ja edenneet hitsiaineessa. Kuvien 1 (a) ja (c) hitseissä särö on edennyt sularajan suuntaisesti. Yksityiskohtainen kuva särön kärjestä osoittaa säröjen kasvavan hitsiaineen puolella, kuva 1 (d). Hitsien mikrorakennetutkimus osoitti, että hitsien pohjapalko oli täysin tai lähes täysin martensiittinen. Sen vahvisti myös pohjapalkojen suuri kuvaus, HV 350 - 480.

Vaurioiden syy on säröjen ulkomuodon perusteella jännityskorroosio, ja lisäksi martensiitti on tunnetusti herkkä jännityskorroosiolle jopa puhtaassa vedessä. Eräissä tapauksissa varsinkin, jos hitsissä on sisäisiä vikoja, on myös todettu hitsien sisältä ydintyneitä säröjä, kuva 2. Lisäksi compound-hitsit ovat saattaneet haurastua käytön aikana merkittävästi. Käytönaikaisesta haurastumisesta ei ole olemassa julkaistuja tutkimuksia esim. isku- tai taivutuskokeiden tuloksista. Syynä compound-hitsien käytönaikaiseen haurastumiseen voi olla hitsiaineessa sekoittumisen tuloksena syntyvän martensiitin päästöaurastuminen tai hitsiaineeseen ulko- ja sisäpuolisen korroosion seurauksena absorboituvan vedyn haurastava vaikutus. Myös nämä yhdessä saavat aikaan synergistisiä vaikutuksia. Syynä compound-hitsien jännityskorroosioon ja haurastumiseen on ilmeisesti aina ollut se, että hitsin pohjapalkoon oli päässyt muodostumaan kova martensiittinen mikrorakenne. Compound-putkien hitsauksesta annettujen ohjeiden mukaan hitsaten tätä vaaraa ei pitäisi olla. Periaatteessa compound-putkien liitoshitsaus tulee suorittaa siten, että seostamattoman teräksen osuus (pohja- ja täyttöpalot) liitoksesta hitsataan sitä vastaavalla lisäaineella ja ruostumatonta pintakerrosta vastaava osuus (pintapalot) sitä vastaavalla tai vielä mieluummin sitä runsaammin kromilla ja nikkelillä seostetulla, nk. yliseostetulla lisäaineella, kuva 3 (1, 2).

Eräissä tapauksissa esiintyy säröjä myös austeniittisessa compound-putken perusaineessa erityisesti kattilan pohja-alueen putkissa (kuva 4). Säröt tyypillisesti esiintyvät paikallisesti rajallisina alueina, kuva 4 (a), ja niille on ominaista, että ne etenevät austeniittisen kerroksen lävitse ja pysähtyvät hiiliterästä olevaan perusaineeseen (kuvat 4 (b) ja (c)). Nämä säröt ovat voineet syntyä joko jännityskorroosiomekanismilla vesipesun aikana ja jälkeen, jolloin paikallisesti rikastuu veden höyrystyessä väkeviä suolaliuoksia, tai termisellä väsymisellä poltinten syklisesti kuumentamalla alueilla. Jotta syy saataisiin selville aiheesta olisi tehtävä perusteellinen tutkimus.

Mahdollinen jännityskorroosio tässä tapauksessa voidaan välttää välttämällä kylmämuokkausta (liuoshehkutus), käyttämällä alttiissa kohteissa runsaammin seostettua pinnoitemateriaalia, tai alentamalla pesulämpötiloja. Jännityskorroosiota aiheuttava ympäristö on myöskin epäselvä asia, koska tyypillistä rakeiden läpi etenevää jännityskorroosiota voi austeniittisissa ruostumattomissa teräksissä esiintyä kloridi-, emäs- ja sulfaattiliuoksissa sekä ilmeisesti myös sulassa NaOH:ssa ja hapettavissa tai sulfidoivissa korkean lämpötilan kaasuissa.

COMPOUND-HITSIEN VETYPITOISUUSMITTAUKSET

Koska soodakattiloiden compound-hitsit haurastuvat ja niihin saattaa käytössä syntyä sisäisiä säröjä, mitattiin kahden hitsin (kuva 5) eri vyöhykkeiden jäännösvetypitoisuudet noin 80.000 tunnin käytön jälkeen.

