VÄRMEFORSK
STIFTELSEN FÖR VÄRMETEKNISK FORSKNING

Undersökning av olika sorbentkombinationers förmåga att reducera saltsyra och svaveldioxid samt påverkan på dioxinproduktionen vid avfallseldning.

Lars Rudling

BRÄNSLETEKNIK 358

Innehållsförteckning

Summary		4
0	Sammanfattning	5
0.1	Bakgrund/målsättning	5
0.2	Resultat	5
1	Bakgrund	8
2	Försökens målsättning	11
3	Anläggningsbeskrivning	12
4	Försökens uppläggning	14
5	Genomförande/mätmetoder	16
5.1	Sorbenter/doseringsutrustning	16
5.2	Mätningar	17
5.2.1	Driftdata	17
5.2.2	Kontinuerlig gasanalys	18
5.2.3	Avskilt stoft	19
5.2.4	Stoft- och vattenhalt	19
5.2.5	N_2O-analys	20
5.2.6	Dioxinprovtagning	20
5.2.7	Våtkemisk provtagning	20
5.3	Kvantifiering av avskiljningsgraden för saltsyra, svaveldioxid och kloraromatiska föreningar	21
5.4	Beräkningar	22
6	Resultat	24
6.1	Saltsyra- och svaveldioxidreduktion	24
6.1.1	Tillförsel av sorbent i en injektionspunkt	24
6.1.2	Samtidig tillförsel av sorbent i två olika injektionspunkter	28

6.2	Temperaturmätningar	30
6.3	Sorbenttillsatsens påverkan på dioxinproduktionen	31
6.4	Övriga emissioner	34
6.4.1	Stoftemission	34
6.4.2	NO_x- och N_2O-emission	34
7	Diskussion	35
Referensförteckning		39
Tabellbilagor		

Summary

Investigation of the ability of different sorbent combinations to reduce hydrochloric acid and sulphur dioxide and influence on the production of dioxines during incineration of refused derived fuels

In order to decrease the emission of hydrochloric acid and sulphur dioxide during incineration of refuse derived fuels, it has been investigated if a simultaneous injection of dry calcium sorbents in the furnace and after the convective part of the boiler, will give a better reduction compared to injection of sorbent only in the furnace or after the boiler.

The results show that a combined injection of calcium hydroxide gave a better reduction of hydrochloric acid and sulphur dioxide, 87%[1)] and 70% respective, compared to 78% and 20% respectively when the sorbent was injected after the boiler. The total excess of calcium was the same in both cases, 3.5 (mole Ca/mole S+Cl/2).

Concerning the production of dioxines, measured as TCDD-equivalents, the results showed that with a simultaneous injection of calcium hydroxide in the furnace and after the boiler, the production of dioxines[2)] decreased with 50% compared to the production of dioxines without addition of any sorbent. However, the emission of dioxines in the clean gas after the electrostatic precipitator was at the same level - 2 ng TCDD-equivalents/nm^3 dry gas at 10% CO_2-irrespective if any sorbent was added or not.

The emission of nitrogen oxides, 170 ppm NO_x and 10-20 ppm N_2O at 6% O_2, was not influenced by any addition of sorbents.

Key words: dioxines, hydrochloric acid, incineration, nitrogen oxides, nitrous oxide, refuse derived fuels, sulphur dioxide.

---

1) Percentual reduction determined by analysis of the flue gas after the electrostatic precipitator with and without addition of sorbents.

2) Concentration of TCDD-equivalents in the raw gas.

0 Sammanfattning

0.1 Bakgrund/målsättning

Vid förbränning av hushållsavfall i anläggningar med stoftavskiljning i elfilter, har man haft svårigheter att underskrida gränsvärdet för saltsyra genom konventionell insprutning av släckt kalk efter konvektionsdelen. I föreliggande försök har undersökts om man vid eldning av RDF-bränsle, genom en samtidig injektion av en kalciumsorbent i både eldstad och konvektionsdel, kan uppnå en bättre reduktion av saltsyra än om sorbenten endast tillförs antingen i eldstad eller efter konvektionsdel. Samtidigt har undersökts om en samtidig dosering av kalciumsorbent i eldstad och konvektionsdel påverkar produktion och emission av dioxiner.

Försöken genomfördes i Borlänge Energi ABs rost-eldade 20 MW hetvattenpanna med elfilter.

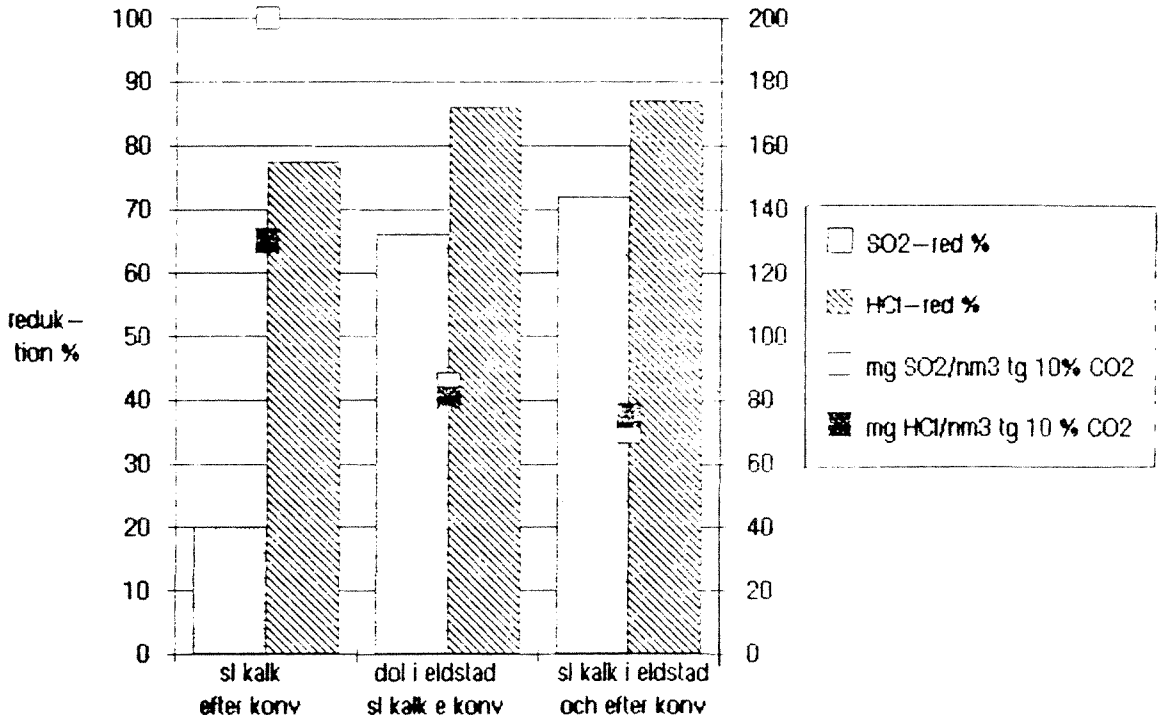
0.2 Resultat

En sammanställning av resultaten visas i nedanstående figur.

Försöken visar att man genom en samtidig injektion av en kalciumsorbent, t ex släckt kalk, i både eldstad och konvektionsdel kan uppnå en bättre reduktion av saltsyra - och underskrida gränsvärdet för saltsyra 100 mg HCl/nm^3 tg 10% CO_2 - än om kalciumsorbenten doseras enbart i eldstad eller efter konvektionsdel. Med denna metod erhålls dessutom en reduktion av svaveldioxid.

En kombinerad tillförsel av kalciumsorbent i eldstad och konvektionsdel ger således en bättre

reduktion i emission av försurande ämnen och ett bättre kalkutnyttjande än om släckt kalk doseras enbart efter konvektionsdelen.



Procentuell reduktion respektive koncentration i rengas av saltsyra och svaveldioxid vid olika tillsatser av kalciumsorbenter. (Bränsle 100% RDF; koncentration i rengas utan sorbenttillsats 600 mg HCl respektive 250 mg SO_2/nm^3 tg vid 10% CO_2; totalt kalciumöverskott $\triangleq$ 3.5 (mol Ca/mol S^2+ mol Cl/2)).

En jämförelse av NO_x-emissionen vid injektion av släckt kalk i eldstad och konvektionsdel respektive ingen kalktillförsel visade ej någon skillnad i NO_x-emission eller emission av dikväveoxid. Emissionen av NO_x var 170 ppm och N_2O 10-20 ppm vid en syrehalt på 6%.

Beträffande produktionen av dioxiner - mätt som TCDD-ekvivalenter - visade försöken att vid

samtidig tillförsel av släckt kalk i eldstad och konvektionsdel minskade produktionen (koncentrationen i rågasen) av dioxiner med ca 50% i jämförelse med ingen tillsats av sorbent. Emissionen av dioxiner i rengasen låg däremot på samma nivå - ca 2 ng TCDD-ekv/nm^3 tg 10% CO_2 - oavsett om kalk tillfördes eller ej. Vid dessa försök eldades en blandning av RDF och flis. Beroende på en sämre avskiljningsgrad av dioxiner i elfiltret med kalktillsats än utan, blev således nettoeffekten av en kalktillsats på dioxinemissionen i rengas att denna ej påverkades. Den sämre avskiljningsgraden av dioxiner i kalkförsöken skulle kunna bero på att aktiva sorptionsytor hos flygaskan, t ex oförbrända partiklar, delvis blockeras vid kalktillförsel.

Stoftavskiljningsgraden i elfiltret försämrades ej vid tillförsel av kalk. Stoftemissionen var låg i samtliga prov, ca 10 mg/nm^3 tg vid 10% CO_2 eller lägre.

Vid tillförsel av kalciumsorbenter i eldstaden erhölls ingen förändring av rökgastemperaturer i panna/konvektionsdel eller några onormala påslag.

1 Bakgrund

Vid förbränning av hushållsavfall i anläggningar med stoftavskiljning i elfilter har man i många fall haft problem att kunna innehålla gränsvärdet för saltsyra (100 mg HCl/nm^3 tg vid 10% CO_2) respektive dioxiner (0.5-2 ng/nm^3 tg vid 10% CO_2).

Försök med insprutning av släckt kalk (kalciumhydroxid) efter pannan (1) eller dolomit i eldstaden (2) har visat att även om en mycket god procentuell HCl-reduktion kunnat uppnås, så har man ej kunnat uppnå lägre HCl-halter än ca 130 mg HCl/nm^3 tg vid 10% CO_2 (ca 600 mg HCl/nm^3 i rågasen).

Vid insprutning av släckt kalk efter pannan och användning av spärrfilter för stoftavskiljning istället för elektrofilter har man erfarenhetsmässigt kunnat erhålla en bättre avskiljningsgrad av HCl och dioxiner. På så sätt har man kunnat innehålla gränsvärdena för dessa ämnen.

