VÄRMEFORSK
STIFTELSEN FÖR VÄRMETEKNISK FORSKNING

Eldning med avfallsbränslen fluidiserad bädd
Undersökning av dolomittillsats, påverkan på beläggningar och sintringsegenskaper

Lars Rudling

BRÄNSLETEKNIK 305

87-12-21 EP-87/39

ELDNING MED AVFALLSBRÄNSLEN I FLUIDISERAD BÄDD. UNDERSÖKNING AV DOLOMITTILLSATS, PÅVERKAN PÅ BELÄGGNINGAR OCH SINTRINGS-EGENSKAPER

Lars Rudling

3438A

HUVUDINNEHÅLL

Projektets målsättning har varit att undersöka vilken effekt en dolomittillsats kan ha vid avfallsförbränning i en fluidiserad på

- bäddens sintringsbenägenhet
- beläggningar i eldstad/konvektionsdel
- klorid och svavelbindning i bädd och flygaska

Försöken har utförts vid värmeverket i Bollnäs i en 10 MW bubblande fluidbädd med hetvattenpanna av Generators konstruktion.

En sammanfattning av undersökningens viktigaste resultat redovisas nedan:

- genom tillsats av dolomit - i eller ovan bädd - kan risk för bäddsintring reduceras väsentligt samtidigt som beläggningar i eldstaden t ex gitterbeläggningarna kan elimineras helt. En saltsyrareduktion på ca 80-85 % kan uppnås vid ett Ca/(S + Cl/2) på ca 3

- dolomit, 0.8-3 mm, kan användas som bäddmaterial istället för sand

- användes dolomit som bäddmaterial istället för sand krävs inga bäddbyten för att minska sintringsrisken

- beläggningarna som ger de största driftsproblemen, dvs de i konvektionsdelen, kan ej elimineras genom tillsats av dolomit

- beläggningarna i konvektionsdelen beror främst på ofullständig förbränning av aluminium, för kort uppehållstid i eldstaden

- analys av olika beläggningars asksmältförlopp enligt ISOs standardmetod ger ingen information vid vilken temperatur sintring kan befaras.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

			Sid
ABSTRACT			6
0	SAMMANFATTNING		7
	0.1	Bakgrund och målsättning	7
	0.2	Försökens genomförande	7
	0.3	Resultat	8
		0.3.1 Normaldrift	8
		0.3.2 Tillförsel av dolomit	9
		0.3.3 Sannolika orsaker till beläggningsproblemen	11
1	BAKGRUND		13
	1.1	Projektets målsättning	16
2	ANLÄGGNINGSBESKRIVNING		17
	2.1	Bränsleberedning	17
	2.2	Eldstad/panna	17
	2.3	Rökgasbehandlingssystem	18
	2.4	Kalkdoseringsutrustning	19
	2.5	Driftsbetingelser	19
3	MÄTMETODER/FÖRSÖKSUPPLÄGGNING		21
	3.1	Mätmetoder	21
		3.1.1 Driftbetingelser	21
		3.1.2 Massflöden av fasta material	21
		3.1.3 Analys av fasta material	21
		3.1.4 Analys av rökgas	22
		3.1.5 Agglomerering/sintrings-test	22
		3.1.6 Asksmältförlopp	23
		3.1.7 Mikroskopering med svep-elektronmikroskop och elementanalys med energi-dispersiv röntgenanalys	23

			Sid
3.2	Försöksuppläggning		23
	3.2.1	Fullskaleförsök	23
	3.2.2	Laboratorieförsök	24
4	RESULTAT		26
4.1	Referensperiod: normal drift utan dolomittillsats		26
	4.1.1	Driftsförhållanden	26
	4.1.2	Rökgasanalys, svavel och kloridflöden	28
	4.1.3	Analys av fasta provmaterial	28
	4.1.4	Ytanalys av beläggningar i svepelektronmikroskop och elementanalys med energidispersiv röntgenanalys	30
4.2	Testperiod 1: tillförsel av dolomit 0-80 µm till eldstad		32
	4.2.1	Driftsförhållanden	32
	4.2.2	Rökgasanalys, svavel- och kloridflöden	33
	4.2.3	Analys av fasta provmaterial	33
4.3	Testperiod 2: tillförsel av dolomit 0-80 µm till eldstad		34
4.4	Testperiod 3 och 4: användning av dolomit som bäddmaterial		34
5	FÖRSÖK I EN LABORATORIEFLUIDBÄDD		36
6	DISKUSSION		37
6.1	Driftsförhållanden		37
6.2	Diskussion av olika orsaker till beläggnings/sintringsproblemen		38
	6.2.1	Gitterbeläggningar	38
	6.2.2	Beläggningar i 1:a konvektionsdel	39
	6.2.3	Beläggningar i 2:a konvektionsdel	39

		Sid
6.2.4	Bäddsintring	40
6.2.5	Sammanfattning	40
6.3	Diskussion av beläggningsproblemen vid FB-eldning respektive rosteldning	42
6.4	HCl och SO_2 avskiljning: val av sorbent/bäddmaterial	46
6.5	Åtgärder för att eliminera beläggnings/sintringsproblemen	53
6.5.1	Bäddsintring gitterbeläggningar	53
6.5.2	Beläggningar i konvektionsdel	53
REFERENSER		56

COMBUSTION OF REFUSE IN A FLUIDIZED BED. INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF A DOLOMITE ADDITION ON SINTERING AND FORMATION OF DEPOSITS

The aim of this investigation has been to examine the effects of a dolomite addition during burning of refuse in a fluidized bed. The influence of sintering in the bed, deposits in the furnace and in the convection part and finally the capture of chloride and sulphur in the bed and the fly ash has been investigated. The experiments were carried out in a 10 MW bubbling fluidized bed.

Results

Addition of dolomite in or above the bed reduced the risk for bed sintering considerably. The sintering temperature of the bed was increased from 840°C to 960-1000°C without respectively with dolomite added.

The deposits in the furnace were also reduced.

A hydrochloric acid reduction of 80-85 % was obtained at a Ca/(S+Cl/s) molar ratio of 3.

It was also shown that dolomite, size 0.8-3 mm, could be used as bed material instead of sand. The deposits in the convection part, which gave the most shut-downs of the boiler, could however not be reduced by addition of dolomite. The main reason for the formation of deposits in the convection part was an incomplete combustion of aluminium.

Analysis of the different ashes fusibility temperature according to the ISO-540 standard method, showed a great discrepancy from sintering temperatures determined manually. (Visual inspection of a sample in a rotating oven.)

Keywords: dolomite, fluidized bed combustion, hydrochloric acid incineration, refuse, sintering.

0. SAMMANFATTNING

0.1 Bakgrund och målsättning

Vid eldning med avfallsbränslen i bubblande FB-bäddar har man haft stora problem med rökgassidiga beläggningar i eldstad och konvektionsdel, och tidvis även också problem med sintringar i bädden.

Projektets målsättning har varit att undersöka vilken effekt en dolomittillsats kan ha vid avfallsförbränning i en fluidiserad bädd på:

- bäddens sintringsbenägenhet
- beläggningar i konvektionsdel
- svavel- och kloridbindning i bädd och flygaska.

0.2 Försökens genomförande

Försöken har utförts vid värmeverket i Bollnäs i en 10 MW bubblande fluidbädd med hetvattenpanna av Generators konstruktion. Pannan eldades med hushållsavfall som sönderdelats i en hammarkvarn. Åttio procent av energin från pannan produceras från detta avfall, resterande energimängd produceras från skogsbränsle. Efter pannan finns två parallellkopplade cykloner samt ett textilt spärrfilter för stoftavskiljning. Cyklonstoft och spärrfilterstoft matas ut till en gemensam flygasksilo.

Försöken utfördes på så sätt att först följdes driften upp vid normaldrift under två bäddbytesintervall. Prov från påslag i gitter (vattenkylda tuber i eldstadens utlopp) och konvektionsdel, bäddaska, flygaska och rökgas analyserades på svavel, klorid och huvudelement innehåll. Därefter har i fyra testperioder med

olika dolomittillsats, analys av prov utförts enligt ovan.

Driftbetingelser vid de olika försöken framgår enligt nedan:

- referensperiod — normal drift med kalciumhydroxidtillsats efter cyklon
- testperiod 1 — tillsats av dolomit 0-80 µm ovan bädd i eldstad
- testperiod 2 — tillsats av dolomit 0-80 µm ovan bädd (upprepning av testperiod ett)
- testperiod 3 — användning av dolomit 0.6-1.6 mm som bäddmaterial istället för sand
- testperiod 4 — användning av dolomit 0.8-3 mm som bäddmaterial.

Förutom dessa fullskaleförsök har elementsammansättning i material från de olika beläggningarna undersökts i svepelektronmikroskop med energidispersiv röntgenanalys. Agglomerering/sintringsbenägenheten hos de olika askorna och påslagen med och utan extra dolomittillsats har också undersökts.

0.3 Resultat

0.3.1 Normaldrift

Vid normaldrift erhölls kraftiga beläggningar på gitter och konvektionsdel samt mindre sinterklumpar i bädden. Driftperiodens längd var i de två fallen 10 respektive 11 dygn varefter tryckfallet över konvektionsdelen blev så stort att pannan fick ställas av, varefter bäddbyte och rengöring av konvektionsdel skedde. Gittret rensades manuellt under drift en gång varje

driftsperiod. Tidvis har man varit tvungen att rensa gittret en gång per dygn.

Förbränningen i pannan var mycket ojämn, tidvis skedde förbränning av gas i rökgasstråket. Detta kunde bl a konstateras genom mätning av temperaturen i rökgasstråket som varierade kraftigt. Sandförbrukningen var också mycket hög.

Analys av beläggningarna på gitter, 1:a och 2:a konvektionsdel visade att metalliskt aluminium kunde återfinnas i beläggningarna, speciellt i 2:a konvektionsdelen. Beläggningarna hade också en stark svavellukt. Elementanalys av partiklarnas ytskikt visade att lokala partier med höga koncentrationer av kalium kunde återfinnas. I beläggningarna från 2:a konvektionsdelen kunde också förekomst av en kristallin fas, CaS eller $CaSO_4$ sannolikt, konstateras.

Bäddaskans sintringstemperatur hade sänkts till ca 840°C i slutet av driftsperioden. Troligtvis beroende på anrikning av glasbildande element (K och Na).

0.3.2 Tillförsel av dolomit

Vid tillförsel av dolomit 0-80 µm ovan bädd alternativt användning av dolomit som bäddmaterial istället för sand kunde beläggningarna i gittret elimineras helt - gittret behövde ej heller rensas under drift. Driftperiodens längd vid försöken med dolomittillsats 0-80 µm ovan bädd kunde också utsträckas till 17 dygn istället för normalt 10 dygn. Inga sinterklumpar i bäddaskan förekom heller. Beläggningarna i 1:a och 2:a konvektionsdelen uppstod däremot i praktiskt taget samma omfattning som vid normaldrift utan dolomit.

Avskiljningen av saltsyra var med hänsyn taget till det relativt stora kalciumöverskott som var ca 3.5 (mol Ca tillfört i dolomit/(mol S + mol Cl/2 i bränsle) relativt lågt, ca 87 % respektive 84 % vid dolomittillsats 0-80 µm ovan bädd respektive användning av dolomit 0.6-1.6 mm som bäddmaterial. En utgående HCl-halt på ca 130 mg HCl/nm^3 vid 10 % CO_2 erhölls. Vid normaldrift med kalciumhydroxidtillsats efter cyklon erhölls en saltsyrareduktion på 60 %. Den låga avskiljningen berodde sannolikt i detta fall på den låga Ca/(Cl/2) kvoten, som var ca 0.9.

Försök med dolomit, 0.8-3 mm, som bäddmaterial gav en mycket dålig saltsyrereduktion, 66 %, trots att ett högt kalciumöverskott förelåg. Den låga saltsyrareduktionen i detta fall berodde sannolikt på en allt för låg bäddtemperatur 700-730°C, vilken ger en dålig kalcinering.

Försöken med enbart dolomit som bäddmaterial visade att bäddförlusterna (medryck av bäddmaterial) vid uppstart var relativt höga, speciellt om dolomit 0.6-1.6 mm användes. Vid uppstart bör därför grövre material, sand alternativt siktat tidigare använt bäddmaterial användas.

Klorid och svavelbindningen till själva bäddmaterialet var låg. Huvuddelen av tillfört klor och svavel i bränslet fördelade sig till flygaska/rökgas.

Undersökning av bäddaskans sintringstemperatur visade att denna hade förhöjts från 840°C vid normaldrift utan dolomittillsats, till 960 respektive ca 1000°C vid tillsats av dolomit 0-80 µm ovan bädd respektive användning av dolomit som bäddmaterial.

En jämförelse av uppmätta sintringstemperaturer på det sätt som utförts i denna undersökning, med den standardiserade metoden för bestämning av asksmältförlopp (ISO 540), visar inget samband. Undersökning av asksmältförloppet ger således ingen information om vid vilken temperatur sintring kan förväntas.

0.3.3 Sannolika orsaker till beläggningsproblemen

De viktigaste orsakerna till beläggningsproblemen är sannolikt följande:

- ojämn bränsletillförsel (bränsleskruv matar ojämnt) "Luftöverskottsreglering hinner ej med"
- finfördelat bränsle med låg densitet och hög reaktivitet gynnar suspensionsförbränning ovan bädd. Temperaturen blir hög ovan bädd och låg i bädd
- ovanstående förhållande gynnar uppkomst av syrefria stråk i eldstaden
- metalliskt aluminium i bränslet får på grund av ovanstående faktorer för kort uppehållstid i eldstaden för att oxideras
- metalliskt aluminium, med smältpunkten 660°C, fungerar som ett effektivt klister vid beläggningarnas primära uppkomst och vidare uppbyggnad i konvektionsdelen
- beläggningarna i gittret beror sannolikt primärt på silikatsintring på grund av höga halter (lokalt i ytzoner) av glasbildande element t ex kalium som ger lågtemperatursmältande blandningar med silikater. Förekomst av metalliskt aluminium torde spela en mindre roll för beläggningarnas primära uppbyggnad. Beläggningarna kan elimineras helt genom dolomittillsats.