Tutkimus osoitti, että käytön aikana soodakattilan putkistomateriaalien jäännösvetypitoisuus kasvaa (kuva 6). Vetypitoisuus näyttää riippuvan hitsausliitoksissa mikrorakenteesta. Austeniittisen ruostumattoman compound-pinnoitteen vetypitoisuus on molemmissa tutkituissa näytteissä korkea. Samoin ruostumaton hitsiaine, joka osittain on muuttunut martensiittiseksi rakenteeksi, sisälsi runsaasti vetyä. Kaikkein korkein vetypitoisuus mitattiin compound/musta päittäishitsin juuripalosta (105 ppm). Tyypillinen mustien terästen jäännösvetypitoisuus valmistuksen jälkeen on 1 - 2 ppm. Tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että soodakattilahitseissä todettu käytön aikainen haurastuminen ja hitsin sisälle tapahtuva säröjen muodostuminen ja käytönaikainen kasvu saattavat liittyä ko. metallurgisessa rakenteessa tapahtuviin vanhenemisilmiöihin ja kohenneeseen metalliin liuenneeseen vetypitoisuuteen. Jotta metalliin liuenneen vedyn vaikutuksista saataisiin tarkempi kuva, pitäisi jatkossa suorittaa tutkimus

huolellisesti valituilla näytteillä, joissa on joko säröjä tai joiden haurastuminen tunnetaan tarkoin.

TARKASTUSMENETELMÄT

Seisokin aikana voidaan silmämääräisen tarkastuksen lisäksi suorittaa radiograafisia kuvauksia, tunkeumanestetarkastuksia, ultraäänitarkastuksia sekä myös mittauksia käyttäen Barkhausen-kohinamenetelmää vikojen ja syöpymien havaitsemiseksi.

Kohteiden tarkastelu kannattaa aina aloittaa silmämääräisellä testauksella, myös ennen kattilan puhdistusta. Sen perusteella päätetään valtaosa lisätarkastustarpeista.

Radiografista kuvausta suoritetaan rutiininomaisesti compound-putkien hitsausliitoksille. Tällöin käytetään ns. ellipsikuvausta, jolla voidaan testata valtaosa kuvauskohteesta; putkien tangentiaaliset alueet jäävät kuitenkin kattamatta. Hitsausliitoksen koko volyymin kuvausta varten on kehitetty sovellutus, jossa seinämänpaksuuserot säteilyn kannalta on tasattu. Kuvauksessa käytetään röntgenkonetta tai isotooppia seinämänpaksuudesta riippuen.

Hitsausliitoksen ultraäänitestausta vaikeuttavat putken pieni koko, ohut seinämänpaksuus ja vaimennuserot hitsissä. Kohdetta vastaavalla kalibrointikappaleella määritetään testauksen perusarvot esim. vertailuvahvistuskäyrä. Testauksella pyritään löytämään säröt tai niihin verrattavat viat. Compound-putkien hitsausliitoksien tarkastus on työlästä ja aikaavievää vaikean luoksepäästävyyyden takia. Putkien seinämän paksuuden mittaus suoritetaan ultraäänitekniikan avulla paikallisten syöpymien havaitsemiseksi erittäin suuresta määrästä mittauspaikkoja. Data loggereiden kehityksen myötä on paksuusmittaus tullut helpommaksi viime vuosina. Ongelmana on kuitenkin eri mittaajien/mittausten välinen hajonta.

Laboratoriossa on mahdollista tutkia todellisissa kaasui- tai sulaolosuhteissa putkimateriaalien korroosiota myös ottamalla huomioon todelliset kuormitukset.

Käytönaikaiseksi mahdolliseksi monitorointimenetelmäksi on kehitteillä akustinen vuodonseurantamenetelmä, jonka avulla voidaan havaita jo alkuvaiheessa olevat vuodot. Menetelmä on kehitysasteella, mutta yleistyne nopeasti. Menetelmä perustuu

siihen, että soodakattilan kriittisiin osiin kiinnitetään pysyvästi anturit kattilaan kiinnihitsattuihin aaltojohtimiin (wave-guide) ja niiden avulla voidaan kuulla vuodon aiheuttama suurtaajuuksinen ääni heti vuodon alkuvaiheessa. Tällainen systeemi monitoroi soodakattilaa nuohousten välillä.