De metoder man idag använder sig av för att kunna uppnå emissionskravet för dioxiner baserar sig i samtliga fall på rökgasrening. Eftersom rökgasrening ej minskar den totala emissionen utan endast ger en omfördelning mellan olika faser, är denna teknik i ett längre perspektiv mindre attraktiv. Principiellt måste en eliminering av själva produktionen1 av dioxiner vara huvudmålet.

---

1 I olika undersökningar har visats att huvuddelen av de dioxiner som emitteras produceras i förbränningsanläggningen.

I flera olika undersökningar har kunnat konstateras att produktionen av dioxiner är beroende av både förbränningseffektivitet (FE) och HCl-halt (3, 4, 5). Man har också kunnat konstatera att kloraromaterna bildas företrädesvis under nedkylningsfasen i pannans konvektionsdel (6, 7).

Genom att reducera rökgasens HCl-halt före inträdet i pannans konvektionsparti borde det således vara möjligt att reducera dioxinproduktionen. Reduktion av HCl-halten genom tillsats av släckt kalk efter pannans konvektionsdel har ej visat sig påverka dioxinproduktionen (1).

För att avskilja saltsyra med "torra" metoder använder man sig vanligen av kalciumoxid (CaO) eller kalciumhydroxid (släckt kalk $Ca(OH)_2$) som sorbent. Kalciumhydroxid är aktivt i temperaturområdet 100-400°C. Vid en temperatur högre än ca 400°C dehydratiseras den släckta kalken till kalciumoxid. Kalciumoxid är aktivt för HCl-sorbtion i hela temperaturområdet 100-700°C. Vid höga temperaturer, >700°C, är dock jämviktsvillkoren för bildning av kalciumklorid ogynnsamma (8). I temperaturområdet 100-300°C har man funnit att kalciumhydroxid ger en bättre HCl-sorption än kalciumoxid.

Genom att använda två olika sorbenter, kalciumoxid i eldstaden respektive kalciumhydroxid i konvektionsdelen, kan sannolikt pannans "reaktorvolym" och temperaturfönster utnyttjas mer optimalt för sorption av saltsyra.

I eldstadens heta zon kan exempelvis kalksten, dolomit eller släckt kalk tillföras. Under förutsättning att temperaturen är högre än 800-825°C

kommer dessa ämnen att kalcineras till kalcium-oxid, som sedan kan reagera med saltsyra och bilda kalciumklorid. I pannans kylda del (temperatur 150-350°C) tillsätts släckt kalk $Ca(OH)_2$. Vid denna temperatur sker ingen dehydratisering av den släckta kalken, utan denna reagerar direkt med saltsyra till kalciumklorid.

Genom att tillföra en kalciumsorbent till eld-staden kan förutom saltsyra även svaveldioxid bindas. Eftersom svaveldioxid svarar för en nästan lika stor syraemission som saltsyra vid förbrän-ning av hushållsavfall, torde ur miljösynpunkt en reduktion av svaveldioxiden vara lika angelägen som en reduktion av saltsyrahalten.

2 Försökens målsättning

Målsättningen med försöken var att:

- undersöka med vilka sorbentkombinationer/-doseringar en optimal saltsyra/svaveldioxidreduktion erhålls
- undersöka om en dosering av kalciumsorbenter i eldstaden ger några påslagsproblem
- undersöka om tillförsel av en kalciumsorbent i eldstaden påverkar produktionen av dioxiner.

3 Anläggningsbeskrivning

Försöken genomfördes i Bäckelundsverkets 20 MW avfallseldade hetvattenpanna vid Borlänge Energi AB.

Anläggningens principiella utformning framgår av Figurbilaga 1. Förbränningen sker på en rörlig planrost uppdelad i fyra zoner (K-K-rost). För att minska slaggpåslag är ugnens sidoväggar försedda med luftkylda plattor genom vilka luft (ca 250°C) tillförs eldstaden. Övriga delar av eldstad/panna är uppbyggd av vattenkylda panelväggar. Primärluften till rosten förvärms till ca 150°C. Vid försöken tillfördes ingen luft i sekundärluftregistren. Rökgaserna kyls i flera pannstråk till ca 400°C varefter de passerar en konvektionsdel och en economizer. Genom den mycket speciella utformning som pannan i Borlänge har, är rökgasens uppehållstid i det kylda rökgasstråket mellan ugnshals och konvektionsdel mycket lång, ca 4 sekunder. Rökgasstoftet avskiljs i ett elektrofilter med en utfällningsyta på 1 680 m^2. Slagg utmatas vått med en redler.

Konvektionsdelen sotas med hjälp av infraljud.

Som bränsle användes normalt en blandning av träbränsleflis och RDF. Träbränsle och RDF tippas i separata fickor i bränslemottagningshallen. Träflisen matas sedan antingen direkt till förbränningen eller till ett 5 000 m^3 stort lagringsutrymme. RDF lagras normalt inte, utan eldas mer eller mindre direkt.

Utmatningen från flis- respektive RDF-fickorna sker med varvtalsstyrda vandrande skruvar. Mixen

mellan de två bränsletyperna kan därmed varieras steglöst. Normal blandning är 50/50.

Utmatad RDF och flis transporteras till ugnens bränsleschakt, varifrån inmatningen till rosten sker med en pusher.

4 Försökens uppläggning

Försöken genomfördes i Bäckelundsverkets 20 MW avfallseldade rostpanna vid Borlänge Energi AB under perioden januari - februari 1989.

Vid försöken användes som sorbent dolomit (0-80 µm) respektive kalciumhydroxid (0-30 µm). Pannan eldades i samtliga försök med full last.

I en första etapp undersöktes reduktionen av saltsyra och svaveldioxid vid användning av olika alternativa doseringspunkter i eldstaden - sorbentinjektion i sekundärluftportar respektive ugnshals. På motsvarande sätt undersöktes alternativa doseringspunkter i konvektionsdelen, precis före respektive efter konvektionsdelen.

Med utgångspunkt från förförsöken undersöktes därefter följande sorbentkombinationer:

- dolomit i eldstad
- dolomit i eldstad och släckt kalk i konvektionsdel
- släckt kalk i konvektionsdel
- släckt kalk i eldstad
- släckt kalk i eldstad och konvektionsdel.

Vid dessa försök undersöktes saltsyra-, svaveldioxid-, kolmonoxid- och koldioxidhalt i rengasen som funktion av olika kalciumöverskott/sorbenttyper vid eldning av ett bränsle bestående av endast RDF. Koncentrationen av saltsyra och svaveldioxid var utan sorbenttillsats ca 600 mg HCl/nm^3 tg vid 10% CO_2 respektive 250 mg SO_2/nm^3 tg vid 10% CO_2.

I en avslutande försöksserie undersöktes vid eldning med normalt använd bränslemix (50% RDF, 50% träflis) produktion och emission av klororganiska föreningar bl a dioxiner med respektive utan tillsats av sorbent. Samtidigt mättes emissionen av saltsyra, svaveldioxid, NO_x och dikvävemonoxid.

Vid denna försöksserie genomfördes även mätningar av MKS inom ett ordinarie kontrollprogram. Dessa redovisas i en separat rapport (9).

På grund av brand i en sorteringsanläggning för bränsleberedning rådde brist på RDF-bränsle. Av detta skäl kunde anläggningen ej eldas kontinuerligt med RDF-bränsle i den omfattning som planerats.

5 Genomförande/mätmetoder

5.1 Sorbenter/doseringsutrustning

Som sorbenter användes kalciumhydroxid (släckt kalk) och dolomit.

Använda sorbenter

Kemisk formel	Kalciumhydroxid $Ca(OH)_2$	Dolomit $CaMg(CO_3)_2$
Kalcium, vikt%	50.5	20.5
Partikelstorlek, µm	0-30	0-80
Kalcinerings-temperatur, °C	ca 400	ca 800
Leverantör	Cementa	Ernström Mineral AB

Sorbenterna doserades från två stycken silos, 4 m^3 respektive 40 m^3 volym, med hjälp av en skruvdoserare med blåslåda av Tomals konstruktion. Sorbenterna blåstes in i eldstad och konvektionsdel med hjälp av luft (ca 500 - 1 000 nm^3/h, fläkttryck ca 1 000 mm vp).

För att kunna mäta respektive sorbentflöden var varje doserutrustning inklusive silo uppställd på fyra lastceller (Bofors typ kis). Vikten kunde registreras med en noggrannhet på ±1 kg. Vid försöken registrerades vikten genom manuella avläsningar av respektive våg.

Injektionsplatser för de olika sorbenterna framgår av Figurbilaga 1.

För att kunna injicera sorbenten i eldstadens "näsa" hade rörmunstycken med en inre diameter på 27 mm monterats inne i sekundärluftportarna (8 st). Sorbenten fördelades jämnt mellan de olika munstyckena med hjälp av en fördelningslåda enligt Figurbilaga 2. Ett totalt transportluftflöde på 1 000 nm^3/h användes. Någon sekundärluft i portarna tillfördes ej.

Vid injektion av sorbent i ugnshals respektive före och efter konvektionsdel användes en lans bestående av 8 st rör med olika längd enligt Figurbilaga 3. Sorbenten fördelades till varje rör med hjälp av en fördelningslåda enligt Figurbilaga 2. För att erhålla en jämn fördelning av sorbent mellan de olika rören hade dessa försetts med ett munstycke i utloppet med en strypning på 20 mm. Vid ett totalt transportluftflöde på 850 nm^3/h (statiskt fläkttryck 1 000 mm vp) var differensen mellan det högsta och lägsta munstycksflödet maximalt 13%.

Vid de avslutande försöken med dioxinmätningar tillfördes kalciumhydroxiden efter konvektionsdelen genom ett 100 mm rörmunstycke (0.2 m innanför lucka, luftflöde ≈800 nm^3/h). På grund av en förträngning av rökgaskanalen i denna punkt var inblandningen av sorbenten mycket god även utan användning av en lans med flera munstycken.

5.2 Mätningar

5.2.1 Driftdata

Under mätningarna registrerades kontinuerligt driftförhållanden i anläggningen med hjälp av befintliga givare, som anslutits till en

datalogger. Data lagrades som 2-minuters medelvärden.

Vid försöken utfördes också analyser av rengasen efter elfilter enligt nedanstående punkt. Dessa analysdata lagrades i datalogger som 2-minuters medelvärden. Rökgasproverna togs ut i skorstenens mätplan. Raksträcka före respektive efter mätplanet var 39 respektive 41 m (skorstensdiameter = 1.20 m).

5.2.2 Kontinuerlig gasanalys

En delgasström av rökgasen avsögs via ett uppvärmt (200°C) stoftfilter (sintrat metallfilter) och ett snabbkylsystem till en delningspunkt varifrån varje instrument tog sitt provgasflöde medan överskottet avleddes genom en rotameter. Samtliga instrument utom HCl-instrumentet mätte på torr gas. Rökgasprov till HCl-gasanalysatorn togs ut via en uppvärmd slang, 175°C, och kvartsfilter.