De bakomliggande orsakerna till gitterbeläggningarnas primära uppkomst torde vara desamma

som i de fall man fått beläggningsproblem på överhettare vid avfallsförbränning. Tillsättning av dolomit i eldstaden kan således i dessa fall sannolikt eliminera problemen.

1. BAKGRUND

Vid eldning med avfallsbränslen i fluidbäddar (ej cirkulerande) har man i samtliga anläggningar[1] i Sverige haft stora problem med rökgassidiga beläggningar i eldstad och/eller konvektionsdel. Tidvis har man också haft problem med sintringar i bädden. Problemen har till en del kunnat reduceras genom utglesning av konvektionsparti/gitter och införande av ångsotning. Förbättring av bränslekvaliteten, t ex avfallsseparering har varit ett annat sätt att reducera problemen.

Vid alla avfallseldade FB-anläggningar utom den i Bollnäs eldar man med avfall endast ca 10-12 h per dygn, resten av tiden eldar man med flis.

I värmeverket vid Bollnäs eldas sopor kontinuerligt hela veckan utom del av lördag och hela söndagen då man eldar bark och rivningsavfall i brist på sopor. Eftersom Bollnäs värmeverk är den enda FB-anläggning som eldar avfall kontinuerligt under längre driftsperioder föreföll det intressant att studera förhållandena i Bollnäs värmeverk.

Bollnäs värmeverk har två stycken 10 MW bubblande fluidbäddar. Den ena pannan eldas med skogsbränsle och den andra med hushållsavfall (85 % av tiden eldas pannan med avfall resten av tiden eldas flis). Hushållsavfallet sönderdelas i en hammarkvarn innan det tillföres bädden.

---

1) Västervik, Enköping, Lidköping, Bollnäs.

I pannan som eldas med hushållsavfall måste driften avbrytas var 8-10 dag på grund av beläggningar/igensättning av konvektionsdelen. Dessutom har man fått kraftiga beläggningar på gittret (vattenkylda tuber i eldstadens utlopp). Dessa förhållande ger dels en väsentlig reduktion av pannans tillgänglighet dels krävs en stor manuell insats för rengöring av konvektionsdelen.

Dessutom har på grund av erosion också läckage uppstått i flera tuber, och flera tuber har av det skälet fått pluggas igen.

Pannan som eldas med enbart skogsbränsle har däremot inte gett problem med vare sig rökgassidiga beläggningar, sintring i bädden eller erosionsskador. En jämförelse av de två pannorna visar också på en högre korrosion hos t ex luftdysor i den avfallseldade pannan.

Beläggningsproblem med korrosion och erosionsangrepp är mycket besvärande och vanligt förekommande problem i sopförbränningsanläggningar. Angreppen leder ofta till hög tubskadefrekvens (4). Speciellt besvärande är den höga klorhalten i bränslet (PVC). Den vid förbränningen bildade saltsyran ger dels ökade korrosionsangrepp dels större risker för bildning/emission av klorerade organiska föreningar t ex dioxiner.

Försök att minimera beläggningar och korrosion vid eldning av hushållsavfall på rost genom att tillföra olika additiv på rökgassidan har givit varierande framgång (4).

Försök med additiv baserade på MgO förefaller vara de mest lovande och ger bästa kombinationseffekt med neutralisation av HCl och SO_2 samt

bildning av en mer högsmältande aska. Detta minskar beläggningarna och korrosionsangreppen. Tillsats av enbart kalk har visats ej reducera beläggningarna lika effektivt som Mg-tillsatser (4).

En förklaring till de varierande resultat som erhållits med olika additiv kan vara att hushållsavfallets sammansättning varierar starkt mellan olika områden/länder. Variationen i det till respektive förbränningsanläggning inmatade bränslet är också oftast mycket stor, varför det kan vara svårt att vid dosering av tillsatser erhålla konstanta betingelser t ex stökiometriska molförhållanden. Val av injektionspunkt för tillsatsmedlet - temperatur och förbränningsbetingelser - samt inblandning/dispergering av själva tillsatsmedlet i rökgasen är andra faktorer som har stor betydelse.

Vid förbränning av sönderdelat och homogeniserat hushållsavfall i en fluidbädd torde väsentligt bättre förutsättningar för användning av olika tillsatsmedel än vid rosteldning föreligga, bl a beroende på:

- mer homogent bränsle och jämnare bränsletillförsel
- förbränningstemperatur jämn och kontrollerbar
- god omblandning i bädden, vilket möjliggör upprätthållande av konstanta stökiometriska förhållanden
- tillsatsmedel kan tillföras/dispergeras bädden på ett enkelt sätt.

Som tillsatsmedel skulle dolomit kunna vara ett intressant material att studera. Dolomit som är ett kalcium-magnesiumkarbonat mineral finns

tillgängligt i flera olika handelskvaliteter. Dolomit är också relativt billigt i jämförelse med olika kommersiella tillsatsmedel. Dolomit är också relativt enkelt att lagra/hantera eftersom det ej är hygroskopiskt. Dolomit kan således till skillnad från kalk lagras utomhus.

Tillsats av dolomit i förbränningsanläggningar har visat på goda beläggningsförhindrande egenskaper (4). Förutom den minskning av beläggningar och korrosion som en dolomittillsats kan ge, kan dolomit också fungera som en sorbent för svavel och eventuellt också för klorid bindning i bädden. Detta skulle indirekt kunna minska risken för dioxinbildning (5).

1.1 Projektets målsättning

Projektets målsättning har varit att undersöka vilken effekt en dolomittillsats kan ha vid avfallsförbränning i en fluidiserad bädd på:

- bäddens sintringsbenägenhet
- beläggningar i konvektionsdel
- svavel och klorid bindning i bädd och flygaska

2. ANLÄGGNINGSBESKRIVNING

Vid värmeverket i Bollnäs har man två st 10 MW fluidbädd-hetvattenpannor av Generators konstruktion. Den ena pannan eldas uteslutande med skogsbränsle, medan den andra pannan eldas med hushållsavfall och rivningsvirke ca 85 % av tiden och med skogsbränsle/flis resten av tiden.

En principfigur på anläggningens uppbyggnad visas i Figurbilaga 1.

2.1 Bränsleberedning

Avfallet grovsorteras först från "vitvaror" och större skrotdelar manuellt med kran varefter avfallet sönderdelas i en hammarkvarn. Därefter passerar avfallet en magnetavskiljare. Avfallet lagras därefter i en betongbehållare som rymmer ca 1-2 dygns bränslebehov. Från bränslelagret föres bränslet med en paraskruv upp på en vibrotransportör och vidare till en skraptransportör. Bränslet förs därefter till en mellanlagringsbehållare (ca 2 m^3). Från denna matas bränslet med en varvtalsstyrd dubbelskruv ned på en bandtransportör med bandvåg. Bränslet matas därefter in i pannan ovan bädd med en horisontell slussmatare. Bränslet på bandet strax före cellmataren sprejas med en vattendimma för att minska risken för bakeld.

2.2 Eldstad/panna

Utformningen av eldstad och panna framgår av Figurbilaga 2. Eldstad och panna är uppbyggda av kylda membranväggar.

Eldstadens nedre del är infodrad med eldfasta murblock upp till 1.5 m ovanför eldstadsbotten. I eldstadsbotten tillföres primärluft i tre skilda sektioner. Primärluften inblåses horison-

tellt i kromlegerade dysor som täcker hela eldstadsbotten. Sekundärluften tillföres i olika register utmed tre av pannans väggar.

Luftdysorna har en inre diameter på 40 mm och är belägna ca 2 m ovan eldstadsbotten (ca 0.5 m ovan bädd).

Sekundärluftregistren som användes är riktade snett nedåt bädden.

Pannan ljudsotas var 3:e timme.

Som bäddmaterial användes s k värmeverkssand (Baskarpsand) med kornstorleken 0.6-1.6 mm. En bäddhöjd på ca 1-1.2 m användes normalt. (0.5-0.8 meters bäddhöjd i icke fluidiserat tillstånd.)

I eldstadens utlopp passerar rökgaserna ett vattenkylt gitter varefter de går igenom ett rökgasstråk till ett vändschakt. Partiklar som anrikas i vändschaktet dräneras intermittent till returbäddasksilon. Efter vändschaktet passerar rökgaserna en konvektionsdel och en economizer.

Bädden dräneras intermittent genom en askficka i eldstadsbotten. Bäddmaterialet siktas och grovt material föres till en bäddasksilo, acceptet återföres till pannan via en returbäddasksilo.

2.3 Rökgasbehandlingssystem

Efter pannan avskiljes det grövre stoftet i två stycken parallella cykloner. Därefter tillsättes kalciumhydroxid för HCl-bindning varefter rökgasstoftet avskiljes i ett textilt spärrfilter.

Viktsförhållandet cyklonstoft/spärrfilterstoft har vid tidigare undersökningar befunnits vara ca 4/1.

2.4 Kalkdoseringsutrustning

För kalkdosering finns en förrådssilo på 20 m^3. Från denna sändes materialet med hjälp av en stoftsändare till en doseringsutrustning med skruv. Kalken doseras till rökgasen mellan cyklon-spärrfilter.

Invid pannans eldstad finns ytterligare en doseringsutrustning med skruv. Med hjälp av denna kan material matas in i eldstaden ovan bädd.

Avskilt stoft i cyklon och spärrfilter matas ut pneumatiskt till en flygasksilo.

2.5 Driftsbetingelser

Vid försöken har anläggningen körts enligt normala rutiner. Släckt kalk tillsattes efter cyklonerna.

Pannan har eldats kontinuerligt med hushålls-avfall måndag morgon till lördag ca 12.00-16.00. Från lördag (12-16) till måndag morgon har pannan eldats med rivningsvirke och/eller skogsbränsle.

Bäddtemperaturen har normalt legat vid 700-780° under avfallseldning. På grund av sintringsrisken har man haft ett temperaturlarm inställt på ca 840°C. Min temperaturlarm på bädden var 680°C. Erhålles för låg bäddtemperatur skiftar man till flisbränsle.

En del av bädden har dränerats diskontinuerligt via en sikt, ca 2 gånger per skift. Bäddmaterial som passerat sikten har återförts till pannan via returbäddasksilon. På grund av bäddförluster tillföres diskontinuerligt även sand från en sandsilo.

Normalt körs pannan alltid på full last mot en ackumulator (2000 m^3, trycklöst). Pannans last regleras via domtrycket, som reglerar luft/-bränsleflödet. Luftöverskottet regleras så att en syrehalt på ca 7.5$\pm$2 % erhålles.

För att förhindra defluidisering av bädden på grund av ansamling av stora partiklar i bädd-botten - t ex sinterklumpar och metallskrot - blåses bädden periodvis. Detta sker på så sätt att man går över till fliseldning, därefter minskas bränsleflödet och sekundärluften stänges. Forceringen av primärluften underlättar trans-porten av stora partiklar mot askfickan.

Efter ca 10 dagars drift sker normalt bäddbyte och rengöring av konvektionsdel/gitter med sandblästring.

Under drift sker periodvis också rengöring av gittret genom sandblästring (utifrån). Därvid "lägges" bädden.

Vid försöken med dolomittillsats användes kalksilon (20 m^3) och doserutrustningen som fanns för dosering ovan bädd. Dolomitflödet reglerades genom att räkna antalet sändningar från sändarkärlet under förrådssilon.

3. MÄTMETODER/FÖRSÖKSUPPLÄGGNING

3.1 Mätmetoder

3.1.1 Driftbetingelser

Panneffekt, bädd och rökgastemperatur, syre och kolmonoxidhalt efter panna, luftflöden, tryckfall över bädd och nivå i olika silos registrerades kontinuerligt av driftinstrument.

3.1.2 Massflöden av fasta material

Bränsleflödet bestämdes utifrån driftinstrument på levererad energi eftersom bränslevågen enligt uppgift ej gav korrekta värden. Vid beräkning av bränsleflödet antogs en pannverkningsgrad på 89 % och medelfukthalt och värmevärde i bränslet på 40 % respektive 2.6 MWh/ton avfallsbränsle.

Mängden bortförd bäddaska från bäddasksilon, respektive flygaska (stoft avskilt i cyklon + spärrfilter) bortfört från flygasksilon bestämdes genom vägning av lastbilstransporter. Vikten på flygaskan korrigerades för tillförd vattenmängd.

Tillförd sandmängd beräknades utifrån nivågivare i sandsilo (totalvolym = 30 m^3).

Tillförd sorbentmängd beräknades utifrån antalet sändningar och nivåmätare i silo.

3.1.3 Analys av fasta material

Analys av asksammansättning och elementinnehåll utfördes med röntgenfluorescens (Analytica AB och MKS) efter smältisoformering.

3.1.4 Analys av rökgas

En filtrerad delgasström uttogs efter spärrfiltret med hjälp av en Metlab stoftprovtagningsutrustning (kvartsfilter). Eftersom stofthalten var mycket låg <5 mg stoft/nm^3 vid 10 % CO_2 analyserades ej stoftet.

För bestämning av HCl, HF och SO_2 uttogs ett delföde filtrerad gas från stoftprovtagningsutrustningen. Saltsyra och fluorvätesyra absorberades i 2 st seriekopplade tvättflaskor innehållande 0.1 M NaOH. Svaveloxider absorberades i två stycken seriekopplade tvättflaskor innehållande 5 % väteperoxidlösning.

Erhållna absorptionslösningar analyserades av MKS enligt standardförfarande.

Kolmonoxid och koldioxid analyserades samtidigt vid rökgasprovtagningen med IR-teknik (Binos).

Temperaturer uppmättes med termoelement typ K.

Syrehalt i eldstad uppmättes med lamdasond monterad på en kyld lans.

3.1.5 Agglomerering/sintringstest

Respektive prov homogeniserades först genom malning i slagkvarn, kornstorlek <0.5 mm. Ca 1 g prov roterades därefter i en aluminiumoxiddegel (i d 25, höjd 40 mm) insatt horisontellt i en termostaterad rörugn. Ugnen hade en lutning på 10°. Degeln roterades med 50 varv/min. Efter att degeln uppnått konstant temperatur fick provet vara kvar i ugnen under 10 min. Därefter uttogs provet och ev sintring/agglomerering av partiklarna konstaterades visuellt.