Käytönaikainen jatkuva vesikemian seuranta (pH-arvo, johtokyky, redox- ja korroosiopotentiaali) mahdollistaa vesikemiassa tapahtuvien muutosten välittömän havaitsemisen ja nopeat korjaavat toimenpiteet. Samassa on kehitetty ainoa markkinoilla oleva laitteisto, joka sopii tällaiseen monitorointiin käyttölämpötilassa. Jatkuva vesikemian monitorointimenetelmä havaitsee nopeat transientit ja säästää käyttökustannuksissa, koska näytteenotto ja käsin tapahtuva vesikemian analysointi voidaan vähentää minimiin.

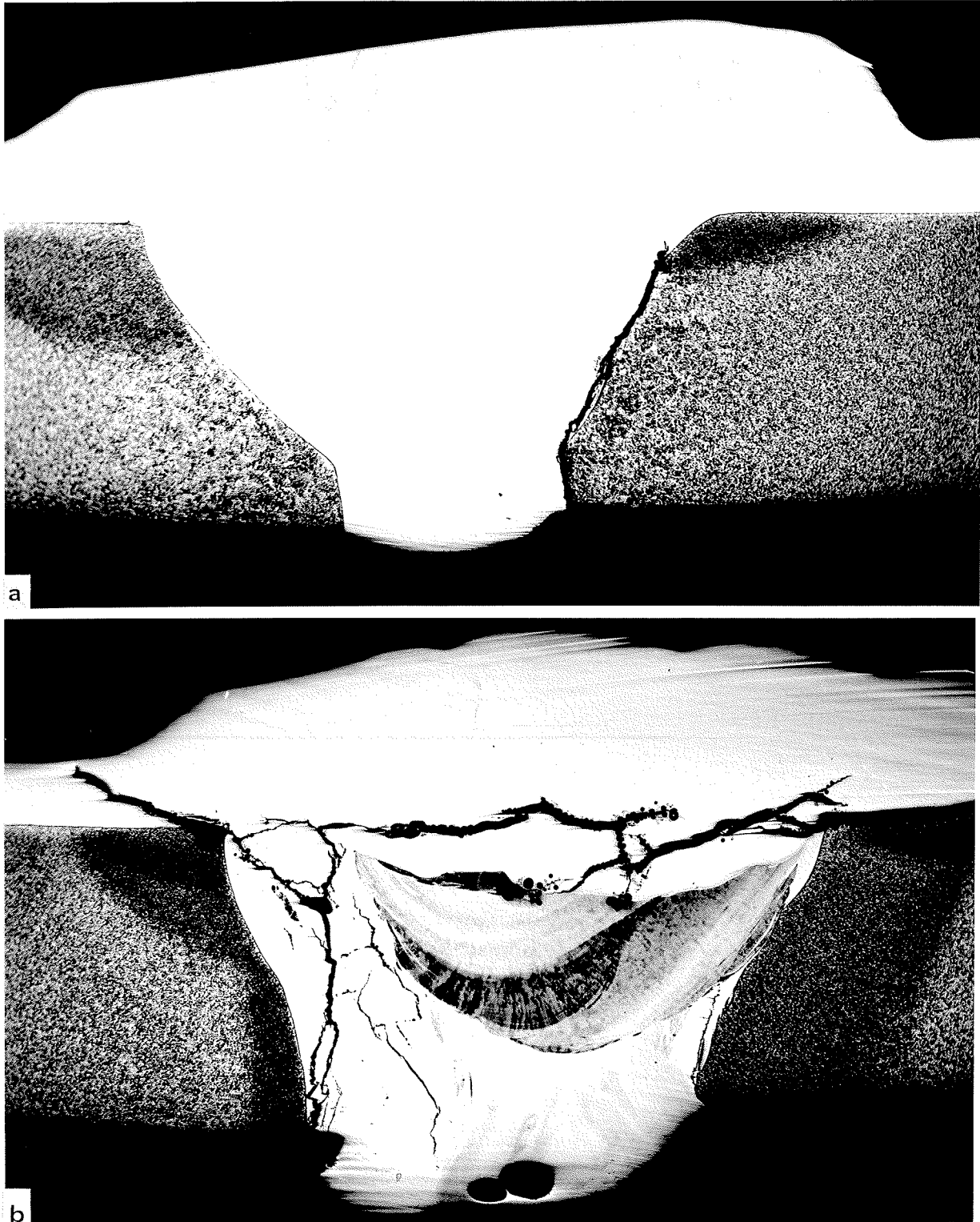
Jatkuvaan monitorointiin sopii myös videokamerat ja muut elektroniset kuvanmuodostuslaitteet, joilla voidaan seurata keon topografiaa ja korkeutta sekä pesän lämpötilajakautumaa (termografia).