För rökgasanalysen användes följande registrerande instrument:

- O_2, zirkoniumoxidcell, Servomex
- CO_2, IR-instrument, Binos
- CO, IR-instrument, Binos
- SO_2, UV-instrument, Binos
- NO_x, kemilumeniscens, Bendix
- NO, IR-instrument, Binos
- HCl, Hartmann och Braun, våtkemi med jonselektiv elektrod.

Instrumenten kalibrerades före och efter provperioderna med testgaser av känd halt.

På grund av instrumentteknikska problem kunde HCl-instrumentet endast användas under en del av försöken. I övrigt utfördes manuella analyser av rökgasens saltsyrahalt på platsen med våtkemiska metoder.

5.2.3 Avskilt stoft

Elfilterstoftflödet bestämdes vid dioxinproven genom uttagning och vägning av den totalt utmatade stoftmängden. Prov på elfilterstoft uttogs två gånger per timme under respektive 4-timmarsperiod och neddelades med hjälp av en provdelare till ett generalprov för respektive 4-timmarsprov.

5.2.4 Stoft- och vattenhalt

Proven uttogs isokinetiskt, dvs utsugningshastigheten av rökgas var lika stor som hastigheten i kanalen. Detta för att få en representativ stofthalt.

Provgasen sögs genom en uppvärmd sond till ett absolutfilter. Temperaturen i filtren var ca 200°C för att motverka syrakondensation.

Stofthalten bestämdes genom att det absolutfilter, som användes för att ta ut stoftprovet, vägdes före och efter provet. Den filtrerade gasmängden mättes med ett gasur. Vid gasuret mättes även tryck och temperatur på provgasen.

Gasmängden räknades sedan om till normaliserad volym (1 bar, 0°C). Ur detta beräknades stofthalten i mg/nm^3 torr gas.

Vattenhalten mätes på följande sätt: Den utsugna gasvolymen leddes genom en kylare, där största

delen av vattnet kondenserades ner i en behållare. Därefter leddes gasen igenom en behållare med torkmedel (blågel).

Den utkondenserade vattenvolymen mättes i ett mätglas och torkmedel vägdes före och efter provet.

Efter provet summerades vattenmängderna och summan relaterades till den utsugna gasvolymen.

Provningsmetoden följer de rekommendationer som återfinns i SNV PM 1821, utgiven i maj 1984.

5.2.5 N_2O-analys

Prov för analys av N_2O togs ut i påsar, som sedan analyserades med gaskromatograf på laboratorium. Innan provgasen fylldes på i provpåsarna renades gasen från svaveloxider samt torkades genom att först suga gasen genom en sorbent med Na_2CO_3 och sedan genom ett torkmedel med P_2O_5.

5.2.6 Dioxinprovtagning

Varje dioxinprov togs ut under en provperiod om 4 timmar. Provtagnings- och analysmetodik beskrivs i MKS-rapport MKS-86/101a.

5.2.7 Våtkemisk provtagning

HCl

För bestämning av HCl togs ett delflöde av den filtrerade provgasen från stoftprovtagnings-utrustningen ut via anslutningar direkt på den uppvärmda filterhållarens sekundärsida. HCl absorberades i tvättflaskor. Provflödet genom provtagningståget var ca 2-3 l/min. Efter torkning

i flaska fylld med blågel bestämdes provgasvolymen med gasur.

Tvättflaskorna var av polyeten och innehöll ca 100 ml 0.1 M NaOH.

Vid bestämning av saltsyrahalten i rågasen (provtagning precis före konvektionsdelen) togs gasprovet ut genom en rostfri 2 meter lång sond (id Ø6 mm). För att reducera mängden stoft i det uttagna gasprovet var provsondens ena ände vidgad till 20 mm diameter och böjd i 90° vinkel så att inloppsöppningen var riktad medströms rökgasflödet.

Kloridhalten bestämdes med jonselektiv elektrod enligt metodik beskriven av Orion Inc.

5.3 Kvantifiering av avskiljningsgraden för saltsyra, svaveldioxid och kloraromatiska föreningar

Av försökstekniska skäl valdes att bestämma produktion, avskiljning i elfilter och emission i rengas av kloraromater på följande sätt:

- avskild mängd kloraromater bestämdes genom analys av elfilterstoft och uppmätning av utmatad elfilterstoftmängd
- emitterad mängd kloraromater i rengasen (stoft + gasfas) bestämdes genom provtagning/analys av rengasen efter elfilter på vanligt sätt
- producerad mängd kloraromater beräknades från analysdata för avskild respektive emitterad mängd.

HCl-reduktion/emission och stoftavskiljningsgrad bestämdes på följande sätt:

- stoftavskiljningsgrad i elfilter bestämdes genom uppmätning av avskild stoftmängd i filtret respektive emitterad stoftmängd i rengas

- HCl-reduktion/emission bestämdes genom analys av HCl-halt i utgående partikelfria rengas efter elfilter med respektive utan sorbentdosering.

Vid försöken med olika kalciumöverskott avlästes analysdata först då konstanta saltsyrehalter erhållits. Normalt tog detta ca 30-60 minuter. Uppmätta analysdata baserar sig på 30-minuters medelvärden. Vid dioxinprovtagningarna doserades respektive kalciumdosering kontinuerligt minst 12 timmar före provets start.

5.4 Beräkningar

Utifrån uppmätta rökgasflöden, fukthalter och koldioxidhalter i rengasen beräknades det torra rökgasflödet till 38 500 nm^3/h tg vid 10% CO_2 vid en panneffekt på 19 MW.

Det stökiometriska molförhållandet kmol tillsatt Ca i sorbent/kmol S + kmol Cl/2 beräknades enligt nedan.

Svavelflöde i rengas utan sorbenttillsats:

$$\text{kmol S/h} = Q \cdot SO_2 \cdot 0.5 \cdot 10^{-6} / 32.06$$

Q = rökgasflöde; nm^3 tg/h vid 10% CO_2
SO_2 = mg SO_2/nm^3 tg vid 10% CO_2

Kloridflöde i rengas utan sorbenttillsats:

$$\text{kmol Cl/h} = Q \cdot HCl \cdot 0.97 \cdot 10^{-6} / 35.5$$

HCl = mg HCl/nm^3 tg vid 10% CO_2

Stökiometriskt molförhållande:

kmol Ca (sorbent)/kmol S + kmol Cl/2 (i rökgas utan sorbenttillsats)

= (M·Ca %/40.08)/kmol S + kmol Cl/2

M = sorbentmängd i kg
Ca % = vikt% Ca i sorbent (20.5% i dolomit, 50.5% i släckt kalk)

Saltsyra respektive svaveldioxidreduktionen beräknades genom att jämföra respektive koncentrationer i rengasen med och utan sorbenttillsats. Utgående från referensproven (ingen sorbenttillsats) beräknades ett medelvärde på HCl till 580 mg HCl/nm^3 tg vid 10% CO_2 och för SO_2 på 250 mg SO_2/nm^3 tg vid 10% CO_2. Dessa värden har använts som jämförelsevärden vid beräkning av avskiljningsgrader.

6 Resultat

6.1 Saltsyra- och svaveldioxidreduktion

För att erhålla referensdata på saltsyra och svaveldioxidhalter i rengasen utan sorbenttillförsel togs vid skilda tillfällen prov för analys ut. Dessa redovisas i Tabellbilaga 4.

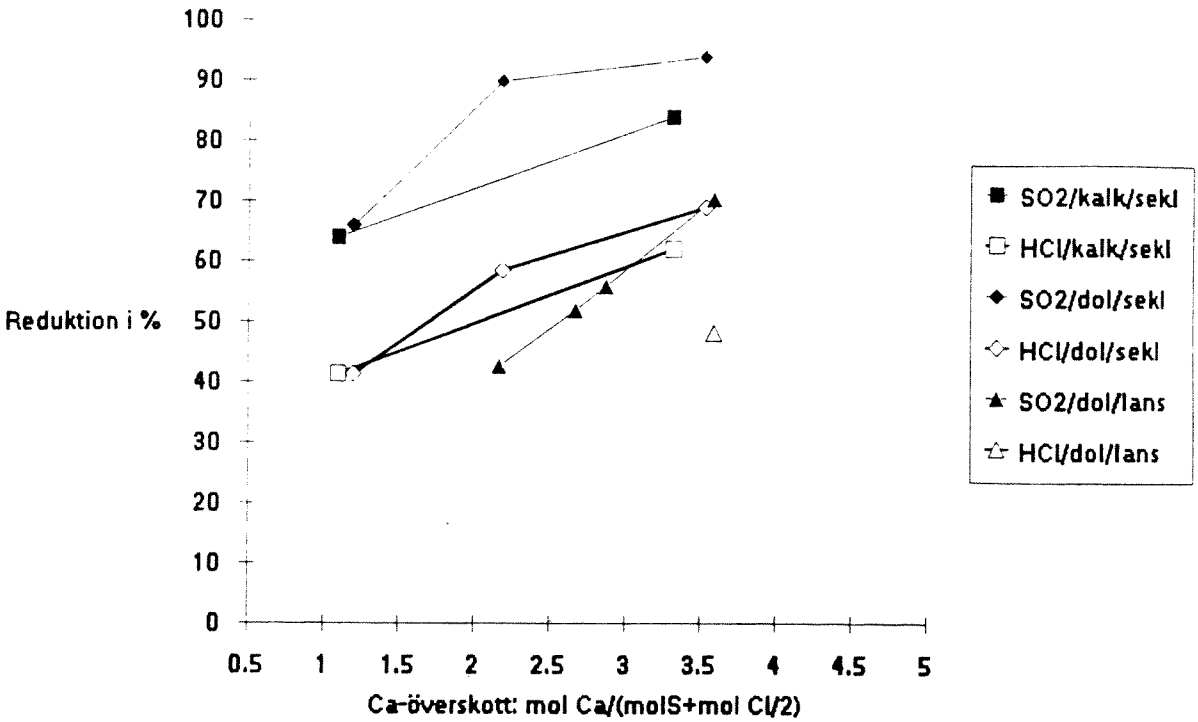
En sammanställning av erhållna resultat i sorbentförsöken redovisas i Tabellbilaga 1. Typiska driftbetingelser och emissionsdata redovisas i Figurbilaga 4.

6.1.1 Tillförsel av sorbent i en injektionspunkt

I en första etapp undersöktes alternativa doseringspunkter i eldstaden. Injektionspunkter visas i Figurbilaga 1. Resultaten från dessa försök, Figur 1 nedan, visade att vid injektion av dolomit med hjälp av en lans placerad i eldstadens utlopp (ugnshalsen) erhölls en sämre saltsyra- respektive svaveldioxidreduktion i jämförelse med injektion av dolomit i sekundärluftportarna.