3.1.6 Asksmältförlopp

Asksmältförloppet bestämdes enligt ISO 540. Provningen går till på så sätt att provet mals, varefter det pressas till en brikett. Brikettens deformation vid upphettning studeras därefter visuellt i ett speciellt mikroskop.

3.1.7 Mikroskopering med svepelektronmikroskop och elementanalys med energidispersiv röntgenanalys

För att få ett komplement till den konventionella elementanalysen, där analysen ger ett medelvärde på hela provet, har också elementsammansättningen analyserats med en ytanalysmetod, SDF. Med denna metod erhålles en ytanalys ned till ett djup på ca 1 µm. Eftersom agglomererings/sintringsfenomenen är ytkemisk/fysikaliska processer, har koncentrationsfördelningen av de olika elementen stor betydelse. Ytkoncentrationen såväl som den lokala variationen t ex olika partikeltyper/-mineral i ett prov kan avvika starkt från uppmätta medelkoncentrationer i provet.

Analyserna har skett på kolbelagt material. Ett instrument av typ Jeol användes.

3.2 Försöksuppläggning

Försöken har dels utförts som fullskaliga driftsförsök på anläggningen i Bollnäs, dels har försök i laboratorieskala utförts.

3.2.1 Fullskaleförsök

Försöken utfördes på så sätt att driften följdes upp under två stycken (bäddbyte mellan varje försöksperiod) referensperioder utan tillsats av dolomit. Prov från bäddaska, flygaska, rökgas och de olika påslagen från gitter, 1:a konvek-

tionsdel och 2:a konvektionsdel uttogs och analyserades. Utgående rökgas (rengas) analyserades på svaveloxider och saltsyrainnehåll. Askor och beläggningsmaterial analyserades med multianalysteknik.

Därefter har i fyra olika testperioder med olika dolomittillsatser (ingen tillsats av kalciumhydroxid) driften följts upp och prover uttagits på samma sätt som under referensperioden. Försöksbetingelser vid de olika testperioderna framgår enligt nedan:

- referensperiod — normal drift tillsats av kalciumhydroxid mellan cyklon/spärrfilter
- testperiod 1 — tillsats av dolomit 0-80 µm ovan bädd i eldstad
- testperiod 2 — upprepning av testperiod 1
- testperiod 3 — tillsats av dolomit 0.6-1.6 mm som bäddmaterial istället för sand
- testperiod 4 — tillsats av dolomit 0.8-3 mm som bäddmaterial istället för sand.

En beskrivning av de använda dolomitkvaliteterna redovisas i Tabellbilaga 13 och 14.

3.2.2 Laboratorieförsök

Material från de olika beläggningarna undersöktes i svepelektronmikroskop och med energidispersiv elementanalys.

Agglomerering/sintringsbenägenheten hos de olika beläggningsmaterialen med och utan tillsatser undersöktes också.

Slutligen har i en liten gaseldad laboratorie-FB (ø 0.3 m) sintringsbenägenheten hos bäddaska-dolomit blandning undersökts.

4. RESULTAT

4.1 Referensperiod: normal drift utan dolomittillsats

4.1.1 Driftsförhållanden

Två referensperioder med bäddbyte emellan följdes upp. Driftperiodens längd var i de två fallen 10 respektive 11 dagar. Efter ca 10 dagars drift blev tryckfallet så stort över pannan att man ej kunde upprätthålla tillräckligt gasflöde. Under drift rensades gittret manuellt genom sandblästring en gång under respektive referensperiod.

Sammanställning av olika driftsparametrar under referensperioden visas i Figurbilaga 3 t o m 5. En sammanställning av de olika massflödena redovisas i Tabellbilaga 1. Askanalys av bränslet redovisas i Tabellbilaga 2.

Efter respektive referensperiod kunde konstateras mycket kraftiga beläggningar i 1:a respektive 2:a konvektionsdel. Beläggningarna var relativt hårda och kunde endast fås bort genom sandblästring. Typiskt utseende på beläggningarna redovisas i Figurbilaga 10a. Påslagen på gittret var ej så omfattande, men detta berodde i första hand på att gittret rensades manuellt under drift. Typiskt utseende på gitterbeläggningarnas omfattning om gittret ej rensas visas i Figurbilaga 10b (ca 1 veckas eldning).

I bädden förekom också sinterklumpar. Som framgår av Figurbilaga 3-5 där de olika driftsbetingelserna under perioden redovisas kan konstateras att vid eldning med avfallsbränsle var bäddtemperaturen genomgående lägre än vid

eldning med enbart flis. Ovanbäddtemperaturen var däremot genomgående högre vid avfallsförbränning än vid flisförbränning.

Luftöverskottet låg i genomsnitt på 6-8 %. Gasutbränningen - mätt som kolmonoxidresthalt - var under större delen av tiden mycket god. Kolmonoxidhalten låg på ca 100 ppm. Momentant erhölls dock kortvariga perioder med höga kolmonoxidhalter. De höga kolmonoxidhalterna erhölls som regel då syrehalten i rökgasen var lägre än 4-5 % O_2, Figurbilaga 4.

Visuellt kunde konstateras att tidvis skedde förbränningen förbi gittret och fram i första rökgasstråket. Förbränningen var också mycket ojämn - sannolikt beroende på stora variationer i bränsleflöde.

Registrering av temperaturvariationerna med tunna termoelement i rökgasstråket, 1 mm, visade på mycket kraftiga temperaturvariationer, Figurbilaga 9. Dessa temperaturvariationer maskeras helt vid mätning med konventionella termoelement (diameter oftast $\geq$6 mm). Med 1 mm termoelement registrerades maxtemperaturer på 900°C, medan termoelementen med 6 mm diameter visade en maxtemperatur på 750°C.

Den uppmätta medeltemperaturen i inloppet till 1:a konvektionsdelen var 600-700°C (driftinstrument).

Registrering av sandförbrukningen, Tabellbilaga 1, visar att för en driftsperiod på ca 10 dagar förbrukades ca 55 ton sand.

4.1.2 Rökgasanalys, svavel och kloridflöden

Analys av saltsyra och svaveloxider redovisas i Tabellbilaga 3.

Uppmätning av stofthalten i rengasen visade att denna var mycket låg, ca 5 mg/nm^3 vid 10 % CO_2. Av detta skäl analyserades ej rengasstoftets svavel och kloridinnehåll.

I Tabellbilaga 5 redovisas svavel- och kloridflöden. Beräkning av det stökiometriska förhållandet, Ca/Cl, redovisas i Tabellbilaga 4. Som framgår av Tabellbilaga 5 och 4 erhålles en kloridavskiljning på 65 % (HCl-halt ca 300 mg/nm^3 10 % CO_2) vid ett stökiometriskt molförhållande tillsatt mol Ca/mol Cl/2 på 0.9 (motsvarar ett kalkflöde på 15 kg/h). Avskiljningen av svavel låg på 60 %. Huvuddelen av det svavel respektive klorid som avskildes hade bundits upp till flygaskan.

4.1.3 Analys av fasta provmaterial

Undersökning av uttagna bäddaskprover efter olika tidpunkter redovisas i Tabellbilaga 6.

Resultaten visar att i jämförelse med bäddmaterialet (Baskarpsand) sker en anrikning av olika element t ex kalium och natrium. Efter ca 3 dygns drift kunde ingen ytterligare anrikning av dessa eller andra element konstateras. I bäddmaterialet förekom också sinterklumpar.

Analys av övriga fasta provmaterial redovisas i Tabellbilaga 6. Jämförelse av halten svavel och klor i bäddaska respektive flygaska visar att dessa element huvudsakligen anrikas i flygaskan, alternativt emitteras i rökgasen.

En jämförelse av de olika elementkoncentrationerna i bäddaska och de olika beläggningarna visar följande.

Beläggningarna i gittret har en högre halt av aluminium än bränsleaska, bäddaska. Natrium och kaliumhalten i beläggningarna från gittret är däremot något lägre i jämförelse med bäddaskan.

Beläggningarna i 1:a konvektionsdelen har relativt kiselhalten väsentligt högre halter av natrium, kalium, aluminium, kalcium och svavel än motsvarande relativa elementkoncentrationer i bränsleaska och bäddaska.

Beläggningarna i 2:a konvektionsdelen har relativt kisel högre halter av aluminium, kalcium och klorid än motsvarande relativa halter i bäddaska och bränsleaska.

En jämförelse av aluminiumhalten relativt kiselhalten i flygaska och bäddaska visar att aluminiumhalten är högre i flygaskan.

Undersökning av de olika materialens agglomererings/sintrings-temperatur redovisas i Tabellbilaga 12. Beläggningarna från 1:a konvektionsdelen hade den lägsta sintringstemperaturen ca 600°C, därnäst kom bäddaskan som hade en sintringstemperatur på 840°C. Påslag från gittret hade en sintringstemperatur på ca 1000°C.

Två prover har också undersökts på asksmältförlopp enligt den standardmetod som vanligen användes, ISO 540. Resultaten från dessa analyser redovisas i Tabellbilaga 15 och 16. En jämförelse av dessa resultat med sintringstestet som användes i denna undersökning visas nedan.

	Asksmältningsförlopp ISO 540			Sintrings-test rullugn
	mjuknings-temp °C	halvklot-temp °C	flyt-temp °C	Sintrings-temp °C
Bäddaska 87-03-02	1210	1290	1350	840
Beläggningar 19/2 1:a konv del	1250	1320	1330	600

Resultaten visar således att undersökning av asksmältföroppet ger ingen information om vid vilken temperatur sintringsproblem kan förväntas.

I prov från påslagen på gitter, 1:a konvektionsdel och 2:a konvektionsdel kunde i samtliga fall en stark svavellukt konstateras (kraftig lukt vid surgörning).

Undersökning av de olika beläggningarna i mikroskop visade på förekomst av metalliskt aluminium, speciellt i beläggningarna från 2:a konvektionsdelen. Aluminiumet förekom dels som runda kulor inbakat i materialet, men även som ihopsintrat material tillsammans med bäddaska/-sand.

4.1.4 Ytanalys av beläggningar i svepelektronmikroskop och elementanalys med energidispersiv röntgenanalys

Material från gitter

Bild av prov uttaget från gittret den 19 februari redovisas i Figurbilaga 16 och 17. Områden med nästan enbart aluminium kan konstateras. Även områden med höga kalium- och svavelhalter kan konstateras.

1:a konvektionsdel

I Figurbilaga 15 redovisas bild och elementanalys av material från 1:a konvektionsdel. Tydligt rinnande smältzoner kan här konstateras. Analys av en sådan partikel visar på mycket höga koncentrationer av kalium relativt huvudelementen Al, Si och Ca.

Prov från 2:a konvektionsdel, yta intill tub

En bild på ett provparti visas i Figurbilaga 11 och 12. Elementanalys av fyra olika partier visar på stora skillnader i elementsammansättning. Elementanalys av de "flakiga" partierna visade sig innehålla endast aluminium, Figurbilaga 11. I Figurbilaga 12 visas exempel på en utdragen droppformad aluminiumpartikel. Aluminium kan således förekomma rent metalliskt alternativt vara bundet som t ex Al_2O_3 eller med något annat element som ej detekteras med den energidispersiva röntgenanalysmetoden (element med atomnummer < Na kan ej detekteras).

Förekomst av svavellukt i kombination med metallisk glans och gasutveckling hos dessa beläggningar vid tillsats av HCl, indikerar att dessa partier med hög sannolikhet består av metalliskt aluminium. Analys av andra partier i denna bild visar att kalium finns anrikat i hög koncentration relativt kisel.

Analys av material från en sönderbruten yta redovisas i Figurbilaga 13 och 14. I dessa bilder är förekomsten av sand/askpartiklar låg.

Ett stort inslag av sannolikt kristallina faser kan konstateras. Elementanalys av dessa, Figurbilaga 13, visar att de innehåller endast huvudelementen kalcium och svavel. Den kristal-

lina föreningen skulle i detta fall kunna vara CaS eller $CaSO_4$. Förekomst av stark svavellukt från beläggningen är en indikation på reducerande förhållanden, vilket talar för att det skulle vara fråga om CaS.

4.2 Testperiod 1: tillförsel av dolomit 0-80 µm till eldstad

4.2.1 Driftsförhållanden

Dosering av dolomit skedde med den "kalk"-doseringsutrustning som fanns intill pannan. Tillförseln av dolomit skedde ovan bädd i nivå med bränsleinmatningen. Totalt tillfördes 61 ton dolomit under testperioden.

Sammanställning av olika driftparametrar redovisas i Figurbilaga 6-8. En sammanställning av olika massflöden redovisas i Tabellbilaga 7. Askanalys på bränslet redovisas i Tabellbilaga 8.

Pannan eldades vid dolomitförsöken med avfall under en driftperiod på 17 dagar. Normalt kan pannan endast eldas ca 8-10 dagar om gittret rengörs under drift (rensning med rakor och sandblästring). Därefter måste bäddbyte och rengöring av "eldstadsgitter" och konvektionsdel ske med sandblästring. Efter försöksperioden med dolomittillsats kunde konstateras att i eldstadsgittret erhölls inga beläggningar alls. Ingen rengöring under drift erfordrades heller. I första konvektionsdelen var beläggningarna något mindre än normalt, medan i andra konvektionsdelen hade beläggningar erhållits i samma omfattning som tidigare.

Några sinterklumpar i bäddaskan, som normalt brukar finnas, förekom ej heller.

Under dolomitförsöken uppstod problem med att få en jämn dosering av dolomitpulvret. Doseringsavbrott upp till ett par timmar inträffade tidvis. Detta berodde på tryckvariationerna i eldstaden, vilket medförde att fuktig gas trängde in och kondenserade i doseringsledningen, varvid materialet kladdade ihop och flödet blockerades. Dessa problem torde sannolikt kunna lösas genom att tillföra dolomiten på bränslebandet istället.