YHTEENVETO

Soodakattiloiden compound-putkien hitsausliitoksissa on esiintynyt vaurioita, joiden perimmäinen syy on yleensä ollut hitsauksen virheellinen suoritus. Havaitut vauriot voidaan parhaiten korjata/välttää muuttamalla hitsausmenettelyä tai -lisäainetta. Soodakattilan olosuhteiden jatkuvaan monitorointiin on kehitteillä useita erilaisia menetelmiä, joilla voidaan seurata vesikemiaa, vuotoja, lämpötilajakautumaa sekä pesän korkeutta ja topografiaa.

KIRJALLISUUSVIITTEET

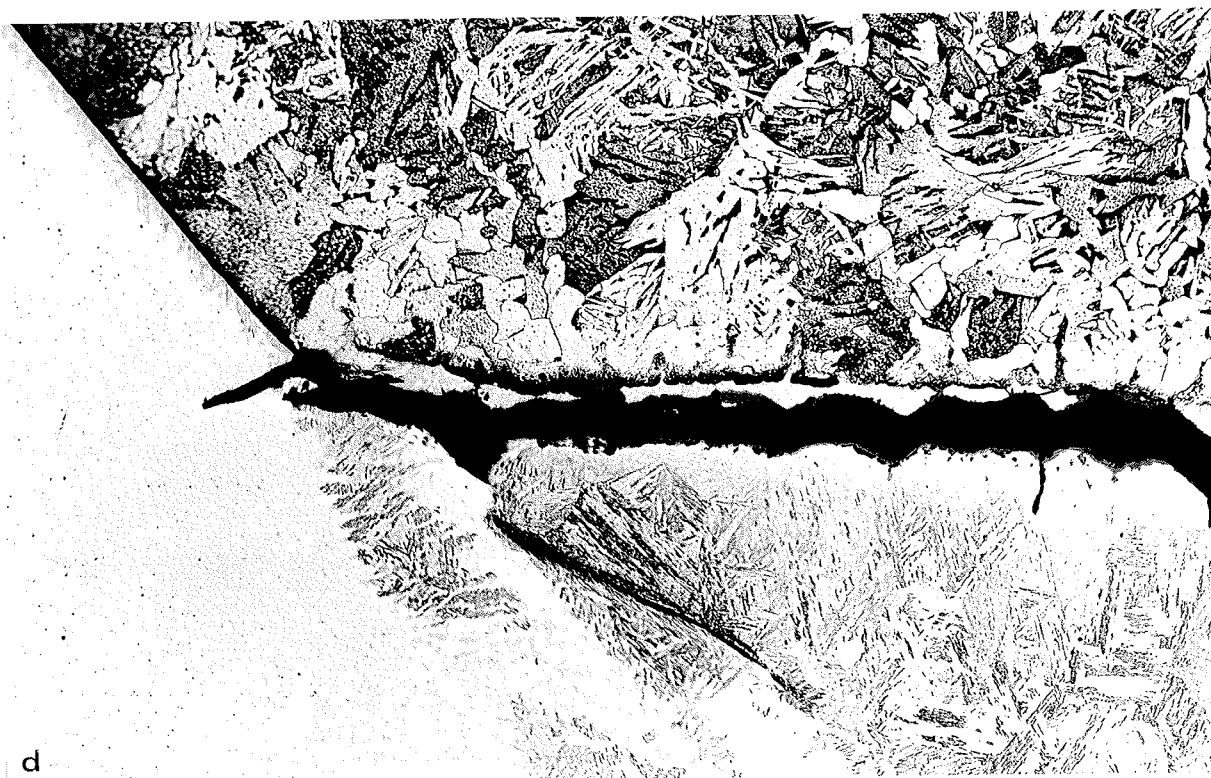
1. ETY-soodakattilavaliokunta, Kestoisuuskomitea, 1988. Suojaussuositus.
2. K. Leino, Soodakattilan compound-putkiliitosten vauriot ja niiden korjaaminen. ETY-Soodakattilavaliokunnan Compound-seminaari. Hotelli Haaga, Helsinki, 1988.
3. H. Hänninen and J. Simonen, Absorption of hydrogen to compound tube weldments in a recovery boiler. Proc. of 6th International Symposium on Corrosion in the Pulp and Paper Industry, 29.8 - 1.9. 1989, Helsinki, s. 138 - 150.