Injektion av släckt kalk istället för dolomit i sekundärluftportarna gav en reduktion av saltsyra i samma storleksordning som den dolomit gav.

Av ovanstående skäl gjordes i de fortsatta försöken alla sorbenttillsatser i eldstaden via sekundärluftportarna.



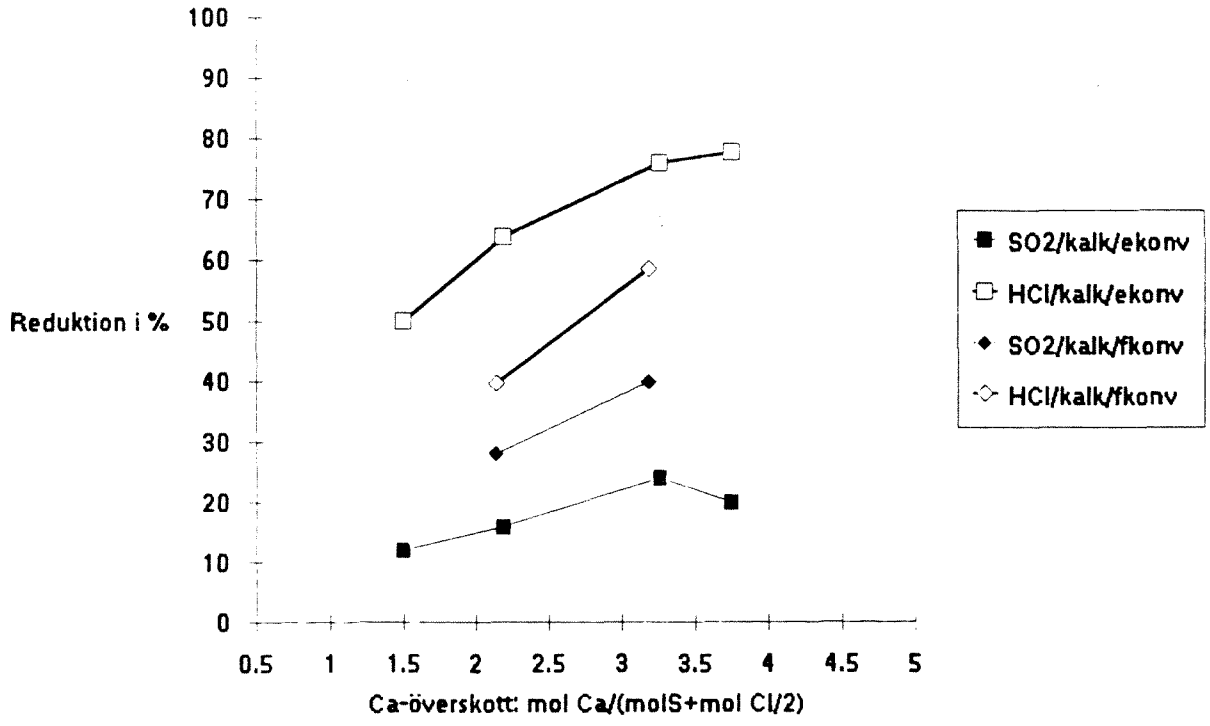
Figur 1

Procentuell reduktion av HCl och SO_2 som funktion av kalciumöverskott vid dosering av släckt kalk eller dolomit till eldstaden genom sekundärluftportarna eller via en lans i ugnshalsen. (Koncentration i rengas utan sorbenttillförsel: 580 mg HCl och 250 mg SO_2/nm^3 tg 10% CO_2.)

Percentual reduction of HCl and SO_2 as a function of calcium excess during injection of calciumhydroxide or dolomite in the furnace through the secondary air ports or by means of a lance in the exit of the furnace.

Orsaken till att en bättre reduktion av saltsyra och svaveldioxid erhölls vid tillförsel av dolomit via sekundärluftportarna än via lansen i ugnshalsen var sannolikt att partiklarna erhöll en längre uppehållstid vid en högre temperatur vid injektion i sekundärluftportarna. Detta gav bättre förutsättningar för en god kalcinering. Samtidigt var temperaturen i eldstaden så låg, 800-1000°C, att någon risk för sintring och reducering av kalkpartikelns aktiva yta ej förelåg.

Reduktionen av saltsyra respektive svaveldioxid vid tillförsel av släckt kalk på olika platser i konvektionsdelen redovisas i Figur 2.



Figur 2

Procentuell reduktion av HCl och SO_2 som funktion av kalciumöverskott. Tillförsel av släckt kalk före (≈400°C) respektive efter (≈200°C) konvektionsdelen. (Koncentration i rengasen utan sorbenttillförsel 580 mg HCl respektive 250 mg SO_2/nm^3 tg 10% CO_2.)

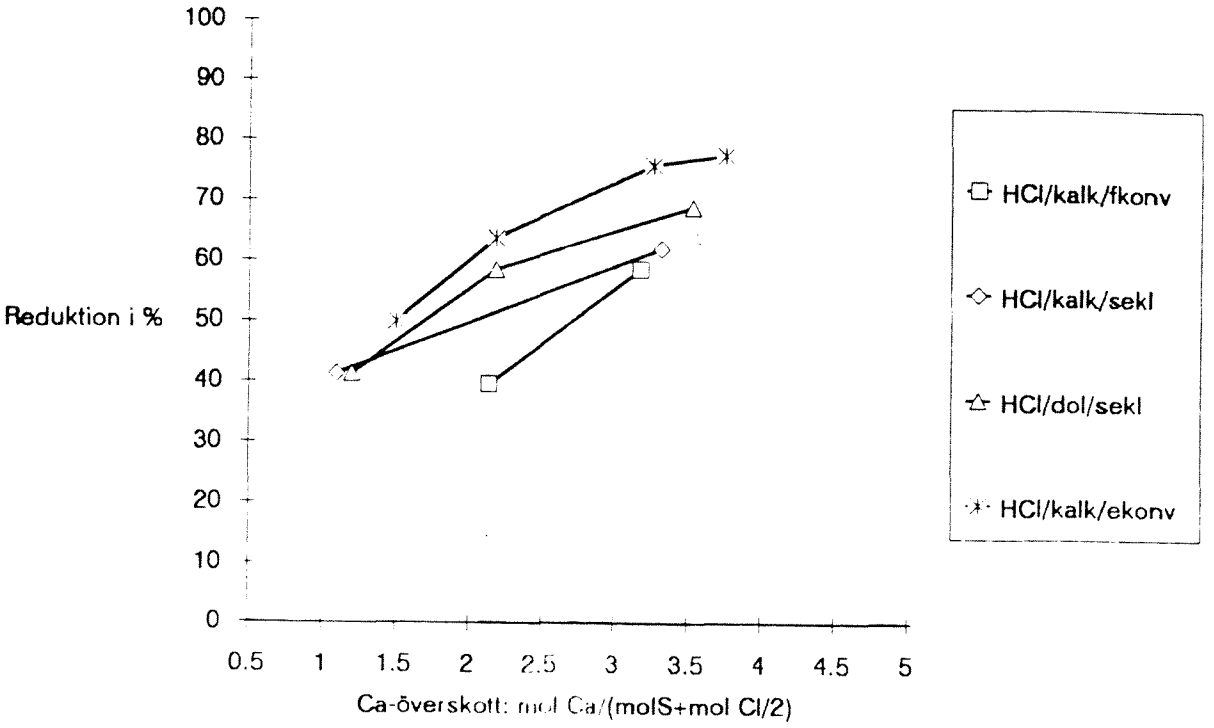
Percentual reduction of HCl and SO_2 as a function of calcium excess. Addition of calciumhydroxide before (≈400°C) or after (≈200°C) the convection part.

Vid tillförsel av släckt kalk efter konvektionsdelen (ca 200°C) erhölls en bättre saltsyrareduktion än vid kalktillförsel precis före konvektionsdelen (ca 400°C). En förklaring till denna observation skulle kunna vara att den släckta kalken delvis dehydratiseras till kalciumoxid och

att denna har en sämre reaktivitet för att binda saltsyra.

Reduktionen av svaveldioxid var något bättre vid kalkinjektion före konvektionsdelen i jämförelse med kalkinjektion efter konvektionsdelen. Reduktionen var dock i båda fallen mycket låg, 40% eller mindre.

En jämförelse av erhållna saltsyrareduktioner vid olika molöverskott och sorbentdoseringar redovisas i Figur 3. Dosering av släckt kalk efter konvektionsdelen gav den högsta reduktionen, 76-78%, vilket gav en saltsyrakoncentration i rengasen på 130-140 mg HCl/nm^3 tg vid 10% CO_2. Koncentrationen av saltsyra i rengasen utan kalktillsats var 600 mg HCl/nm^3 tg vid 10% CO_2.



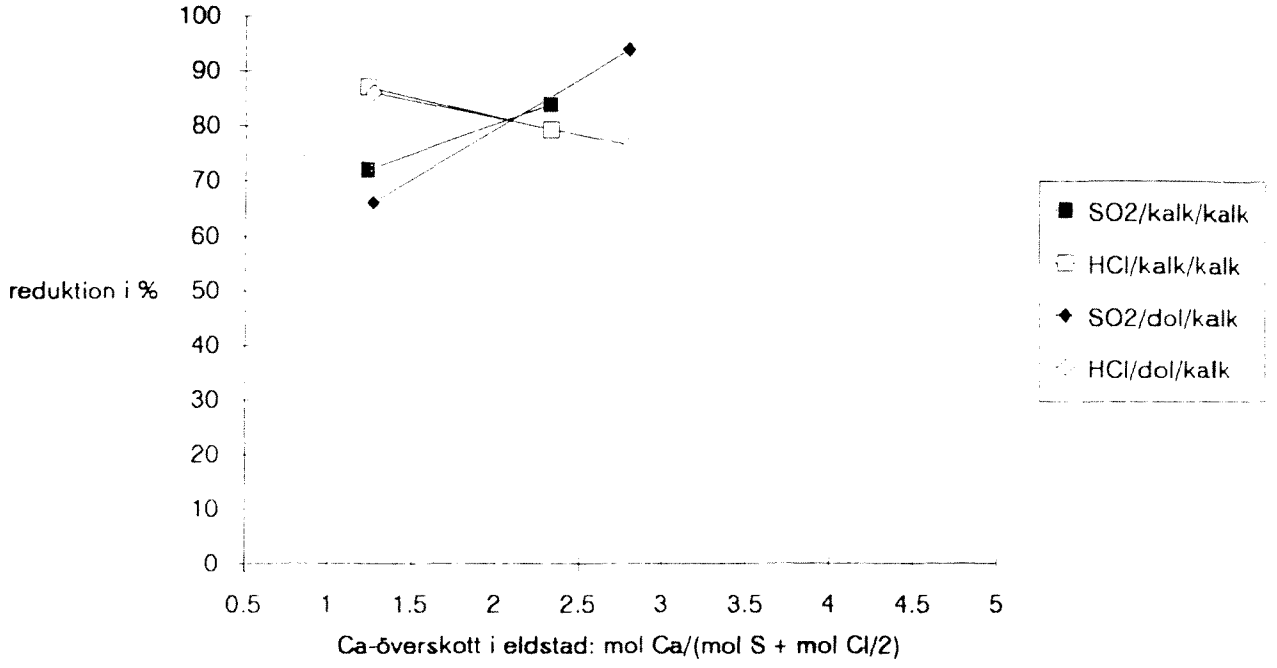
Figur 3

Procentuell reduktion av HCl som funktion av kalciumöverskott. En jämförelse av olika sorbentmaterial och doseringsplatser (HCl-halt i rengas utan sorbenttillsats 580 mg HCl/nm^3 tg 10% CO_2).