4.2.2 Rökgasanalys, svavel- och kloridflöden

Analys av saltsyra och svaveloxider redovisas i Tabellbilaga 3. I Tabellbilaga 5 redovisas svavel- och kloridflöden. Stökiometriska molförhållanden redovisas i Tabellbilaga 9. Som framgår av Tabellbilaga 5 och 9 erhölls en HCl-avskiljning på 87 % vid ett molförhållande tillsatt mol Ca/(mol S + mol Cl/2) = 3.7. Svavelavskiljningen var 80 %. Huvuddelen av den avskilda klorid- respektive svavelmängden hade bundits till flygaskan.

4.2.3 Analys av fasta provmaterial

Analys av elementsammansättningen i bäddaska, olika beläggningar och flygaska redovisas i Tabellbilaga 6.

En jämförelse av bäddaskans kalciumhalt vid normaldrift och dolomittillsats, som var 3.5-4.5 % Ca respektive 6.4 % Ca, visar att en mindre del av den tillsatta dolomiten även fördelas till bäddaskan. Detta ger en förklaring till den förhöjda sintringstemperaturen på bäddaskan som var 960°C, Tabellbilaga 12, vilket skall jämföras med 840°C i försöket utan dolomittillsats.

Undersökning av sintringstemperaturer på de olika proverna redovisas i Tabellbilaga 12. I försöket med dolomittillsats kunde en förhöjning av sintringstemperaturen i bäddaska och 1:a konvektionsdel konstateras.

4.3 Testperiod 2: tillförsel av dolomit 0-80 µm till eldstad

Denna testperiod var i princip ett replikat av testperiod 1. Målsättningen med försöket var att ytterligare en gång kontrollera tidigare erhållna effekter vad gäller bäddsintring respektive påslag på gitter.

Testperioden pågick under 20 dygn. Totalt tillfördes 65 ton dolomit (175 kg/h). Försöket visade på samma resultat som testperiod 1, dvs ingen bäddsintring samt inga beläggningar på gitter. Beläggningar i konvektiondelen erhölls dock i samma omfattning som i testperiod 1.

4.4 Testperiod 3 och 4: användning av dolomit som bäddmaterial

Försök med att använda dolomit som bäddmaterial istället för baskarpsand gjordes först med dolomit 00. Detta material hade en kornstorlek på 0.6-1.6 mm. Försöken med denna kornstorlek visade att bäddförlusterna blev så höga att det blev svårt att hålla bäddhöjden. Två driftsdygn efter bäddbyte till dolomit uttogs prover. Temperaturen i bädden vid dessa prov var ca 750-770°C. Dolomit tillfördes diskontinuerligt från returasksilon. (Dolomit som avskiljts i vändschaktet.) Resultat från dessa körningar redovisas i Tabellbilaga 5 och 10. En HCl avskiljning på 84 % erhölls vid ett Ca/(S + Cl/2) molförhållande på ca 3.3. Beroende på problemen med bäddförlusterna med den använda

kornstorleken övergick man till att använda dolomit med kornstorlek 0.8-3 mm.

Vid de fortsatta försöken användes den större kornstorleksfraktionen av dolomit, dolomit 0 med kornstorleken 0.8-3 mm. Resultaten från dessa försök redovisas i Tabellbilaga 5 och 11. I dessa försök tillfördes dolomit, ca 1500 kg, intermittent var tredje timme. Temperaturen i bädden var ca 700-730°C och ovanbädd ca 800°C.

För HCl erhölls i detta fall en en avskiljning på 66 % vid ett Ca/(S + Cl/2) molförhållande på ca 7.6.

Vid dessa försök skedde ingen retur till bädden av material från vändschaktet.

Vid försöken med dolomittillsats i bädden erhölls inga påslag på gittret under förutsättning att ny dolomit tillfördes diskontinuerligt.

5. FÖRSÖK I EN LABORATORIEFLUIDBÄDD

För att undersöka möjligheten att minska bäddaskans sintringsbenägenhet vid mer driftsnära förhållanden gjordes också försök i en liten, 0.3 m diameter, gaseldad laboratoriefluidbädd. Som bäddmaterial användes dolomit 00 (2 kg med kornstorlek 0.6-1.6 mm).

FörbränningS- och fluidiseringsluft tillfördes genom perforerade hål i botten. Gas tillfördes i fyra olika munstycken ovan bädd. Efter det att bädden eldats upp till ca 1000°C sänktes temperaturen till 800°C, varefter ca 50 vikts-% bäddaska från 23/2 med en sintringstemperatur på 800-830°C tillfördes. Bädden togs därefter upp till en temperatur på 1050°C och eldades vid denna temperatur i 30 min. Inspektion av bäddmaterialet efter eldning visade att ingen eller endast obetydlig sintring skett.

Förbränning av gas (propan) i en bädd med baskarpsand och kornstorleken 0.6-1.6 mm visade att vid en bäddtemperatur på ca 770-790°C eller lägre, förbrändes huvuddelen av gasen ovan bädd. I temperaturområdet 800-900°C förbrändes huvuddelen av gasen i bädden och en mindre del ovan bädd. Först vid en bäddtemperatur på ca 900°C skedde en fullständig slutförbränning av gasen i bädden.

Försöken illustrerar det faktum att vid låga bäddtemperaturer är flamförbränningshastigheten låg relativt gashastigheten genom bädden. Detta innebär att vid eldning av gasande bränslen i en FB-bädd med en låg temperatur, kommer bädden mer att fungera som en förgasnings/pyrolysugn.

6. DISKUSSION

6.1 Driftsförhållanden

Undersökning av de olika driftsbetingelserna visar att förbränningsbetingelserna i eldstaden varierar kraftigt. Bränsleflöde, eldstadstemperatur och temperatur i rökgasstråket såväl som syrehalt i eldstaden uppvisar stora variationer. Tidvis sker förbränningen i rökgasstråket. Ovanstående förhållanden innebär att tidvis erhålles syrefria zoner lokalt i pannan även om luftöverskott totalt sett efter pannan är 5-6 % O_2.

De ojämna förbränningsbetingelserna torde främst bero på ojämn bränsleinmatning (bränsleskruvarna matar ut ojämnt) i kombination med bränslets struktur, låg densitet och hög reaktivitet. Vid förbränning av avfall är t ex temperaturen ovan bädd och i bädd, högre respektive lägre än vid fliseldning. En hög andel av bränslet förbränns således ovan bädd istället för i bädden. Detta beror dels på att själva bränslet tillförs ovan bädd dels på att en del fraktioner i avfallsbränslet har en låg densitet/hög reaktivitet. Papper, plast och andra lätta fraktioner med hög reaktivitet brinner nästan explosionsartat i freeboard.

Variationerna i bränsleflödet sker med en så hög frekvens att syreregleringen ej "hinner med". Bränsleflödevariationer upp till 100 % mellan olika 5-sekunders perioder kunde konstateras.

Ovanstående faktorer innebär sammantaget att tidvis erhålles dels höga temperaturer dels reducerande betingelser i eldstaden. Detta ger en förklaring till att sintringspåslag på

gittret erhålles och att metalliskt aluminium återfinnes på beläggningarna i höga halter. Beläggningarnas starka svavellukt är ytterligare ett indicium på att reducerande betingelser föreligger.

För att förbränna aluminiummetall, som normalt har ett skyddande aluminiumoxidskikt, krävs en relativt lång uppehållstid och hög temperatur.

6.2 Diskussion av olika orsaker till beläggnings/sintringsproblemen

6.2.1 Gitterbeläggningar

Analys av beläggningar från gittret visade att ytpartierna anrikats på kalium. Material från gittret hade en sintringstemperatur på ca 1000°C, som kunde höjas till $\geq$1150°C genom tillsats av 20 vikts-% dolomit 0-80 µm (laboratorieförsök). Momentant uppmättes temperaturer vid inloppet till gittret på 1000-1050°C. Vid försöken med dolomittillsats (0-80 µm) i eldstaden erhölls inga beläggningar på gittret. Eftersom driftsbetingelserna t ex temperaturer var desamma vid försöken med respektive utan dolomit, beror dolomitens effekt sannolikt på den förhöjning av sintringstemperaturen som dolomit visat sig ge i laboratorieförsöken.

Orsaken till sintringen i gittret skulle sannolikt primärt kunna bero på silikatsintring på grund av höga halter av glasbildande element (kalium). Metalliskt aluminium i smält form "bakas" in i dessa beläggningar. Förekomst av metalliskt aluminium torde ha en mindre betydelse för själva beläggningarnas uppkomst i detta fall. En alternativ förklaring till dolomitens beläggningsförhindrande effekt skulle kunna vara

att klorid och svavel binds till dolomit, och på så sätt minskar halten Ca Cl_2 och CaS vilka har låga smältpunkter. Svavel- respektive kloridhalten var dock relativt låg i gittermaterialet, varför detta sannolikt är mindre troligt.

6.2.2 Beläggningar i 1:a konvektionsdel

Prov av beläggningar från 1:a konvektionsdelen hade en låg sintringstemperatur, ca 600°C. Temperaturen i inloppet till 1:a konvektionsdel låg på ca 650-700°C. Beläggningarna hade höga halter av natrium och kalium relativt kisel. Silikatsintring på grund av höga halter glasbildande element är sannolikt en av anledningarna till uppkomst av beläggningar. Metalliskt aluminium, som bl a kunde observeras på beläggningarna i mikroskop, är sannolikt den mest bidragande orsaken till att beläggningar bildas i konvektionsdelen. Detta styrks av det förhållande att tillsats av dolomit 0-80 µm till eldstaden ej reducerade beläggningarna i någon nämnvärd utsträckning.

6.2.3 Beläggningar i 2:a konvektionsdel

Dessa beläggningar hade genomgående en något högre sintringstemperatur, ca 700-800°C, än material från 1:a konvektionsdel. Tillsats av dolomit 0-80 µm 20 vikts-% i laboratorieförsök gav ingen påvisbar effekt. Den stora förekomsten av metalliskt aluminium, som kunde konstateras vid mikroskopering, torde sannolikt även i detta fall vara den dominerande orsaken till beläggningar.

Ett intressant anmärkningsvärt förhållande är den mycket höga kloridhalten i beläggningarna från 2:a konvektionsdelen, som var 4-6 % Cl.

6.2.4 Bäddsintring

Undersökning av bäddens sintringstemperatur visar att redan efter ca 3 dygns drift har bäddmaterialets sintringstemperatur sänkts till ca 880°C, vilket skall jämföras med bäddmaterialets sintringstemperatur (baskarpsand) som var 1150°C. Efter 10 dygns drift var bäddens sintringstemperatur 840°C. Anrikning av bränsleaska i bädden med de glasbildande elementen Na och K är sannolikt orsaken till den låga sintringstemperaturen.

I försöket med dolomittillsats 0-80 µm erhölls en högre sintringstemperatur, 960°C efter 16 dygns drift, än utan dolomittillsats. I laboratorieförsök kunde konstateras att med en dolomittillsats på 13 % till bäddmaterial med en sintringstemperatur på 840°C kunde sintringstemperaturen höjas till ca 1000°C.

Försöken visar således att sintringstemperaturen på bäddaska kan höjas väsentligt genom relativt små tillsatser av dolomit.

6.2.5 Sammanfattning

Sammanfattningsvis kan konstateras att beläggnings/sintringsproblemen i eldstaden kan elimineras helt genom antingen tillsats av dolomit 0-80 µm ovan bädd alternativt använda dolomit som bäddmaterial.

Beläggningarna i konvektionsdelen, vilka ger de största driftsproblemen, kan dock ej påverkas i någon nämnvärd grad genom tillsats av dolomit. Den främsta orsaken till beläggningsproblemen i konvektionsdelen är den höga förekomsten av oförbränt metalliskt aluminium, vilket sannolikt

beror på ogynnsamma förbränningsbetingelser i eldstaden.

Metalliskt aluminium, som har en smältpunkt på 660°C, fungerar som ett effektivt klister.

Den relativt låga sintringstemperaturen hos bäddaskan beror sannolikt på anrikning av Na och K - som är glasbildande element - i bäddaskan.

Det bör poängteras att av betydelse för sintringens uppkomst är ytkoncentrationerna av t ex K och Na, bestämmade för huruvida sintring uppstår eller ej. Uppmätta medelkoncentrationer i hela materialet av t ex Na och K ger mindre information. Sannolikt varierar också mobiliteten av Na och K i de olika materialfraktionerna.

Vid försöken med dolomittillsats i eldstaden ovan bädd 0-80 µm, kunde konstateras att bäddens sintringstemperatur förhöjdes samt att beläggningarna i gittret eliminerades helt. Detta beror sannolikt på den smältpunktsförhöjande effekt som dolomit har på lågtemperatur smältande blandningar.

Fördelen med att använda dolomit istället för kalksten i samband med avfallsförbränning är att bildning av kalciumkloridsalter - som har en låg smältpunkt ca 750°C - reduceras.

Den relativt dåliga effekten på reduktion av beläggningarna i 1:a och 2:a konvektionsdel vid dolomittillsats sammanhänger sannolikt med att dessa i första hand beror på metalliskt aluminium.

Undersökningarna visar också att analys av asksmältförlopp enligt ISO 540 ger ingen information om sintringsbenägenheten hos ett prov.

6.3 Diskussion av beläggningsproblemen vid FB-eldning respektive rosteldning

Flera av de värmeverk som eldar kontinuerligt med hushållsavfall i bubblande fluidbäddar har problem med beläggningar i konvektionsdelen. Eldning med hushållsavfall i konventionella rosterpannor ger däremot som regel väsentligt mindre problem med beläggningar i konvektionspartiet. Finns också överhettartuber installerade har dock även i dessa fall problem med beläggningar rapporterats. Beläggningar i eldstaden, framförallt på keramikisolerade ugnsväggar, är också vanligt förekommande vid rosteldning.

En intressant frågeställning är därför, varför kan hushållsavfall eldas utan beläggningsproblem i konvektionsdelen vid rosteldning men ej vid eldning i bubblande FB? I båda fallen har bränslet samma elementsammansättning i princip. Beror det på skillnader i bränslestorlek, dimensionering eldstad/konvektionsdel, förbränningsgasernas temperatur och uppehållstid, utformning av konvektionsparti/gashastigheter, sotningsteknik, kombinationseffekter bäddmaterial/flygaska, eller askanrikningseffekter i bädden? En jämförelse av de olika skillnaderna mellan FB och rostförbränning borde kunna ge olika uppslag på orsakerna till beläggningsproblemen.