Kuva 1. (a) Tyypillinen jännityskorroosiosärö hitsiaineessa lähellä sularajaa compound-putkihitsissä erään soodakattilan pesän alaosassa, 8x. (b) Jännityskorroosiosärö korjaushitsissä; särö muodostui vain muutama kuukausi kattilan korjauksen jälkeen. Koko hitsi oli muuttunut sekoittumisen vuoksi martensiittiseksi, 8x. (c) Jännityskorroosiosärö, joka on ydintynyt hitsin juuresta, jossa on tapahtunut merkittävä sekoittuminen, 20x. (d) Särön kärki (vrt. kuva c), josta näkyy, että särö etenee sekoittuneessa vyöhykkeessä hitsiaineen puolella, 200x.

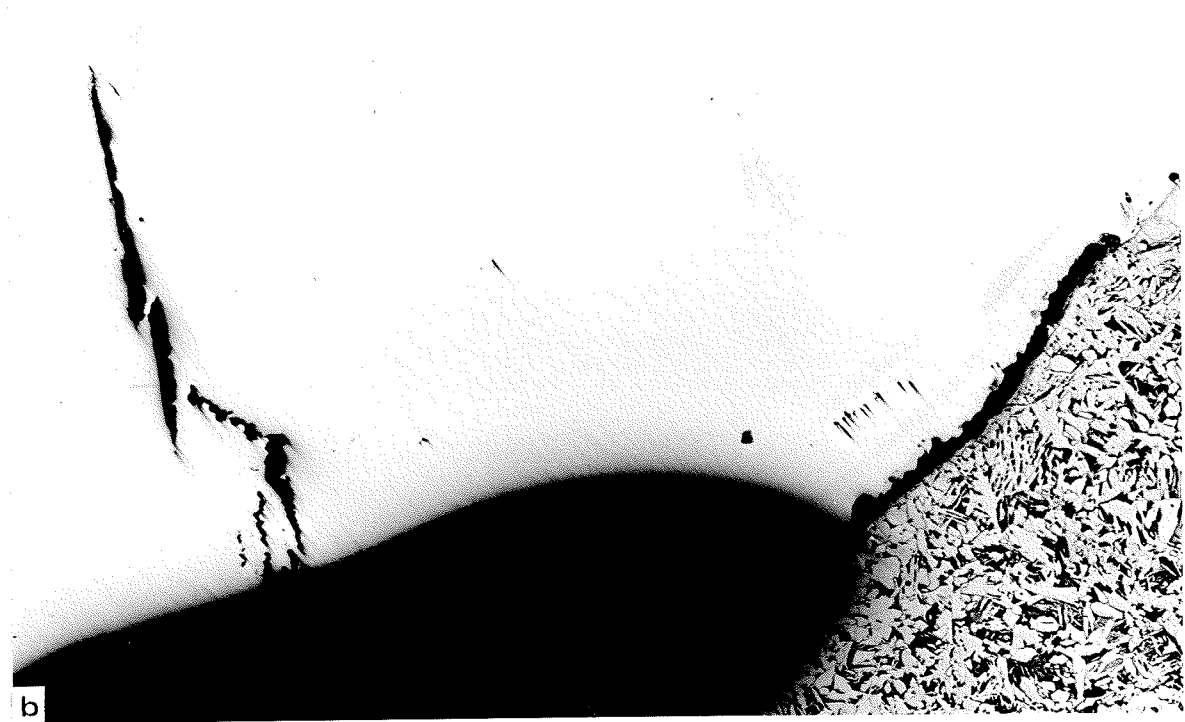
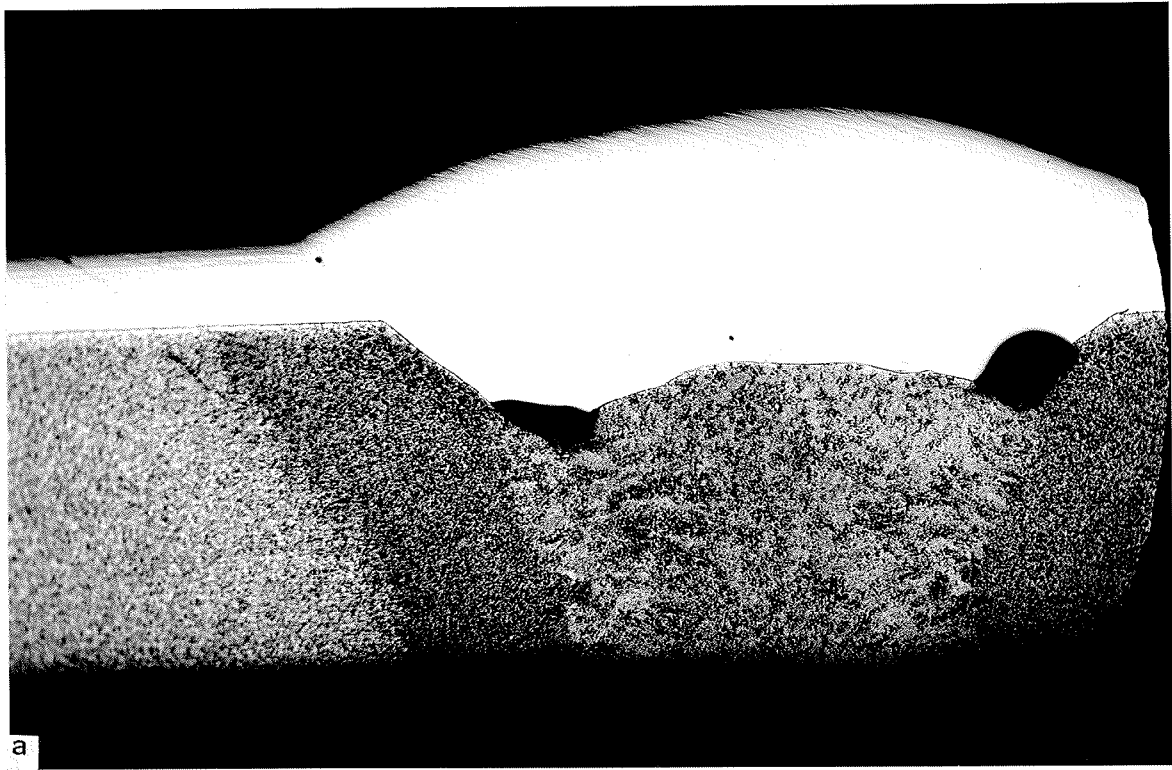