Percentual reduction of HCl as a function of calcium excess. A comparison of different sorbents and points of addition.

6.1.2 Samtidig tillförsel av sorbent i två olika injektionspunkter

Försöksresultat erhållna vid samtidig dosering av sorbent till både eldstad - tillförsel av dolomit eller släckt kalk i sekundärluftportarna - och efter konvektionsdel (släckt kalk) redovisas i Figur 4.



Figur 4

Procentuell reduktion av HCl och SO_2 som funktion av kalciumöverskott i eldstaden. Tillförsel av släckt kalk eller dolomit i eldstad och samtidig tillförsel av släckt kalk efter konvektionsdelen. Totalt kalciumöverskott i samtliga försök = 3.6. (Sorbent i eldstad + sorbent efter konvektionsdel: koncentration i rengas utan sorbenttillförsel 580 mg HCl och 250 mg SO_2/nm^3 tg 10% CO_2.)

Percentual reduction of HCl and SO_2 as a function of calcium excess in the furnace. Addition of calciumhydroxide or dolomite to the furnace and simultaneously addition of calciumhydroxide after the convection part.

Användning av ett molärt kalciumöverskott i eldstad/konvektionsdel i ett förhållande på 1/2 gav en bättre saltsyrareduktion, 85-87%, än användning av ett kalciumöverskott i förhållandet 2/1, som gav en saltsyrareduktion på 77-79%.

Genom att dosera kalciumsorbenten (Ca molöverskott cirka 3.5) i både eldstad och konvektionsdel samtidigt kunde en saltsyrahalt i rengasen på ca

80 mg HCl/nm^3 tg vid 10% CO_2 uppnås som lägst. Dosering av samma molöverskott kalcium med släckt kalk efter konvektionsdelen gav som bäst en saltsyrahalt i rengasen på 130-140 mg HCl/nm^3 tg vid 10% CO_2.

För att undersöka hur tidigt i pannan saltsyran kunde bindas till sorbenten analyserades saltsyrahalten i en del fall förutom i rengasen även precis före konvektionsdelen. Resultaten visar att ca 40-50% av saltsyran hade bundits till sorbenten vid inträdet i konvektionsdelen, Tabellbilaga 4.

6.2 Temperaturmätningar

Registrering av rökgastemperaturen i olika delar av pannan indikerade inga påslagstendenser i rökgasstråken - förhöjda rökgastemperaturer - efter eldstaden eller i konvektionsdelen (Figurbilaga 4).

Sotning av pannan den 17 februari efter försökens genomförande visade inga onormala påslag vare sig i omfattning eller i beläggningarnas hårdhet. Beläggningarna var lösa och kunde tas bort genom vattenspolning.

Temperaturmätning med sugpyrometer utfördes dels i ugnshalsen, dels i rökgasstråket före själva eldstaden för olja. Resultaten redovisas i Tabellbilaga 5.

Temperaturen i ugnshalsen varierade mellan 850-970°C. Intill själva pannväggen, 150 mm från vägg, var dock temperaturen lägre, 750-800°C. I rökgasstråket efter ugnshalsen varierade temperaturen mellan 620-660°C.

6.3 Sorbenttillsatsens påverkan på dioxinproduktionen

Eftersom ingen skillnad i saltsyrareduktion eller påslagstendenser mellan användning av dolomit/-släckt kalk eller släckt kalk/släckt kalk i eldstad/efter konvektionsdel kunde konstateras, valdes av praktiska skäl att för de fortsatta försöken använda enbart släckt kalk för samtidig injektion både i eldstad (rör instuckna i sekundärluftportarna) och efter konvektionsdel.

Vid dessa försök användes som bränsle enligt anläggningsägarens önskemål en blandning bestående av 50% träflis och 50% RDF. Med denna blandning erhölls vid dioxinförsöken utan tillförsel av sorbent en saltsyrehalt i rengasen på 164 mg HCl/nm^3 tg vid 10% CO_2. I ett tidigare förförsök med den bränsleblandning som var tänkt att användas vid dioxinförsöken uppmättes ett HCl-värde på 350 mg HCl/nm^3 tg vid 10% CO_2. Med utgångspunkt från detta förförsök valdes lämpliga sorbentflöden för dioxinproven. Tyvärr visade det sig att den bränsleblandning som användes vid dioxinförsöken gav en lägre HCl-halt än bränsleblandningen som användes i förförsöket. Av detta skäl kom ett mycket högt kalciumöverskott att användas vid dioxinförsöken. Orsaken till bränsleförändringen var bl a att man använde stamvedsflis istället för diverse träavfallsflis.

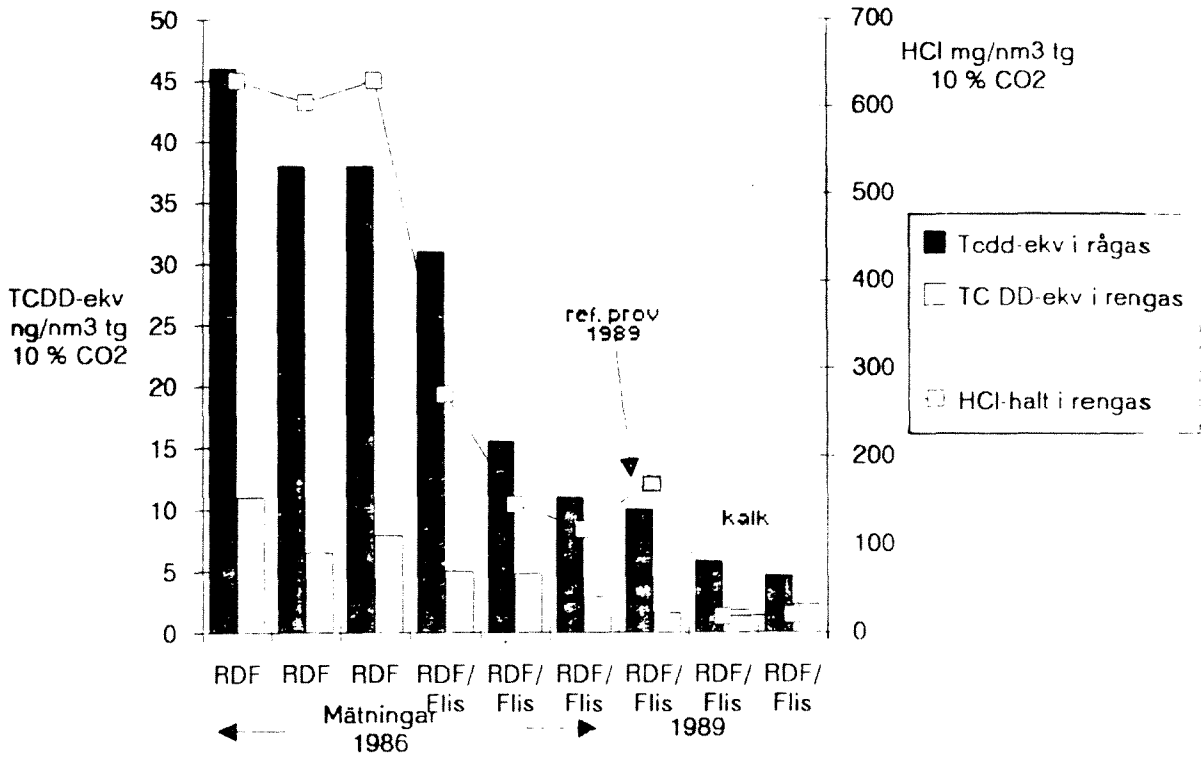
För att erhålla kontinuerliga driftbetingelser innan dioxinprovtagningarna inleddes doserades släckt kalk till eldstaden kontinuerligt från pannans uppstart (efter sotning den 17 februari) den 18 februari kl 0700 till och med kalkförsökens avslutande den 23 februari.

Resultaten från dessa försök redovisas i Tabell-bilaga 2-3 och i nedanstående Figur 5.

Vid dioxinförsöken mättes även andra parametrar inom ett ordinarie kontrollprogram. Dessa resultat redovisas i referens (9).

Förbränningseffektiviteten var vid försöken genomgående mycket god, en kolmonoxidhalt på ca 30 ppm uppmättes.

I Figur 5 redovisas produktionen av TCDD-ekvivalenter vid de olika försöken.



Figur 5

Koncentration av TCDD-ekvivalenter i rågas och rengas samt HCl-halt i rengas vid mätningarna 1986 utan kalktillförsel respektive försöken 1989 med och utan tillförsel av släckt kalk (samtidigt i eldstad/konvektionsdel). (HCl-halt i rengasen utan sorbenttillsats vid försöken 1989 var 164 mg/nm^3 tg.)

Concentration of TCDD-equivalents in raw gas and clean gas and concentration of HCl in clean gas during the measurements 1986 and 1989.

Som jämförelse har tidigare mätningar vid samma panna också medtagits. En jämförelse av dioxinproduktionen i referensprovet (utan kalktillsats) i föreliggande undersökning stämmer väl överens med tidigare erhållna data. I försöken där släckt kalk tillförts kunde konstateras att en halvering av dioxinproduktionen erhållits i jämförelse med referensprovet utan kalktillförsel. Beroende på en sämre avskiljningsgrad av dioxiner i elfiltret vid försöken med kalk i jämförelse med ingen kalktillsats, erhölls dock ingen reduktion av dioxinhalten

i rengasen vid tillsats av släckt kalk. Skillnaden i dioxinemission i rengasen mellan de olika proven var relativt liten.

6.4 Övriga emissionsmätningar

Vid dioxinförsöken med tillförsel av släckt kalk i eldstad och efter konvektionsdel mättes också stofthalt, halt kväveoxider och halt dikvävemonoxid.

6.4.1 Stoftemission

Beträffande stoftemissionen kunde konstateras, att trots en förhöjd stoftbelastning genom kalkdosering kunde ingen förhöjning av stoftemissionen registreras. Stofthalten var i samtliga prov mycket låg, 6-11 mg/nm^3 tg vid 10% CO_2. Stoftavskiljningsgraden var i samtliga fall 99.5% eller högre.