En jämförelse med en av de avfallseldade rostpannorna i Linköping, som ej har beläggningsproblem, och Bollnäspannan visar följande:

	Pann-effekt MW	Eldstads-belastning MW/m^{3} [2)] eld-stadsvolym	Tempera-tur inlopp gitter medeltemp ^{o}C	Efter gitter medel-temp ^{o}C
Linköping	15.8	0.1	900	700-800
Bollnäs	10	0.3	800-1050	700-800

En jämförelse med Linköpings-pannan visar att rökgasens medeltemperatur vid inloppet till gittret/konvektionsdelen ligger i samma storleksordning. Linköpings-pannan sotas med slagverk, vilket sannolikt är mer effektivt än ljudsotning.

Vid den rosteldade pannan i Linköping har man ej observerat metalliskt aluminium i avskilt sot. Orsaken till den högre halten av metalliskt aluminium i rökgasen vid FB-förbränning än vid rosteldning kan dels bero på den högre eldstadsbelastningen - 3 ggr högre vid FB-förbränning - dels bero på skillnader i bränslestruktur.

I Linköping matas soporna in utan någon behandling/separering. I Bollnäs sönderdelas soporna i en hammarkvarn innan förbränning. Detta i kombination med ovanbäddinmatning och bränslets låga densitet innebär att en stor del av förbränningen i Bollnäs-pannan sker som en ren suspensionsförbränning i freebord. De lätta bränslefraktionerna kommer således att få en mycket kort uppehållstid. FB-pannan i Bollnäs har

---

2) Eldstadsvolym ovan bädd.

heller ingen "näs"-strypning som Linköpings-pannan, där sekundärluft kan penetrera mer effektivt. Den goda utbränningen av partiklar och gaser i Bollnäspannan kan bero på att beläggningarna i konvektionsdelen har en god isolerande verkan.

En annan orsak till skillnader mellan rost- respektive FB-förbränning kan vara fördelningen av olika element mellan flygaska/bäddaska i de olika processerna.

En annan betydelsefull skillnad mellan de två förbränningsmetoderna är den stora mängden av finkornig sand i FB-pannor. Sand i kombination med de glasbildande elementen Na och K, vilka ingår i hög koncentration i hushållsavfall, kan ge lågsmältande glas. Försök i Bollnäs med dolomittillsats vid bäddbyte, stället för sand och därefter drift under 1 vecka utan sand eller dolomittillsats visade emellertid att beläggningsproblemen i gitter/konvektionsdelen ej reducerades. Efter en veckas drift utan dolomittillsats erhölls kraftiga gitterbeläggningar. Under denna driftsperiod dränerades bädden intermittent, varvid allt material fördes till bäddasksilon. Detta innebar att bädden successivt utarmades på dolomit och efter en tid endast bestod av bränsleaska.

Den "rena" askan från avfallet har i sig själv således de komponenter som ger beläggningar.

För att oxidera metalliskt aluminium med någon hastighet krävs en temperatur högre än ca 700°C. Aluminiumet som smälter vid förbränningen i en suspensionsbädd kommer att bilda sfäriska partiklar. Detta innebär att partiklarna sannolikt oxideras långsamt (liten yta). Samtidigt

har de ett skyddande aluminiumoxidskikt. Bränslepartiklarnas uppehållstid i gasförbränningszonen syrehalt och temperatur har därför stor betydelse för oxidationen av aluminium.

Den korta uppehållstiden - höga eldstadsbelastningar - i kombination med bränslets struktur/- höga reaktivitet och tillförselsätt (ovan bädd) - vilket ger lokala reducerande partier - torde sannolikt vara de mest bidragande orsakerna till beläggningsproblemen i Bollnäs-pannans konvektionsparti. Anledningen till att beläggningar erhålles i gittret i Bollnäs-pannan men ej i Linköpings-pannan skulle kunna vara att metalliskt aluminium som tillföres i Linköpingspannan förbrännes huvudsakligen i bädden beroende på att bränslet ej sönderdelas. Alternativt är den långa uppehållstiden i Linköpings-pannan tillräcklig för att oxidera metalliskt aluminium.

Eftersom rökgasernas temperatur vid inlopp till gitter respektive konvektionsdel ligger på samma nivå i både Bollnäs-pannan respektive rostpannan i Linköping, torde ej rökgastemperaturen enbart vara en kritisk faktor för beläggningarna i Bollnäs-pannan.

Skillnader i flygaskans elementsammansättning och oxidationsgrad vid inträde i konvektionsdelen, t ex metalliskt Al respektive Al_2O_3, mellan Bollnäs respektive Linköping, torde således sannolikt vara de mest betydelsefulla faktorerna för beläggningarnas uppkomst i Bollnäs-pannan.

Det torde således ej vara praktiskt möjligt att eliminera påslagen helt vare sig med dolomittillsats och/eller genom sänkning av temperaturen vid inloppet till konvektionsdelen.

För att eliminera beläggningarna bör i första hand således förekomsten av metalliskt aluminium (det kan eventuellt vara en annan aluminiumförening) reduceras.

Suspensionseldning i freebord av finfördelat bränsle, vilket innebär en för kort uppehållstid för partikelutbränning av aluminium till aluminiumoxid är således sannolikt den viktigaste orsaken till beläggningarnas uppkomst.

Det kan i detta sammanhang vara av intresse att notera att i en liknande panna i Eksjö på 5 MW, men som har två rökgasstråk innan konvektionsdelen, har man ej haft problem med beläggningar i konvektionsdelen vid avfallseldning.

6.4 HCl och SO_2 avskiljning: val av sorbent/bäddmaterial

Försöken visar att vid tillsats av kalk erhölls en kloridavskiljning på 65 %. Molförhållandet mol Ca tillsatt/mol Cl/2 i bränsle var i detta fall ca 0.9. Detta ger en förklaring till den relativt låga HCl avskiljningen.

Vid försöken med tillsats av finkornig dolomit erhölls en HCl avskiljning på 85 %. I dessa försök var dock molförhållande mol Ca tillsatt/-(mol S + mol Cl/2) väsentligt högre eller ca 3.5. Avskiljningsgraden för svaveloxider var ca 80 %. Med hänsyn taget till det stora stökiometriska överskottet av kalcium är avskiljningen av svavel och klorid relativt låg.

I försöken där dolomit 0-80 µm tillfördes ovan bädd erhölls samma reduktion av klorid som i de försök där dolomit 0.6-1.6 mm användes som bäddmaterial. Anledningen till att så höga

stökiometriska överskott av dolomit 0-80 µm krävdes för att få en god kloridreduktion kan bero på de svårigheter som uppstod att få en kontinuerlig tillförsel av dolomit. Tillsättning av dolomit i en punkt ovan bädd ger sannolikt ej heller en homogen dispergering av dolomit till hela eldstaden. Detta i kombination med den stora ojämnheten i bränsletillförseln innebär att det stökiometriska molförhållandet Ca/S+Cl/2 i eldstad/konvektionsdel sannolikt varierar kraftigt. Tillförsel av dolomiten till bränslet torde eliminera en del av dessa problem.

Vid tillförsel av större kornstorlekar dolomit i bädden erhålles sannolikt en mer homogen fördelning och tillförsel av dolomitpartiklar till eldstaden ovan bädd.

Den låga kloridreduktionen vid användning av dolomit, 0.8-3 mm, som bäddmaterial beror sannolikt på dålig kalcinering som en följd av den låga bäddtemperaturen som var ca 700-730°C. Även om temperaturen ovan bädd är väsentligt högre, ca 800-900°C, är uppehållstiden mycket kort i förhållande till den kalcineringstid som krävs för de partikelstorlekar som lämnar bädden. Endast en mindre andel av de dolomitpartiklar som lämnar bädden torde ha en partikelstorlek mindre än 0.1 mm. Detta innebär att partiklarna dels har en liten aktiv yta dels fordrar en lång kalcineringstid.

Orsaken till att en bättre kloridreduktion erhölls med dolomitfraktionen 0.6-1.6 mm än med 0.8-3 mm, kan bero på att de partikelfraktioner som lämnade bädden var mindre och att framförallt temperaturen i bädden var högre ca 780°C, vilket ger en bättre kalcinering.

Försöken med dolomit som bäddmaterial visar att bäddförlusten av dolomit är tillräckligt hög, 200-500 kg dolomit per timme i flygaska, för att uppnå ett kalciumöverskott i eldstaden. Användning av dolomit med kornstorlek 0.6-1.6 mm gav dock så höga bäddförluster att den ej var praktiskt användbar som bäddmaterial vid uppstart.

Dolomit har en densitet som är ungefär densamma som för baskarpsand. Vid kalcinering minskar emellertid densiteten till ca hälften av råmaterialets. Kalcinering av magnesiumkarbonatet respektive kalciumkarbonatet i dolomiten sker vid ca 720°C respektive 780°C. Med tanke på den relativt låga bäddtemperaturen som oftast var ca 700-750°C vid avfallsförbränning torde kalcineringen i bädd bli relativt dålig. Ovan bädd där temperaturen ligger i området 800-900°C, är däremot temperaturen tillräckligt hög för kalcinering. Kalcineringsgraden är emellertid även starkt beroende av partikelstorleken.

Vid försöken med dolomit, 0.6-1.6 mm respektive 0.8-3 mm, som bäddmaterial kunde konstateras att huvuddelen av den tillförda dolomiten kunde avskiljas som flygaska, medan en mindre del gick till bäddaska.

Undersökningen av kornstorleksfördelningen i flygaskan visade att mer än 95 % av partiklarna hade en kornstorlek mindre än 0.5 mm. Detta visar att dolomitpartiklarna i bädden eroderas till mindre storlekar. Denna process påskyndas sannolikt av kalcineringen som ger ett material med en spröd struktur. Det bör poängteras att bäddtemperaturen som regel var ca 700-750°C. Vid högre bäddtemperaturer, ca 800°C, sker en fullständig kalcinering varvid partiklarnas

täthet minskar till hälften, vilket kan ge problem med för höga dolomitförluster.

Användes dolomit med kornstorleken 0.6-1.8 mm sker nednötnings/bäddflykt processen av dolomitpartiklarna så snabbt att bädden förloras. Skall denna kornstorlek av dolomit användas som sorbentmaterial bör man använda sand alternativt bränsleaska som huvudbeståndsdel i bädden.

Vid uppstart med dolomit, 0.8-3 mm, som bäddmaterial kan bäddförlusterna bli relativt stora, speciellt om bäddmaterialet kalcinerats (bäddtemperatur $\geq 800^{\circ}C$). Successivt kommer dock fraktioner av bränsleaskan med högre densitet än dolomit utgöra en allt större andel av bäddmaterialet (om hushållsavfall eldas). Detta innebär att tillförseln av extra bäddmaterial (dolomit) för att hålla bäddhöjd kan successivt minskas. Efter en tids drift, ca 2-3 dygn kommer slutligen huvuddelen av bäddmaterialet bestå av bränsleaska. Bäddhöjden kan då kontrolleras genom bäddränageflödet. I detta skede kan dolomitförbrukningen kontrolleras genom dolomitflödet till bädden. Eftersom erosionen/dolomitavgången från bädden är en relativt långsam process - om dolomit med kornstorlek 0.8-3 mm användes - kan dolomiten tillsättas intermittent till bädden t ex en gång per timme.

Problemet med höga bäddförluster vid uppstart med en dolomitbädd torde sannolikt kunna elimineras, genom att vid bäddbyte/skrotrensning kan det genom siktade bäddmaterialet överföras till returasksilon och återanvändas. Vid dolomittillsats är ju risken för bäddsintring lägre.

Som framgått av undersökningen är sandförbrukningen vid normaldrift relativt hög ca 50 ton

per driftsperiod om 10 dagar. Råvarukostnaden för sand respektive dolomit fritt levererat vid fabrik är ungefär densamma (ca 300:-). Användning av dolomit som bäddmaterial ger således ingen merkostnad.

Genom att använda dolomit som bäddmaterial i kombination med kalciumhydroxiddosering till spärrfiltret, kan HCl avskiljningen sannolikt reduceras väsentligt samtidigt som kalciumhydroxiddoseringen kan minskas. Saltsyraavskiljningen kan således förbättras utan någon merkostnad. En användning av dolomit som bäddmaterial minskar dessutom problemen med påslag i gittret. Som en följd av lägre sandförbrukning borde också erosionen i konvektionsdelen och sintringsrisken i bädden reduceras.

Den typ av problem som uppstått med beläggningar på överhettartuber vid avfallseldning i andra anläggningar torde sannolikt också kunna elimineras genom dolomittillsats.

Beträffande val av lämpliga partikelstorlekar på sorbenten, så har dessa problem belysts i ett arbete av Münzner (1-3).

För att uppnå optimal effekt av den tillförda sorbenten måste betingelserna för dels kalcinering dels sulfatering och kloridbindning optimeras. En kärnfråga är vilken partikelstorlek den tillsatta sorbenten bör ha. Bör stora partiklar med en lång uppehållstid av sorbenten i bädden eftersträvas, eller bör små partiklar med en kort uppehållstid i bädden användas.

Ett diagram från dessa undersökningar som avser koleldning i en bubblande bädd redovisas i Figur 18. Som framgår av detta diagram så finns

det två optima vad gäller svavelreduktion som funktion av partikelstorlek.

Tillsättes en sorbent med en partikelstorlek <200 µm, dvs de transporteras från bädden med gasen, kommer uppehållstiden i eldstaden bli relativt kort. Antages en gashastighet på 2 m/s torde uppehållstiden i eldstaden ligga i storleksordningen 2-4 sekunder.

Undersökning av kalcineringstid som funktion av temperatur och kornstorlek visas i Figur 19. Detta diagram visar att för partikelstorlekar 50-200 µm krävs en kalcineringstid på ca 5-20 sekunder vid en temperatur på 950°C, vilket torde vara en vanlig temperatur i freebord vid sopeldning. Detta visar att tillgängligheten av aktiv kalcinerad dolomit i freebord sannolikt ej skulle bli optimal för partikelstorlekar i området 50-200 µm. Användes däremot dolomitpartiklar mindre än ca 50 µm erhålles förutom en snabbare kalcinering också en bättre absorption på grund av den större specifika ytan hos små partikelfraktioner.