c

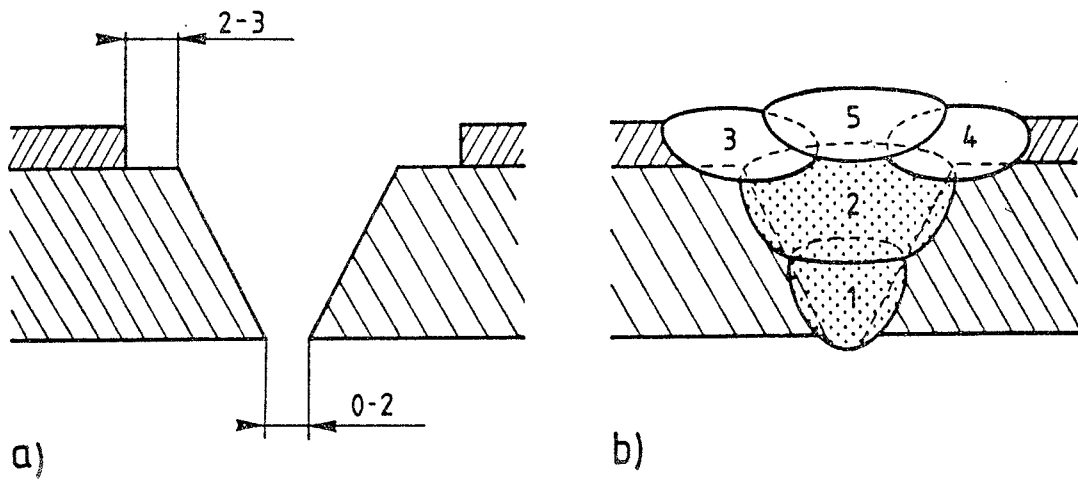


d

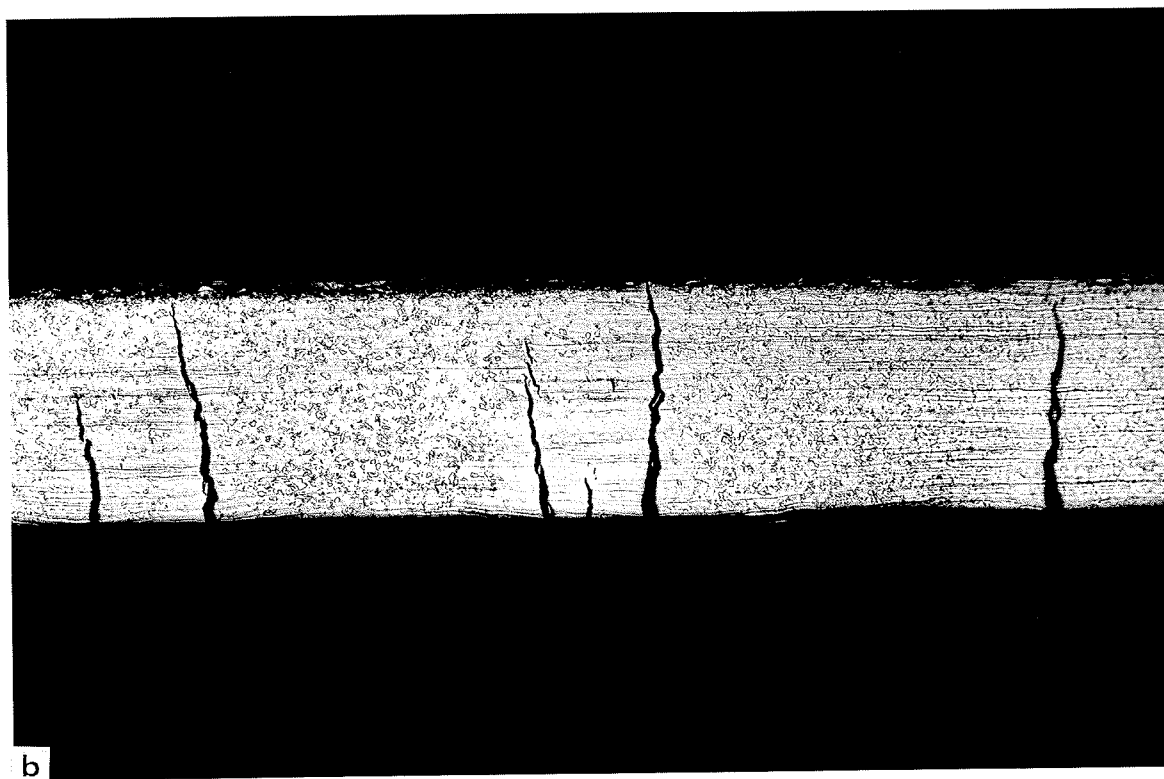
Kuva 1. Jatkuu.



Kuva 2. Erään soodakattilan compound-hitsin sisäisiä vikoja (8x) (a), ja niistä ydintyneitä säröjä (100x) (b), jotka ovat kasvaneet hitsiaineeseen käytön aikana.



Kuva 3. Compound-putken liitoshitsaukseen suositeltava railomuoto (a) ja palkojärjestys (b): 1 - 2 seostamaton hitsiaine ja 3 - 5 austeniittinen hitsiaine.