6.4.2 NO_x- och N_2O-emission

Någon skillnad i NO_x-emission kunde ej uppmätas mellan försöken med tillsats av släckt kalk i eldstad/konvektionsdel respektive referensprovet, Tabellbilaga 2. NO_x-halten låg på 170 ppm tg vid 6% syrehalt.

Koncentrationen av N_2O var låg och uppmättes som högst till 20 ppm, Tabellbilaga 6. Någon skillnad i N_2O-halt med respektive utan kalkdosering i eldstad/konvektionsdel kunde ej konstateras.

7 Diskussion

Försöken visar att om man istället för att dosera släckt kalk enbart efter konvektionsdelen, doserar släckt kalk i både eldstad och efter konvektionsdel, kan man vid samma totala kalköverskott förbättra reduktionen av saltsyra från 78 till 87%. Med denna metod erhålls dessutom en reduktion av svaveldioxidhalten, ca 70%. Vid förbränning av hushållsavfall svarar emissionen av svaveldioxid oftast för ca halva syraemissionen. Med en kombinerad sorbenttillförsel får man således ett bättre kalciumutnyttjande och en väsentligt bättre reduktion i utsläpp av försurande ämnen än om släckt kalk enbart tillförs efter konvektionsdelen.

Analys av saltsyrahalten i rökgasstråket precis före konvektionsdelen vid dosering av släckt kalk i eldstaden visar att saltsyrahalten reducerats med ca 50%.

En förklaring till att en bättre reduktion av saltsyra erhålls vid en kombinerad sorbentdosering kan således vara att en delmängd av saltsyran har bundits till kalciumoxid i rökgasstråket före konvektionsdelen. På så sätt kan man med en mindre tillsatt mängd av släckt kalk efter konvektionsdelen uppnå ett högt kalciumöverskott och en lägre saltsyrahalt i rengasen än om samma totalmängd kalk hade tillsatts enbart efter konvektionsdelen. Samtidigt finns en resterande mängd kalciumoxid kvar, som kan binda ytterligare saltsyra i konvektionsdel/elfilter.

Beträffande produktion av dioxiner - mätt som TCDD-ekvivalenter - visade försöken att vid

tillförsel av släckt kalk i eldstad och konvektionsdel erhölls en minskad produktion av dioxiner. I förhållande till saltsyrareduktionen var emellertid reduktionen av dioxiner relativt låg (Figur 5). Som visats i tidigare arbeten (6, 7), har man funnit att produktionen av dioxiner sker främst i pannans kylda del i temperaturområdet 300-600°C. I denna temperaturzon i pannan var också saltsyrahalten i rågasen vid kalkförsöken väsentligt högre än i rengasen. Orsaken till att produktionen av dioxiner ej kunde reduceras mer än ca 50% beror sannolikt på svårigheterna att uppnå en tillräckligt tidig bindning av saltsyra i eldstaden. En annan förklaring kan vara att sorbenten ej kunnat fördelas jämnt i rökgasen. Vid försöken med tillsats av dolomit i eldstaden erhölls emellertid en mycket god reduktion av svaveldioxid. Detta indikerar att fördelningen av sorbenten i eldstaden vid dosering via sekundärluftportarna sannolikt var relativt god.

Beträffande emissionen av dioxiner i rengasen kan konstateras att denna låg på samma nivå i både referensprovet utan släckt kalk och i proven med släckt kalk tillsatt. Orsaken till detta var en sämre avskiljningsgrad av dioxiner i elfiltret i kalkförsöken än i referensprovet. Rökgastemperatur och stoftavskiljningsgrad var desamma i de olika försöken. Orsaken till den sämre avskiljningsgraden av dioxiner i kalkförsöken skulle kunna vara att aktiva sorptionsytor för organiska ämnen på rökgasstoftet, t ex oförbrända kolpartiklar, delvis blockeras vid kalktillförsel.

Ett sätt att förbättra avskiljningsgraden av dioxiner i elfiltret skulle kunna vara att sänka rökgastemperaturen ytterligare.

Sammanfattningsvis kan det konstateras att även om ett mycket högt kalciumöverskott tillförs eldstaden, har det ej varit möjligt att reducera dioxinproduktionen med mer än 50%.

Genom den speciella utformning som pannan i Borlänge har, är rökgasens uppehållstid i det kylda rökgasstråket före konvektionsdelen mycket lång. Rökgasens medeluppehållstid i ugnshals-konvektionsdel var ca 4 sekunder. I en undersökning av Schuch (10), avskiljning av saltsyra med kalciumsorbent, fann man att en förlängning av uppehållstiden över 0.7 sekunder gav en liten effekt. Detta innebär att även om bildningen av kalciumklorid endast sker i ett relativt begränsat temperaturintervall så torde reaktionstiden i rökgasstråket i Borlänge-pannan ej vara en begränsande faktor för sorptionen av saltsyra.

Med utgångspunkt från jämviktsdata för reaktionen $CaO+HCl \rightleftharpoons CaCl_2+H_2O$ har det visats (8) att först vid en jämviktstemperatur på 540°C eller lägre är koncentrationen av saltsyra i gasfas 100 mg/nm^3 eller lägre. Detta innebär således att oavsett eventuella reaktionskinetiska begränsningar blir det svårt att reducera saltsyrahalten tillräckligt tidigt i pannan - innan den kritiska temperaturzonen för dioxinbildning. En förlängd uppehållstid av rökgaserna i temperaturområdet 300-500°C kan eventuellt också förhöja produktionen av dioxiner.

För att kunna uppnå en väsentligt minskad produktion av dioxiner genom att reducera saltsyrahalten i pannan måste sannolikt andra förbränningsprocesser tillgripas. Förgasning i kombination med gasrening och först därefter slutlig förbränning kan vara en metod.

De genomförda mätningarna visar således att det ej är möjligt att genom inblåsning av en kalciumsorbent i eldstaden i en konventionell avfallseldad panna påverka produktionen av dioxiner på ett avgörande sätt, t ex så att gränsvärdet för dioxiner i nya anläggningar 0.1 ng/nm^3 tg 10% CO_2 kan uppnås.

Referensförteckning

1 BERGSTRÖM, J
Personlig kommunikation.

2 RUDLING, L
Eldning med avfallsbränslen i fluidiserad bädd.
Värmeforsk, 1988 (305).

3 BERGSTRÖM, J och ÖBERG, T
Organiska mikroföroreningar från avfallsförbränning.
Studsvik AB, 1986 (MKS-86/26).

4 ÖBERG, T och BERGSTRÖM, J
Indicator parameters for PCDP/PCDF.
Studsvik AB, 1988 (MKS-87/109).

5 EKLUND, G, PEDERSEN, J R och STRÖMBERG, B
Formation of chlorinated organic compounds during combustion of propane in the presence of HCl.
Chemosphere, 1987, 16, 161.

6 Program för forskning om avfallsförbränning.
Statens Energiverk (1987).

7 ÖBERG, T, WARMAN, K och BERGSTRÖM, J
Production of chlorinated aromatics in the post-combustion zone and boiler.
Studsvik AB, 1988 (MKS-88/35).

8 MICHELE, H
Rauchgasreinigung mit trockenen Sorbentien.
Chemie Ing Tech 56, 819-829 (1984).

9 MKS mätrapport.
MKS-86/101a (1989).

10 SCHUCH, P G
Trockensorption von HCl, HF und SO_2 aus Rauchgasen in einer halbtechnischen Versuchsanlage.
Forschungsberichte des Landes Nordrhein Westfahlen, nr 2907, Westdeutscher Verlag (1980).

Tabellbilaga 1

Reduktion av saltsyra och svaveldioxid vid olika sorbentkombinationer och kalciumöverskott.
Reduction of hydrochloric acid and sulphur dioxide at different combinations of sorbents and excess of calcium.

Sorbent i eldstad			Sorbent i konvektionsdel				Ca-överskott mol Ca/mol S+ mol Cl/2 %	Svaveldioxid reduktion %	Saltsyra
inj plats	dolomit kg/h	sl kalk kg/h	inj plats	sl kalk kg/h	svaveldioxid mg/nm^3 tg 10% CO_2	saltsyra i rengasen			
lans[1]	193	0		0	143		2.16	42.8	
lans	238	0		0	120		2.66	52	
lans	256	0		0	110		2.86	56	
lans	320	0		0	74	300	3.58	70.4	48.2
sek luft[2]	315	0		0	15	180	3.53	94	68.9
sek luft	195	0		0	25	240	2.18	90	58.6
sek luft	107	0		0	85	340	1.19	66	41.3
sek luft	0	121		0	40	220	3.31	84	62.0
sek luft	0	40		0	90	340	1.19	66	41.3
			före konv	116	150	240	3.18	40	58.6
			före konv	78	180	350	2.13	28	39.6
			efter konv	137	200	130	3.75	20	77.5
			efter konv	119	190	140	3.26	24	75.8
			efter konv	80	210	210	2.19	16	63.7
			efter konv	55	220	290	1.50	12	50
sek luft	250	0	efter konv	30	15	136	3.62	94	76.5
sek luft	108	0	efter konv	85	80	85	3.54	68	85.3
sek luft	113	0	efter konv	85	85	81	3.58	66	86.0
sek luft		45	efter konv	85	70	75	3.56	72	87.0
sek luft		85	efter konv	45	40	120	3.56	84	79.3
ingen tillsats av sorbent					250	580			

[1] Lans i ugnshals. [2] Munstycken insatta i sek luftportarna.

Tabellbilaga 2

Drift- och emissionsdata vid dioxinprovtagning.
Operating and emission data during sampling for dioxines.
Bränsleblandning: 50% RDF (55% TS), 50% stamvedsflis (61% TS).

	Mätperiod				
Parameter	1	2	3	4	Enhet
Provtagn datum	22/2	22/2	23/2	24/2	
Totalluftflöde	30.7	30.7	30.4	31.6	Knm^3/h
Producerad effekt	18.4	19.6	18.2	18.5	MW
Ugnstemperatur TE74	860	900	820	820	°C
O_2 - drift	6.2	6.1	6.7	6.9	vol-% vg
Kalk före näsa	76	76	34	-	kg/h
Kalk efter konv	79	79	52	-	kg/h
Totalt kalcium-överskott	15	15	8	-	mol Ca/mol S+mol Cl/s
CO_2	12.3	12.3	11.9	11.7	vol-% tg
O_2	7.3	7.0	7.4	7.5	vol-% tg
CO	33	32	32	34	ppm tg
SO_2	<5	<5	<5	10	ppm tg
NO_x	150	160	160	150	ppm tg
NO_x (6% O_2)	164	171	177	167	ppm tg
Stoft	6	9	9	11	mg/m^3*
Fukthalt	18.3	18.9	19.5	18.8	mg/m^3*
HCl	18	14	20	164	mg/m^3*
HF	0.8	1.5	0.9	1.2	mg/m^3*
Rökgashastighet	17.1	17.0	16.7	17.5	m/s
Rökgasflöde	40300	40100	39500	41100	nm^3/h
Rökgasflöde	32900	32500	31800	33400	nm^3 tg/h
Rökgasflöde	40500	40000	37800	39100	m^3*/h
Avskilt elfilter-stoftflöde	-	158	129	82	kg/h

* m^3 avser norm torr gas vid 10% CO_2.