Användes å andra sidan dolomit med partikelfraktioner ≥200 µm, vilka har en lång uppehållstid i bädden, kan en god kalcinering uppnås under förutsättning att temperaturen är minst 780-800°C i bädden.

Huruvida sorbentens kalcineringsgrad eller dess specifika yta/porositet är den begränsande faktorn för absorption av svavel och halogener är oklart. Helt klart är dock att vid de relativt låga temperaturer som gäller vid FB-förbränning, så kan själva kalcineringsförloppet vara en mycket betydelsefull kritisk faktor, speciellt

om partikelfraktioner i storleken 50-200 µm användes.

Undersökningar av absorptionen av halogener till flygaska/kalksten (2) visar att vid en temperatur på 850°C binds endast svavel och fluor i någon större utsträckning. Enligt Figur 20 framgår det att om temperaturen sänkes till ca 300°C i en efterföljande sekundär-FB kan bindningen av klor förbättras väsentligt. Med utgångspunkt från de temperaturer som råder i eldstad/panna bör man därför för att uppnå en god kloridbindning, tillföra sorbenten så att en hög sorbentkoncentration erhålles i rökgasen, dvs små kornstorlekar. För att uppnå en påverkan på de rökgassidiga beläggningarnas kemisk/fysikaliska miljö är sannolikt små partikelstorlekar också att föredraga. Det bör dock framhållas att en påverkan på beläggningarna i konvektionsdelen kan också sammanhänga med ändrade kemisk-fysikaliska förhållanden i bädden.

Vid tillförsel av kalksten till bubblande FB-bäddar har från en del håll anförts att på grund av erosion i bädden skulle från tillsatt kalksten i bädden, en finfraktion genereras kontinuerligt till den mobila gasfasen. Detta förhållande bekräftas i denna undersökning.

Sammanfattningsvis kan konstateras med utgångspunkt från Münzners arbeten, att om en god absorption av klor till dolomit önskas, erhålles sannolikt bättre absorption av klor ju mer finkornig den tillsatta dolomiten är. Tillsats av finkornig sorbent ger en hög kalcineringsgrad, stor aktiv yta och en hög sorbentkoncentration i rökgasen.

6.5 Åtgärder för att eliminera beläggnings/-sintringsproblemen

6.5.1 Bäddsintring gitterbeläggningar

Bäddsintring och beläggningsproblemen på gittret kan elimineras genom dolomittillsats ovan bädd, alternativt kan man använda dolomit som bäddmaterial istället för sand.

6.5.2 Beläggningar i konvektionsdel

Det traditionella sättet att motverka påslag genom sintring är att sänka förbränningsgasernas temperatur.

Mätning av temperaturen i inloppet till första konvektionsdelen visar att denna ligger på ca 650°C i genomsnitt. Uppmätning av temperaturen i rökgasstråkets mittzon visar att temperaturen varierar kraftigt, 700-900°C. Med hänsyn till att partiklarna fordrar en viss uppehållstid innan dessa hinner kylas till omgivningens temperatur, är det helt uppenbart att i konvektionspartiets första del kan partikeltemperatur uppåt 800-900°C förekomma.

Även om rökgaserna har en låg temperatur, kan i lokala zoner i konvektionsdelen höga temperaturer och sintring uppstå genom förbränning av oförbrända partiklar.

För att eliminera aluminiumpartiklarnas klistereffekt måste dock rökgastemperaturen sänkas väsentligt under smältpunkten för aluminium som är 660°C. Att uppnå en så låg rökgastemperatur att aluminiumpartiklarna föreligger i fast fas torde ej vara praktiskt genomförbart.

Som framgått av redovisade undersökningar torde det ej vara praktiskt möjligt att eliminera påslagen i konvektionsdelen vare sig med dolomittillsats och/eller genom sänkning av rökgastemperaturen vid inloppet till konvektionsdelen. För att eliminera beläggningarna bör i första hand således förekomsten av metalliskt aluminium reduceras.

De viktigaste orsakerna till den dåliga oxidationen av aluminium är sannolikt följande faktorer:

- ojämn bränsletillförsel (variationer upp till 100 % mellan olika 5 sekundersintervall). Luftöverskottsreglering "hinner" ej med.

- ovanbädd inmatning av finfördelat bränsle med låg densitet och hög reaktivitet gör att en stor del av bränslet förbränns ovanbädd som en suspension. Som en följd av detta blir bäddtemperaturen låg, vilket innebär att gasförbränningen i bädden blir dålig. Bädden fungerar mer som en gasgenerator.

Problem med luftfördelning vid ovanbäddinmatning av bränslen med hög reaktivitet har också konstaterats vid t ex torv och fliseldning i bubblande FB-bäddar (6).

- för kort uppehållstid för suspensionsförbränning i kombination med den ojämna bränsletillförseln innebär att lokala reducerande zoner erhålles. Tidvis sker slutförbränning i rökgasstråk/konvektionsdel.

För att eliminera beläggningsproblemen kan flera olika åtgärder vidtagas. Några förslag redovisas nedan.

Minska ojämnheter i bränsletillförseln/avbränningshastighet

- högre varvtal på doserskruv (mindre diameter på "vingar").
- minska bränslets reaktivitet/avbränningshastighet. Öka bränslets utbränningstid genom t ex brikettering.

Optimera bäddförbränning

- förbättra gasförbränning i bädd genom att öka bäddtemperatur till 800-900°C.
- använd dolomit som bäddmaterial.

Bäddtemperaturen kan höjas genom att

- förbättra inblandning av bränsle i bädd t ex genom skruvinmatning av bränsle i botten eller ändra bränslets densitet/-reaktivitet genom brikettering.
- ev måste bädden tändas upp t ex med kolinmatning.

Optimera förbränning i freeboard

- öka turbulens och utnyttja eldstadsvolym bättre genom insättning av "näsa" och omblandning med kraftiga strålar.
- förläng partiklarnas uppehållstid i eldstaden genom partikelavskiljning i eldstaden t ex balkavskiljare i eldstadens utlopp.
- förbättra styrning av luftöverskott, öka reglersnabbheten. Detta kräver sannolikt givare med snabbare respons.

REFERENSER

1. MÜNZNER, H et al
Verminderung der Schwefelfioxid-Emissionen bei der Wirbelschicht-feuerung von Kohle durch Zusatz von Kalkstein.
Chem Ing-Tech 56, Heft 4 (1984).

2. MÜNZNER, H et al
Neure Erkenntnisse zur Rückhaltung von Fluor und Chlor in der Wirbelschicht-feuerung.
VDI-berichte.

3. MÜNZNER, H et al
Beeinflussung der Ausbrandes und der Schadstoffemissionen durch variation der betriebsdedingungen in Wirbel-schichtfeuerungen.
VDI-berichte Nr 423, 1981.

4. SUNDBY, R
Tillsatsmedel vid avfallseldning.
SVF-115 (1981).

5. BERGSTRÖM, J
ENA-utredningen.
Manuskript (1986).

6. LJUNGSTRÖM, E
In bed oxygen measurements in a commer-cial size AFBC.
Eight Int Conference on fluidized Bed Combustion, Houston, Tx, March 18-21, 1985.

Totala massflöden för referensperiod 1 och 2

Normal drift med kalciumhydroxidtillsats efter cyklon 20 kg/h

Referensperiod 1 20/2 0600 - 2/3 1900
Referensperiod 2 3/3 0700 - 12/3 0100

Bränsledata:

Producerad energimängd avfall 3101 MWh — 2.63 MWh/ton vid 40 % fukt
Producerad energimängd flis 828 MWh — 2.57 MWh/ton vid 45 % fukt

Tillfört material			
Totalt tillförd askmängd i avfallsbränsle	ton	120	Askhalt: 17 % per torrsubstans
Totalt tillförd askmängd i flisbränsle	ton	1.8	1 % per torrsubstans
Totalt tillförd askmängd i bränsle	ton	122	
Totalt tillförd sandmängd	ton	114	
Totalt tillförd mängd aska + sand	ton	236	

Bortfört		
Flygaska (cyklon + spärrfilter)	ton	129
Bäddaska (inkl bäddbyte)	ton	115
Totalt bortförd bäddaska/bäddmaterial + flygaska		244

Tabellbilaga 1

Tabellbilaga 2

MKS
MILJÖKONSULTERNA

ANALYSBESKED

BILAGA A –
SUPPLEMENT A

Provbeteckning – Sample mark	Logg nr – Log No
EPC Lars Rudling; Sopor	87-299

SVAVELFORMER – FORMS OF SULPHUR, ASTM D 2492

	Analyserat As determined	Leverans-tillstånd As received	Torrt Dry weight basis	Torrt o askfritt Dry and ash-free weight basis
Sulfatsvavel – Sulphate sulphur %				
Pyritsvavel – Pyritic sulphur %				
Organiskt svavel – Organic sulphur %				

ASKANS HUVUDBESTÅNDSDELAR – ANALYSIS OF ASH, referat till torr aska – refering to dry ash. ASTM and XRF

Inaskningstemperatur – Ashing temperature

☐ 815°C ☒ 500°C ☐ Levererat askprov – Received ash sample

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	Li_2O	P_2O_5	TiO_2	SO_3	Summa Sum
54.7	14.4	3.21	10.5	2.02	5.3	3.53	0.01	1.50	0.72	1.91	98.4

SPÅRÄMNEN – TRACE ELEMENTS

Zn = 0.6%

	Analyserat* As determined*	Leverans-tillstånd As received	Torrt kol Dry weight basis	Torrt o askfritt Dry and ash-free weight basis

* Lufttorkat prov – In air dried sample

Anm – Notations

BL 3277

Datum – Date	Underskrift – Signature
1987-06-25	Maj-Britt Andersson

Ett företag i **Studsviks** gruppen - A company in the **Studsvik** Group

Postadress - Postal address: MKS Miljökonsulterna i Studsvik AB, S-611 82 NYKÖPING, SWEDEN
Telefon - Phone: Nat 0155-800 00, Int +46155 800 00
Telex: 64013 studs s
Telefax: Nat 0155-630 44, Int +46155 630 44
Bankgiro - Banking account: 424-9544
Postgiro - Postal account: 27 77 00-2

Analys av HCl och SO_2 i rökgas efter spärrfilter

Datum	Driftbetingelser	Mol Ca/mol Cl/2	HCl mg/nm^3 torr gas vid 10 % CO_2	SO_2 mg/nm^3 torr gas vid 10 % CO_2	HF mg/nm^3 torr gas vid 10 % CO_2
5/3	Normaldrift med kalciumhydroxi-tillsats	0.9 0.9 0.9	250 270 330	110 130	
		mol Ca/mol S + mol Cl/2			
18/3	Dolomittillsats 0-80 µm ovan eldstad	3.7 3.7 3.7	102 126 120	80	0.3 0.2 0.2
26/3		2.3 2.3 1	140 185 400		
27/4	Dolomit 0.6-1.6 mm som bäddmaterial	3.3 3.3 3.3 3.3	95 145 90 175		
22/7	Dolomit 0.8-3 mm som bäddmaterial	7.6	230 290		

Referensprov: normaldrift med kalciumhydroxidtillsats efter cyklon

Beräkning av stökiometriska förhållanden

	kg/h	Fukthalt %	Askhalt %	Ca g/kg i torr aska	kmol Ca/h	Cl g/kg råbränsle	kmol Cl/h	mol Ca tillfört i kalk/(mol Cl/2) tillfört i bränsle
Bränsle (fuktigt material)	3650	40	10	75	0.68	4.3	0.44	0.9 (15 kg kalk/h)
Bäddaska	130	-	-	40	0.13			
Flygaska	360	-	-	85	0.75			
kmol Ca tillfört genom kalk-dosering					0.2 (= 15 kg kalk/h)			
(kmol Ca bäddaska - kmol Ca flygaska - kmol Ca bränsle)								

Tabellbilaga 4

Redovisning av svavel och kloridavskiljning

		Ref prov Normaldrift: tillsättning av kalcium-hydroxid efter cyklon 20 kg/h	Testperiod 1 tillförsel av dolomit 0-80 µm i eldstad ovan bädd	Testperiod 3 dolomit (0.6-1.6 mm) som bädd-material	Testperiod 4 *) dolomit 0.8-3 mm som bäddmaterial
Panneffekt	MW	8.5	8.5	8.5	8.5
Bränsleeffekt (40 % fukt)	ton råbränsle/h	3.65	3.65	3.65	3.65
Avskild flygaska (cyklonstoft + spärrfilterstoft)	ton/h	0.36	0.5	0.4	0.7
Avskild bäddaska	ton/h	0.13	0.13	0.15	0.05
Kloridhalt i avskild flygaska	% Cl	2.8	3.1	3.5	1.4
Kloridhalt i bäddaska	% Cl	0.08	0.20	0.4	0.3
Svavelhalt i flygaska	% S	0.45	0.57	0.63	
Svavelhalt i bäddaska	% S	0.07	0.18	0.2	
Mol Ca tillsatt/mol (S+Cl/2)			3.7 1 2.3	3.3	
HCl halt i rökgas	mg/nm^3 torrgas vid 10 % CO_2	280	120 400 160	130	260
SO_2 halt i rökgas	mg/nm^3 torrgas vid 10 % CO_2	120	80		
Kloridflöde i rökgas	kg/h	5.5	2.4	2.7	5.1
Kloridflöde i avskild flygaska	kg/h	10	15.5	14	9.8
Kloridflöde i avskild bäddaska	kg/h	0.2	0.26	0.6	0.15
Totalt kloridflöde	kg/h	15.7	18.2	17.3	15
% klorid avskilt	%	65	87	84	66
Svavelflöde i rökgas	kg/h	1.2	0.8		
Svavelflöde i avskild flygaska	kg/h	1.6	2.9		
Svavelflöde i avskild bäddaska	kg/h	0.18	0.23		
Totalt svavelflöde	kg/h	3	3.9		
% svavel avskilt	%	60	80		