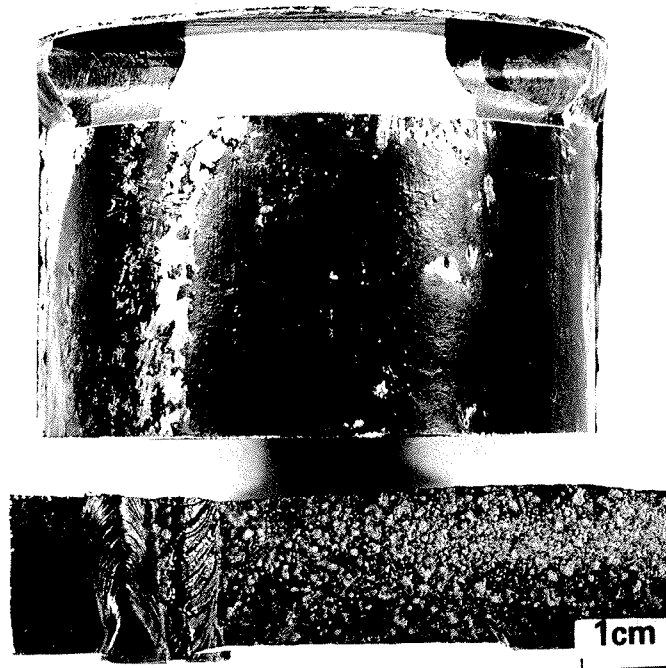


Kuva 4. (a) Säröjä austeniittisessa putken pintakerroksessa erään soodakattilapesän pohjan putkissa (2,3x). (b) (20x) ja (c) (100x) säröt etenevät ainoastaan austeniittisen pintakerroksen läpi ja pysähtyvät perusaineeseen (hiiliteräs).

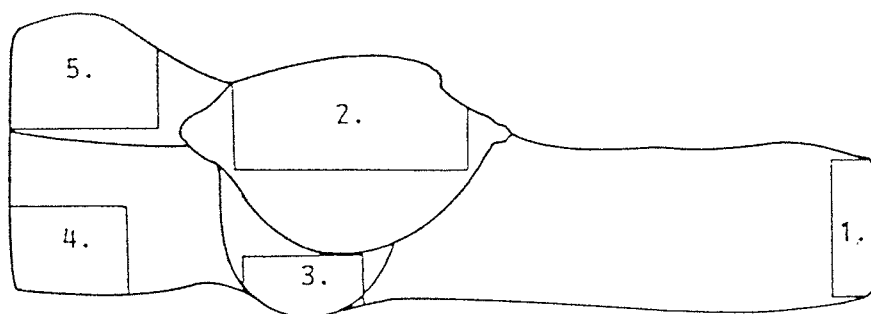


c

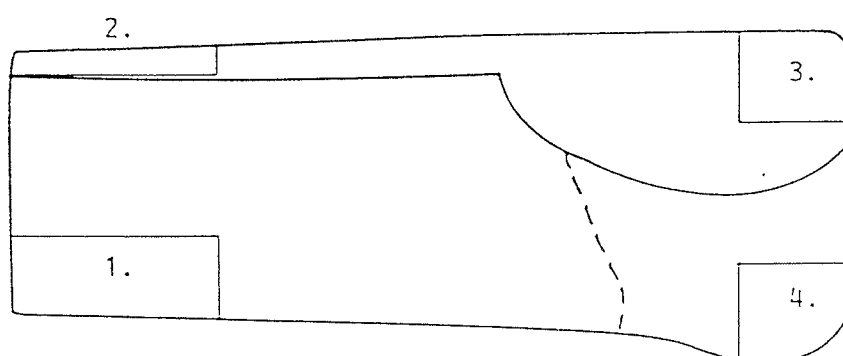
Kuva 4. Jatkuu.



Kuva 5. Eräästä soodakattilasta irrotetut näytteet vetypitoisuusmittauksia varten. Compound/musta päittäisliitoksessa (alempi näyte) on musta teräs voimakkaasti syöpynyt ulkopuolelta.



Specimen A (compound/C-steel weld)



Specimen B (compound/compound weld)

		H ₂ ppm	Weight g
Specimen A			
1.	Base material (C-steel)	4.4	2.310
2.	Stainless weld	6.3	0.265
3.	Root pass (C-steel)	105	0.046
4.	Base material (C-steel)	4.3	0.553
5.	Stainless overlay	11.6	0.150
Specimen B			
1.	Base material (C-steel)	3.3	0.510
2.	Stainless overlay	36	0.080
3.	Stainless weld	2.8	0.608
4.	Root pass (C-steel)	6.3	0.152

Kuva 6. Jäännösvetypitoisuusmittauksen tulokset; näytteet leikattiin timanttisahalla (3).