Tabellbilaga 3

Emissionsdata för klororganiska föreningar vid olika kalciumöverskott.
Emission of chloroorganic substances at different excess of calcium.

Prov-period	Kalcium-överskott mol Ca/mol S+mol Cl/2	HCl-halt i rengas mg/nm^3 tg vid 10% CO_2	Summa klorbensener			TCDD-ekv[1]		
			$\mu g/nm^3$ tg 10% CO_2		% av-skilt i elfilter	ng/nm^3 tg 10% CO_2		% av-skilt i elfilter
			rengas	rågas		rengas	rågas	
1 sl kalk	15	18	8.4	-	-	-	-	-
2 sl kalk	15	14	7.4	9	18	2.3	4.7	51
3 sl kalk	8	20	5.8	7.4	22	1.8	5.9	69
4 -	–	164	9.2	12.6	27	1.6	10	84

1) Beräknade enligt Eadons modell.

Tabellbilaga 4

Analys av saltsyra i rengas och före konvektionsdel.
Analysis of hydrochloric acid in clean gas and before convection part.

Analysdatum	Bränsle	Sorbentdosering Ca-överskott i eldstad	Tidpunkt	CO_2-halt %	HCl-halt i rengas mg/nm^3 tg 10% CO_2	HCl-halt i inlopp till konvektionsdel mg/nm^3 tg 10% CO_2
19.1	RDF 100%	-	1330-1430	9.5	570	
19.1	RDF 100%	-	1435-1515	11.7	550	
1.2	RDF 100%	-	1830-1925	11.6	580	
1.2	RDF 100%	-	1930-2020	11.3	630	
1.2	RDF 100%	Dolomit, 3.5	0750-0850	11.1	190	260
1.2	RDF 100%	Släckt kalk, 3.3	1105-1200	11.7	230	310
23.2	50% RDF/ 50% flis	Släckt i eldstad + konvektionsdel	1130-1200	11.7	20	90

Tabellbilaga 5

Temperaturmätning med sugpyrometer.
Temperature measurement with suction pyrometer in the furnace.
Uppmätning av temperaturfördelning i pannans tvärsnitt.
Eldning med 100% RDF, panneffekt 19 MW.

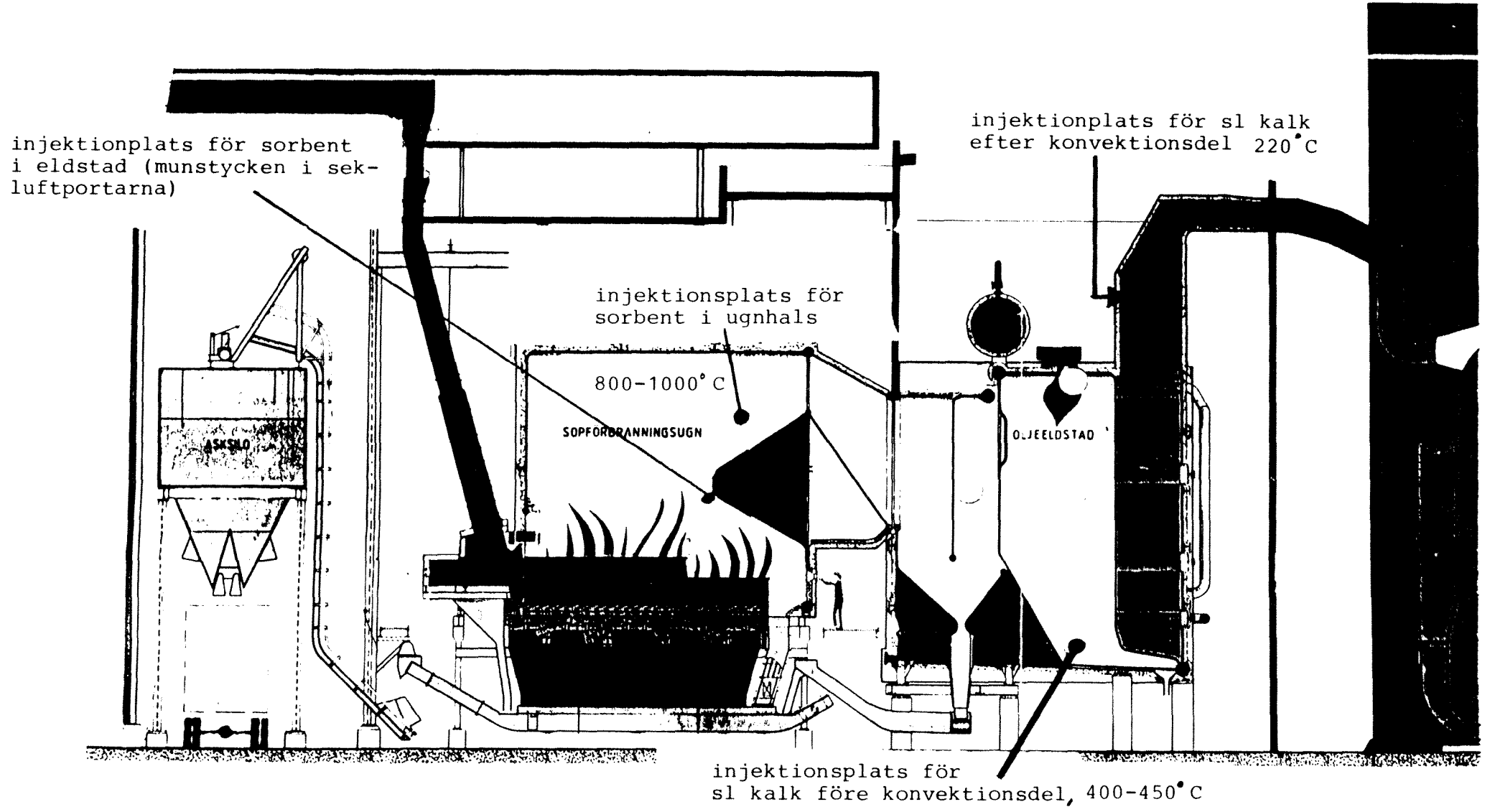
Temperaturmätning i ugnshals				Temperaturmätning i rökgas-stråk efter ugnshals		
mm från inre pannvägg	mätn 1 °C	mätn 2 °C	mätn 3 °C	mm från inre pannvägg	mätn 4 °C	mätn 5 °C
150	750	740	790	100	620	645
350	850	878	875	300	640	660
550	910	910	880	500	655	665
750	900	890	890	700	655	640
950	900	895	930	900	660	640
1 150	930	865	970	1 100	635	625
1 350	890	870	960	1 300	625	630
1 550	905	930	930	1 500	625	660
1 750	915	938	926	1 700	655	660
1 950	920	880	960	1 900	645	655
				2 100	665	655

Tabellbilaga 6

Analys av dikvävemonoxid.
Analysis of dinitrogen monoxide.

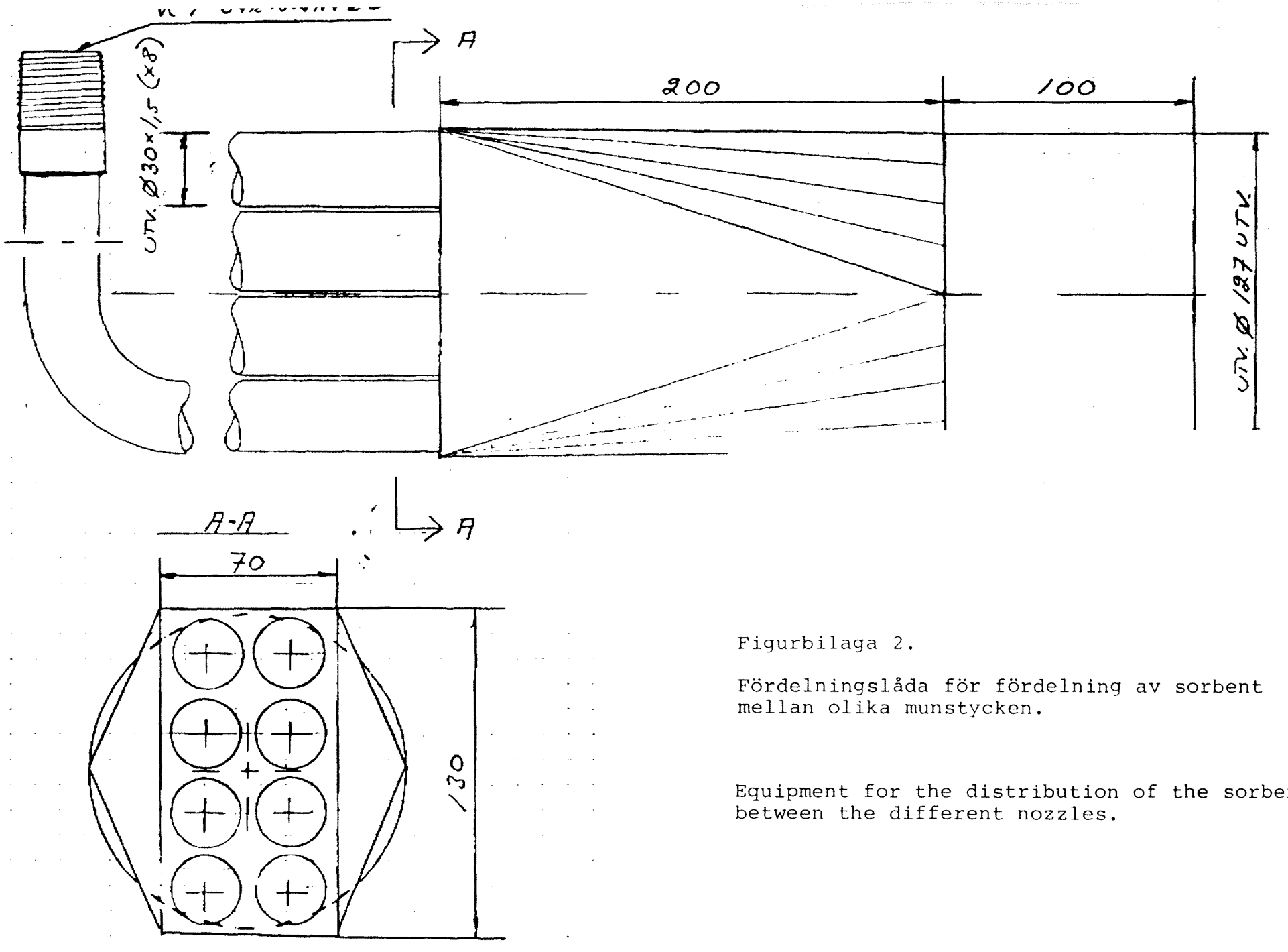
Analysdatum	Sorbenttillförsel	Eldstadstemp (TE74)	O_2-halt % tg	CO ppm	N_2O ppm tg	NO_x ppm tg
22.2	Släckt kalk i eldstad 76 kg/h Släckt kalk efter konv 79 kg/h	950	6.1	30	20	150
22.2	Släckt kalk i eldstad 76 kg/h Släckt kalk efter konv 79 kg/h	900	5.4	30	13	140
22.2	Ingen kalktillsats	890	6.0	40	13	140
24.2	Ingen kalktillsats	840	7.2	30	<5	150
24.2	Ingen kalktillsats	820	6.1	30	<5	140

Panna med förugn för eldning med avfallsbränslen



Figurbilaga 1.
Injektionsplatser för sorbenter i eldstad/panna.