*) Ingen recirkulation till bädd av material från vändschakt

Tabellbilaga 5

Analys av askor och beläggningar

Prov	Driftbetingelser	Antal drifts-dygn från bäddbyte	Na	K	Al	Fe	Si	Mn	Ca	Mg	Cr	Ni	Zn	P	S	Cl	Br	F	Pb	Hg
										g/kg										
Bäddaska 0223	normaldrift	3	42	29.6	52	11.5	337	0.5	35.6	5.4	0.2	<0.1	1.2	0.8	0.6	0.9	<0.1	<1	0.5	<0.05
Bäddaska 0302	normaldrift	10	41	32	42	19	320	1.1	44	7	0.3	<0.1	2.5	1.1	0.8	0.7	<0.1	<1	0.9	<0.05
Bäddaska 0314	dolomitförsök: 0-80 µm ovan bädd	1	35	32	55	12	325	0.8	35	5.4	0.1	-	2	1.4	0.8	1.1			0.7	<0.05
Bäddaska 0329	dolomitförsök: 0-80 µm ovan bädd	16	48	25	45	20	300	1	64	10.6	0.3		2.2	2	1.8	2			1.3	<0.05
Gitter 0219	normaldrift	10	19	10.7	370	8.9	146	2.9	38	6.9	0.2	<0.1	4.1	1.9	5.3	2.3	<0.1	<1	1.2	<0.05
Gitter 0302	normaldrift	10	24	20.8	195	13.4	224	2.1	45.2	7.8	0.2	<0.1	3.9	2	3.5	1.3	<0.1	<1	1.2	<0.05
1:a konv 0219	normaldrift	10	49	60	88	14.3	123	5.5	116	16.8	0.5	<0.1	8.6	10.6	63	17	<0.1	<1	1.4	<0.05
1:a konv 0302	normaldrift	10	50	61	99	15.4	117	4.4	108	17	0.5	<0.1	9.1	9.5	68	7.5	<0.1	<1	1.7	<0.05
1:a konv	dolomitförsök: 0-80 µm ovan bädd	17	25	36	61	10	101	2.8	182	74	0.2	-	4.4	5.2	22	65	-	-	4.3	<0.05
2:a konv 0219	normaldrift	10	29	25	114	19	196	4.6	95	14	0.4	<0.1	5.8	9.5	6	43	<0.1	<1	1.4	0.8
2:a konv 0302	normaldrift	10	19	32	540	1.6	34	2.7	50	6	0.2	<0.1	6.8	1.7	24	64	<0.1	<1	7	<0.05
2:a konv	dolomitförsök: 0-80 µm ovan bädd	17	23	43	160	5.6	38	2.8	164	35	0.3		6.1	5.2	87	57			3.1	<0.05
Flygaska 24/2-2/3	normaldrift		28	29.6	97	16.6	229	3.3	85	12	0.3	<0.1	5.4	7.8	4.5	28	<0.1	<1	1.8	5.8
Flygaska	dolomitförsök: 0-80 µm ovan bädd		18	21	105	14.5	132	2.6	159	65	0.2		6.8	7.2	5.7	31			1.9	2.4
Flygaska 0427	dolomitförsök: 0.6-1.6 mm i bädd		25	28	87	17	140	2.9	160	54	0.4		4.9	7.7	6.3	35			3.5	2
Flygaska 0722	dolomitförsök: 0.8-3 mm i bädd				67	18	120		200	92					5	1.4				
Baskarpsand			19	26	54	8.7	368	0.4	10	3.6	0.1	<0.1	0.3	0.5	0.2	0.5	<0.1	<1	0.1	<0.05
Bäddaska 0427	dolomitförsök 0.6-1.6 mm i bädd	3			34	19	240		130	60					2	4				
Bäddaska 0722	dolomitförsök 0.8-3 mm	6			31	14	280		100	41					1	3				

Tabellbilaga 6

Massflöden Testperiod 1: Tillförsel av dolomit 0-80 µm till eldstad ovan bädd

Producerad energimängd under hela testperiod 1 13/3 - 30/3
Producerad energimängd från avfall 2541 MWh
Producerad energimängd från flis 674 MWh

Uppmätta massflöden under mätperioden 13/3 - 24/3

Producerad energimängd från avfall	MWh	1680
Producerad energimängd från flis		490

Tillfört material

Aska i bränsle	ton	66
Dolomit	ton	40
Sand	ton	38
Totalt tillfört material		144

Bortfört

Flygaska	ton	115
Bäddaska*	ton	31
Bortfört	ton	146

* Bäddbyte ej inkluderat

Tabellbilaga 7

Tabellbilaga 8

MKS
MILJÖKONSULTERNA

ANALYSBESKED FÖR BILAGA A – SUPPLEMENT A

Provbeteckning – Sample mark	Logg nr – Log No
EPC Lars Rudling; sopor	87-238

SVAVELFORMER – FORMS OF SULPHUR, ASTM D 2492

	Analyserat As determined	Leverans-tillstånd As received	Torrt Dry weight basis	Torrt o askfritt Dry and ash-free weight basis
Sulfatsvavel – Sulphate sulphur %				
Pyritsvavel – Pyritic sulphur %				
Organiskt svavel – Organic sulphur %				

ASKANS HUVUDBESTÅNDSDELAR – ANALYSIS OF ASH, referat till torr aska – refering to dry ash. ASTM and XRF

Inaskningstemperatur – Ashing temperature

☐ 815°C ☒ 500°C ☐ Levererat askprov – Received ash sample

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	Li_2O	P_2O_5	TiO_2	SO_3	Summa Sum
51.1	14.3	3.00	13.4	2.21	4.61	3.93	<0.01	1.69	0.65	1.64	96.54

SPÅRÄMNEN – TRACE ELEMENTS

	Analyserat* As determined*	Leverans-tillstånd As received	Torrt kol Dry weight basis	Torrt o askfritt Dry and ash-free weight basis

* Lufttorkat prov – In air dried sample

Anm – Notations

BL 3277

Datum – Date	Underskrift – Signature
1987-05-27	Berit Jonsson

Ett företag i **Studsviks** gruppen - A company in the **Studsvik** Group

Postadress - Postal address: MKS Miljökonsulterna i Studsvik AB, S-611 82 NYKÖPING
Telefon - Phone: Nat 0155-800 00
Telex: 64013
Telefax: Nat 0155-630 44
Bankgiro - Banking account
Postgiro - Postal account

Testperiod 1: Dolomittillsats (0-80 µm) i eldstad ovan bädd

kg råmaterial/h	Fukthalt %	Askhalt %	Ca g/kg torr aska	kmol Ca/h	S Cl g/kg råbränsle	kmol S/h	kmol Cl/h	mol Ca tillfört/ mol (S+Cl/2)
Bränsle 3650	40	10	96	0.88	1 5	0.11	0.51	3.7
Bäddaska 130			64	0.21				
Flygaska 500			159	2.0				
Dolomit 0-80 µm				1.33 (= 250 kg dolomit/h)				

Testperiod 3: Dolomit (0.6-1.6 mm) som bäddmaterial

Beräkning av stökiometriska förhållanden

kg råmaterial/h	Fukthalt %	Askhalt %	Ca g/kg torr aska	kmol Ca/h	S	Cl g/kg råbränsle	kmol S/h	kmol Cl/h	mol Ca tillfört/ mol (S+Cl/2)
Bränsle 3650	40	10	96	0.87	1	5	0.11	0.51	3.3
Bäddaska 150			130	0.49					
Flygaska 400			160	1.59					
Dolomit 0.6-1.6 mm				1.21 (230 kg/h)					

Tabellbilaga 10

Testperiod 4: Dolomit 0.8-3 mm som bäddmaterial

Beräkning av stökiometriska förhållanden

kg råmaterial/h	Fukthalt %	Askhalt %	Ca g/kg torr aska	kmol Ca/h	S g/kg	Cl råbränsle	kmol S/h	kmol Cl/h	mol Ca tillfört/ mol (S+Cl/2)
Bränsle 3650	40	10	96	0.87	1	5	0.11	0.51	7.6
Bäddaska 50			100	0.13					
Flygaska 700			200	3.5					
Dolomit 0.8-3 mm				2.76					
				530 kg dolomit/h					

Tabellbilaga 11

Undersökning av sintringstemperatur

Prov	Driftbetingelser	Antal drifts-dygn från bäddbyte	Sintringstemp °C	Tillsats av dolomit 0-80 µm till prov, vikts %			
				30	20	17	13
				Sintringstemp, °C			
Bäddaska 0223	normaldrift	3	880				
Bäddaska 0302	normaldrift	10	840	1130	1020		1000
Bäddaska 0314	Dolomittillsats 0-80 µm ovan bädd	1	980				
Bäddaska 0329	Dolomittillsats 0-80 µm ovan bädd	16	960				
Gitterbeläggningar 0219	normaldrift	10	1020			1180	
1:a konv 0219	normaldrift	10	600		740		
1:a konv 0302	normaldrift	10	610				
1:a konv 0330	Dolomittillsats 0-80 µm ovan bädd	17	790				
2:a konv 0219	normaldrift	10	800		830		
2:a konv 0302	normaldrift	10	760		770		
2:a konv 033	Dolomittillsats 0-80 µm ovan bädd	17	770				
Baskarpsand			1150				

Tabellbilaga 12

Chemical analysis

Mineral: Dolomite = Calcium Magnesium Carbonate, $CaMg(CO_3)_2$

Ca 21.0%	**(CaO 29.4%, $CaCO_3$ 52.5%)**	**Fe 0.3%**	**Fe_2O_3 0.4%**
Mg 12.6%	(MgO 21.0%, $MgCO_3$ 43.9%)	Al 0.2%	Al_2O_3 0.3%
Si 1.3%	**(SiO_2 2.9%, of which as free SiO_2 less than 0.5 per cent)**	Mn 0.06%	**MnO_2 0.1%**
Loss on ignition 44.8%		P < 0.01%	

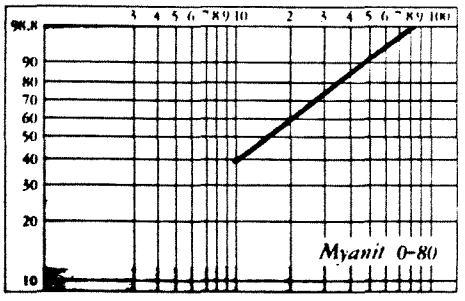
Technical data

Structure:	Crystalline	**Insoluble in HCl (DIN 55919):**	4-5%
Crystalline Form:	Hexagonal, rhombic	Soluble in water (ISO/R787/III):	0.1%
Density (DIN 53193):	2.85 g/cm³	**pH (DIN 53200):**	9.5-10.5
Hardness (Moh's scale):	3-4	Moisture (DIN 53198):	<0.3%
Refractive index (Abbe refractometer):	1.6		

Fraction data:

		0-10	0-30	0-70	0-80	10-70	30-70
Bulk density,	g/cm³	0.7	0.9	1.0	1.1	1.1	1.2
Bulk density compacted (DIN 53194),	g/cm³	1.1	1.4	1.5	1.5	1.6	1.7
Whiteness (determined with Elrepho Zeiss Filter),	FMX (red), %	94.9	93.6	93.7	91.0	93.5	91.5
	FMY (green), %	94.8	93.4	93.5	90.9	93.4	91.2
	FMZ (blue), %	93.1	91.5	91.2	88.8	91.0	88.2
Specific surface (Permaran),	m²/cm³	3.8	2.4	1.5	1.4	1.1	0.4
Specific surface (BET method),	m²/g	5.7	3.1	2.2	2.0	1.6	0.8
Oil absorption (DIN 53199),	g oil/100 g filler	23	18	14	15	17	18
DOP number,	G DOP/100 g filler	35	29	23	24	25	27
Water absorption,	g de-ionised H_2O/100 g filler	36	30	25	26	26	29

Packing, delivery in 25 and 40 kg 3-ply paper valve bags or bulk transport.



Method of analysis: Alpine Air-jet sieve

Particle size	Weight per cent through
90 microns	99
80 microns	98
70 microns	97
63 microns	95
50 microns	91
30 microns	74
20 microns	60
10 microns	38

Dolomit
Vit marmor

Produktion

Brytningen i Glanshammar har pågått sedan början av 1940-talet. Varje år utvinns bortåt 300.000 ton. Trots den höga utvinningstakten räknar vi med att fyndigheten kommer att räcka långt in i nästa århundrade.

Brytningen sker i en underjordsgruva genom s.k. skivpallbrytning. Efter brytningen transporteras dolomiten till mineralberedningsverket. Där krossas, torkas, sorteras och siktas materialet till en mängd olika fraktioner för olika användningsområden.

Användningsområden

Dolomiten används som frilagd ytballast i fasadelement, betongplattor, terrazzo, ädelplattor m.m.

Tack vare de många väldefinierade fraktionerna är det också lätt att proportionera en betong som både är mycket tät och har hög hållfasthet.

Dolomiten används också som processten till glas, mineralull, konstgödsel m.m.

Finare fraktioner av dolomit marknadsföres under namnet Myanit dolomitfiller. Myanitprogrammet omfattar idag 14 standardfraktioner under 1,0 mm.

Fraktioner

Bilderna visar de fraktioner som leverers som standard. Myanitprogrammet finns presenterat på separat datablad.