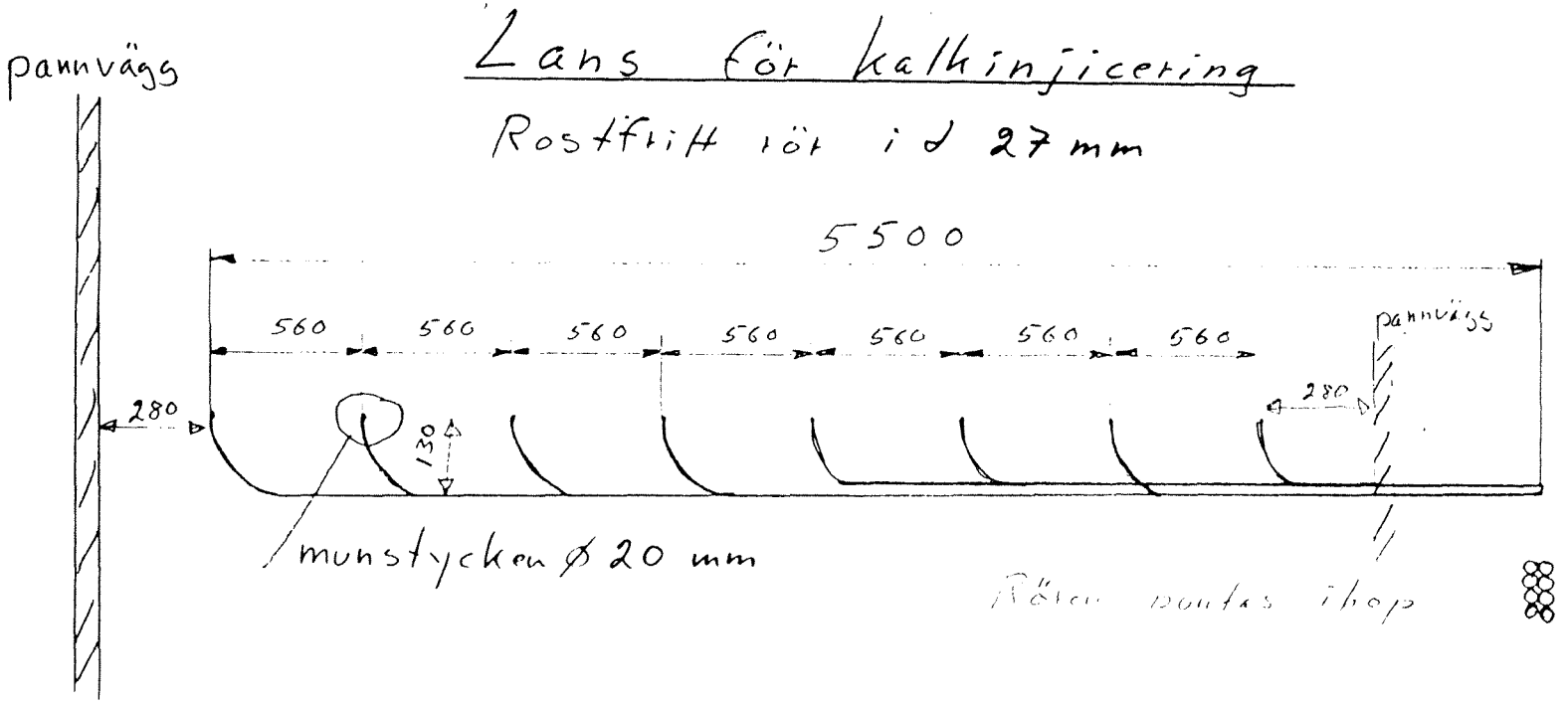
Location of points for the injection of sorbents in the furnace/convection part.



Figurbilaga 2.

Fördelningslåda för fördelning av sorbent mellan olika munstycken.

Equipment for the distribution of the sorbents between the different nozzles.

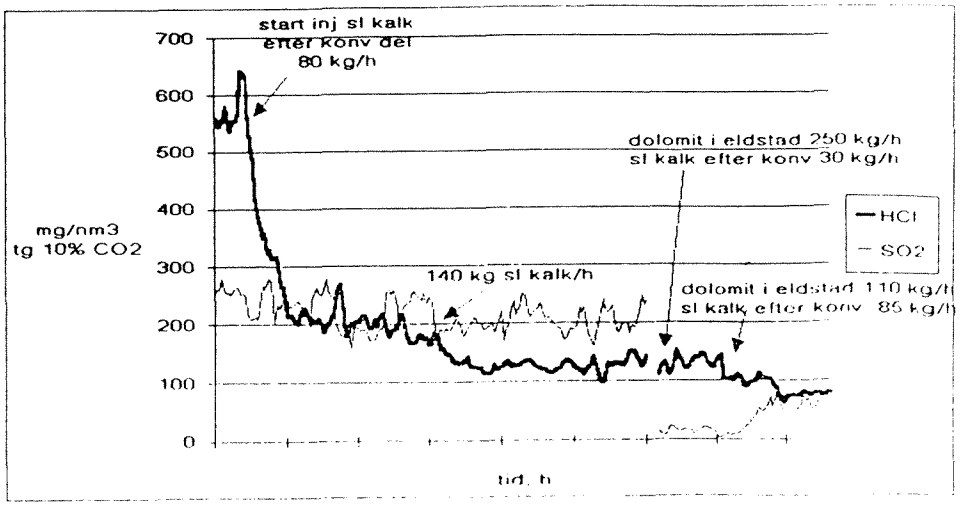


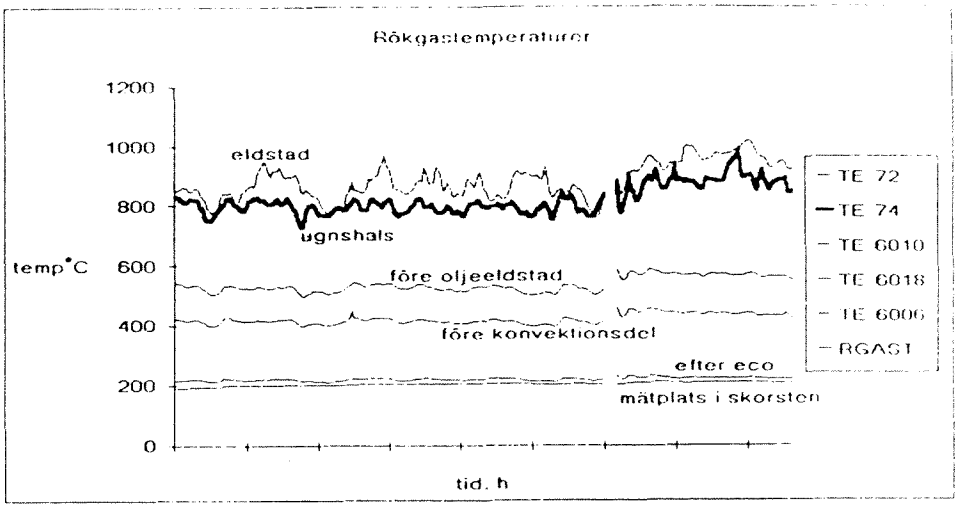
Denna lans användes vid injektion av sorbent i ugnshalsen, (ett munstycke pluggat) respektive injektion före konvektionsdel. Lansen monterades i respektive manlucka.

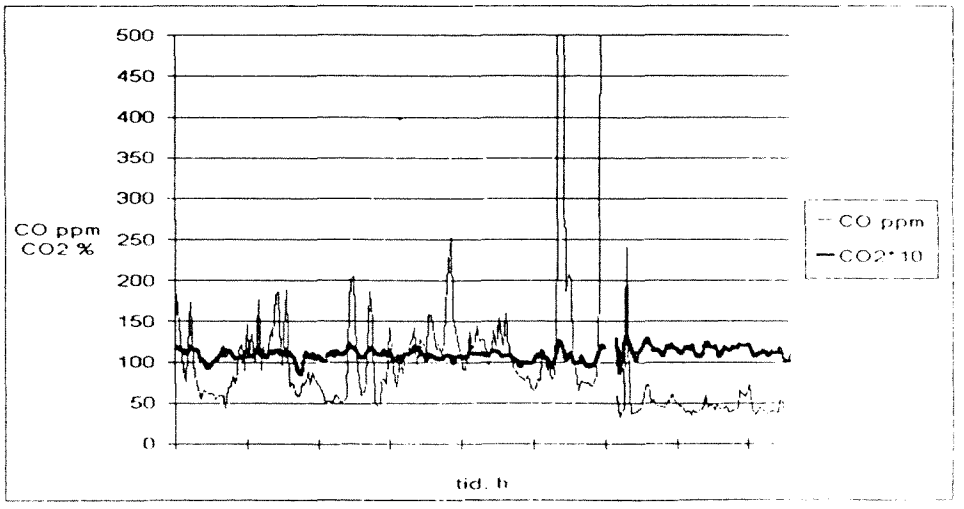
Figurbilaga 3.

Lans för insprutning av sorbent.

Lance used for injection of the sorbents.







Figurbilaga 4.
Registrering av rökgastemperaturer och gasanalyser av rengasen vid eldning av RDF (100%) vid olika sorbent-tillsatser i eldstad/konvektionsdel.

Registration of flue gas analysis and temperatures in the clean gas during firing of RDF(100 %) and addition of different sorbents to the furnace/convection part.

Värmeforsk är ett organ för industrisamverkan inom värmeteknisk Forskning och utveckling. Stiftelsens forskningsprogram är tillämpningsinriktat och fokuseras på energi- och processindustriernas behov och problem. Bakom Värmeforsk står följande huvudmän:

- Elforsk
- Värmeverksföreningen
- Övrig industri

Värmeforsk samarbetar med Närings- och teknikutvecklingsverket (NUTEK).

STIFTELSEN FÖR VÄRMETEKNISK FORSKNING

Box 1765 · 111 87 Stockholm
Tek: 08-7900600 · Fax 08-796 00 37