Kemisk analys

Mineral:
Dolomit = Kalciummagnesiumkarbonat $CaMg(CO_3)_2$

Ca	21,0 %	(CaO 29,4 %, $CaCO_3$ 52,5 %)
Mg	12,6 %	(MgO 21,0 %, $MgCO_3$ 43,9 %)
Si	1,3 %	(SiO_2 2,9 %, mindre än 0,5 % som fri kristallin kiseldioxid)
Fe	0,3 %	(Fe_2O_3 0,4 %)
Al	0,2 %	(Al_2O_3 0,3 %)
Mn	0,06 %	(MnO_2 0,1 %)
P	0,01 %	

Glödgningsförlust 44,8 %

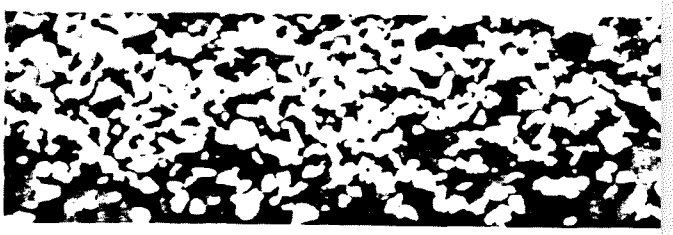
Tekniska data

Struktur:	Kristallin
Kristallform:	Hexagonal, romboedrisk
Volymvikt (störtvolym):	1,2 – 1,6
Volymvikt (stampvolym):	1,5 – 2,0
Hårdhet (Mohs skala):	3,2 – 3,5
pH (DIN 52300):	9,5 – 10,0
Densitet (DIN 53193):	2,85
Vithet:	Hög och jämn
Frostbeständighet:	Total
Väderbeständighet:	Mycket god
Utfällningsrisk:	Ingen

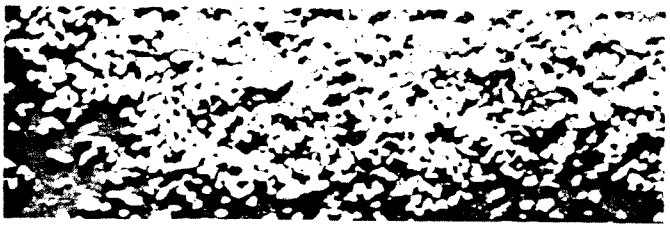
Samtliga tekniska data är medelvärden, avsedda att vara till hjälp för förbrukaren. Lämnas utan förbindels



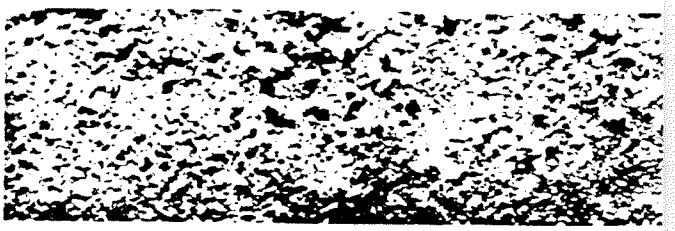
F 5 1,6 – 5 mm



O 0,8 – 3 mm



OO 0,6 – 1,6 mm



GL 0 – 1,6 mm

MKS
MILJÖKONSULTERNA

Tabellbilaga 15

ANALYSBESKED FÖR KOL, BILAGA B —
COAL ANALYSIS, SUPPLEMENT B

Provbeteckning – Sample mark	Logg nr – Logg No
EPC Lars Rudling; 1:sta konvektionsdel (19/2)	87-287

FYSIKALISKA EGENSKAPER, KOL – PHYSICAL QUALITIES, COAL

Hardgrove index	ASTM D 409-71
Svällningsindex – Free swelling index	ISO 501
Plasticitet	ASTM D 2639-74

ASKSMÄLTNINGSFÖRLOPP – FUSIBILITY OF ASH

☒ ISO 540 ☐ ANSI/ASTM D 1857	Reducerande miljö, °C °C Reducing atmosphere, °C °C	Oxiderande miljö, °C °C Oxidizing atmosphere, °C °C
Mjukningstemperatur – Deformation temperature		1250
Halvklottemperatur – Hemisphere temperature		1320
Flyttemperatur – Flow temperature		1330

PARTIKELSTORLEKSFÖRDELNING – PARTICLE SIZE DISTRIBUTION

GROVSIKTANALYS – COARSE SIZE ANALYSIS

Storlek – Size, mm	∞						0	Summa – Sum
%								

☐ square aperture sieve ☐ round aperture sieve

FINSIKTSANALYS – FINE SIZE ANALYSIS

Storlek – Size, mm	∞	4	2	1	0.500	0.250	0.125	0
%								

Summa – Sum

Anm – Notations

BL 3278

Datum – Date	Underskrift – Signature
1987-05-26	Berit Jonsson

Postadress - Postal address	Telefon - Phone	Telex	Telefax	Bankgiro - Banking account	Postgiro - Postal account
MKS Miljökonsulterna i Studsvik AB S-611 82 NYKÖPING SWEDEN	Nat 0155-800 00 Int +46155 800 00	64013 studs s	Nat 0155-630 44 Int + 46155 630 44	434-9544	37 77 99 - 2

MKS
MILJÖKONSULTERNA

Tabellbilaga 16

ANALYSBESKED FÖR KOL, BILAGA B —
COAL ANALYSIS, SUPPLEMENT B

Provbeteckning – Sample mark	Logg nr – Logg No
EPC Lars Rudling; sinterprov bäddaska 2/3	87-287

FYSIKALISKA EGENSKAPER, KOL – PHYSICAL QUALITIES, COAL

Hardgrove index	ASTM D 409-71
Svällningsindex – Free swelling index	ISO 501
Plasticitet	ASTM D 2639-74

ASKSMÄLTNINGSFÖRLOPP – FUSIBILITY OF ASH

☒ISO 540 ☐ANSI/ASTM D 1857	Reducerande miljö, °C Reducing atmosphere, °C	Oxiderande miljö, °C Oxidizing atmosphere, °C
Mjukningstemperatur – Deformation temperature		1210
Halvklottemperatur – Hemisphere temperature		1290
Flyttemperatur – Flow temperature		1350

PARTIKELSTORLEKSFÖRDELNING – PARTICLE SIZE DISTRIBUTION

GROVSIKTANALYS – COARSE SIZE ANALYSIS

Storlek – Size, mm	∞					0	Summa – Sum
%							

☐ square aperture sieve ☐ round aperture sieve

FINSIKTSANALYS – FINE SIZE ANALYSIS

Storlek – Size, mm	∞	4	2	1	0.500	0.250	0.125	0
%								

Summa – Sum

Anm – Notations

BL 3278

Datum – Date	Underskrift – Signature
1987-05-26	Berit Jonsson

Postadress - Postal address
MKS Miljökonsulterna
i Studsvik AB
S-611 82 NYKÖPING
SWEDEN

Telefon - Phone
Nat 0155-800 00

Telex
64013

Telefax
Nat 0155-630 44

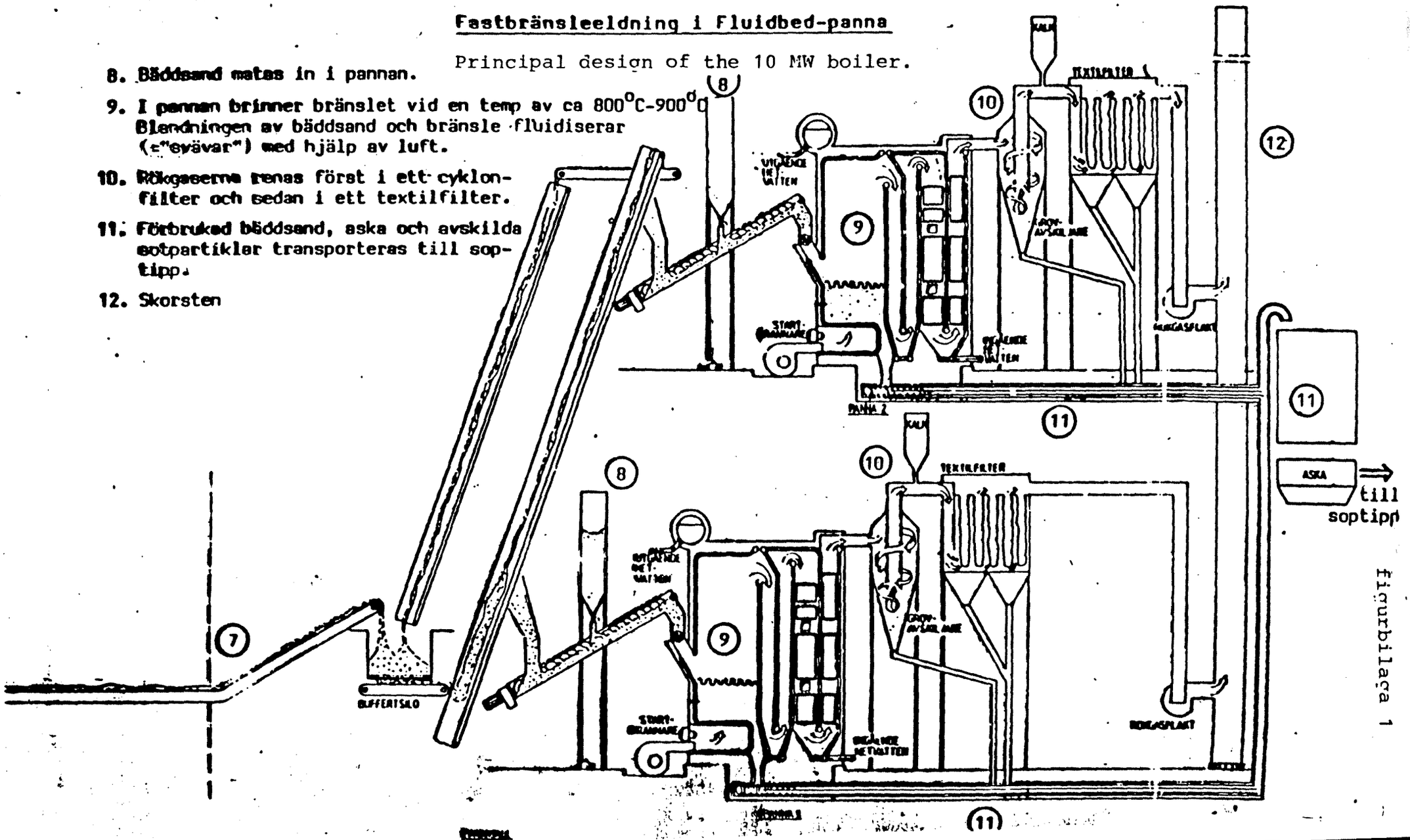
Bankgiro - Banking account

Postgiro - Postal account

Fastbränsleeldning i Fluidbed-panna

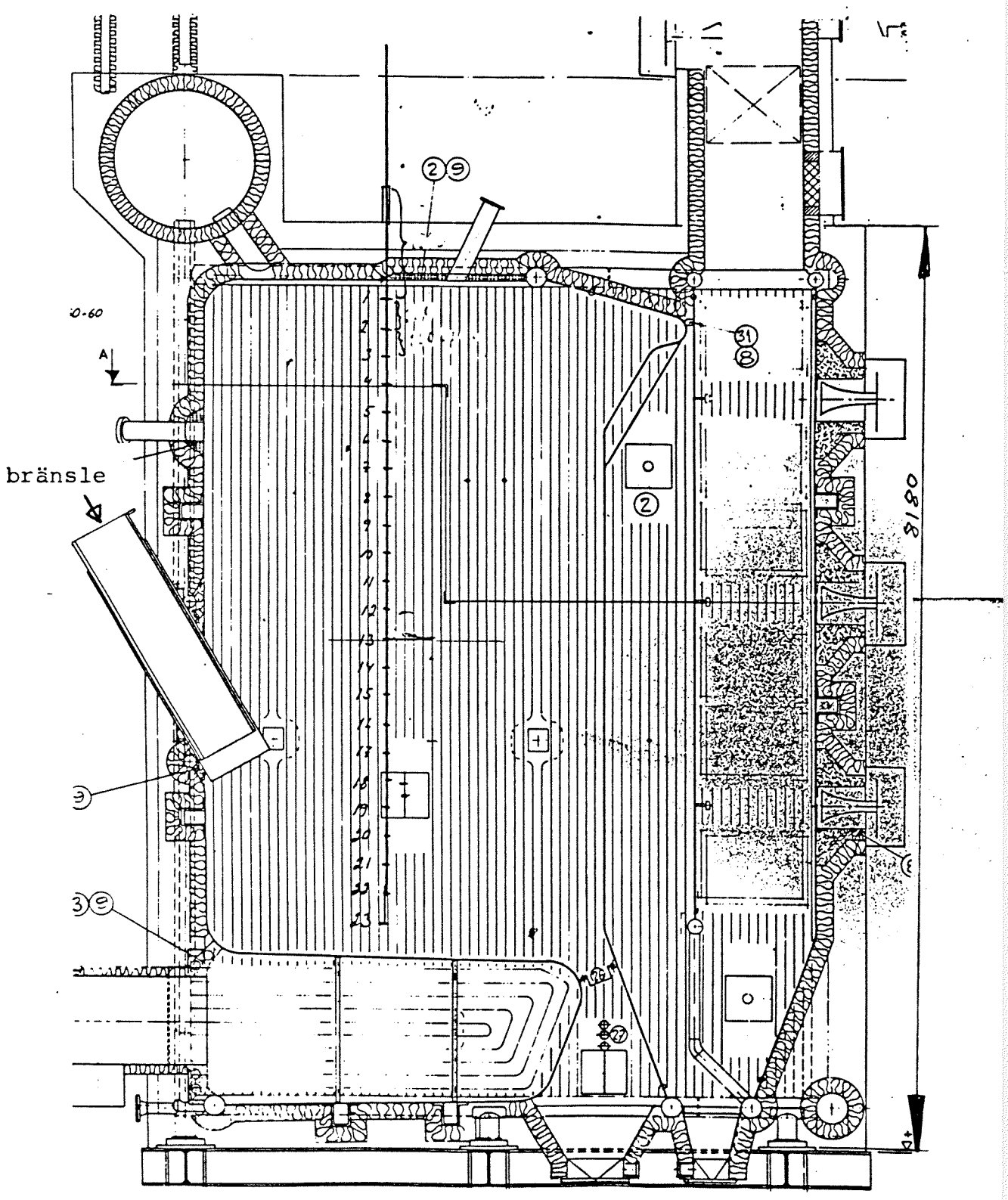
Principal design of the 10 MW boiler.

8. Bäddsand matas in i pannan.
9. I pannan brinner bränslet vid en temp av ca 800°C-900°C. Blandningen av bäddsand och bränsle fluidiserar ("svävar") med hjälp av luft.
10. Rökgaserna renas först i ett cyklonfilter och sedan i ett textilfilter.
11. Förbrukad bäddsand, aska och avskilda sotpartiklar transporteras till soptipp.
12. Skorsten



figurbilaga 1

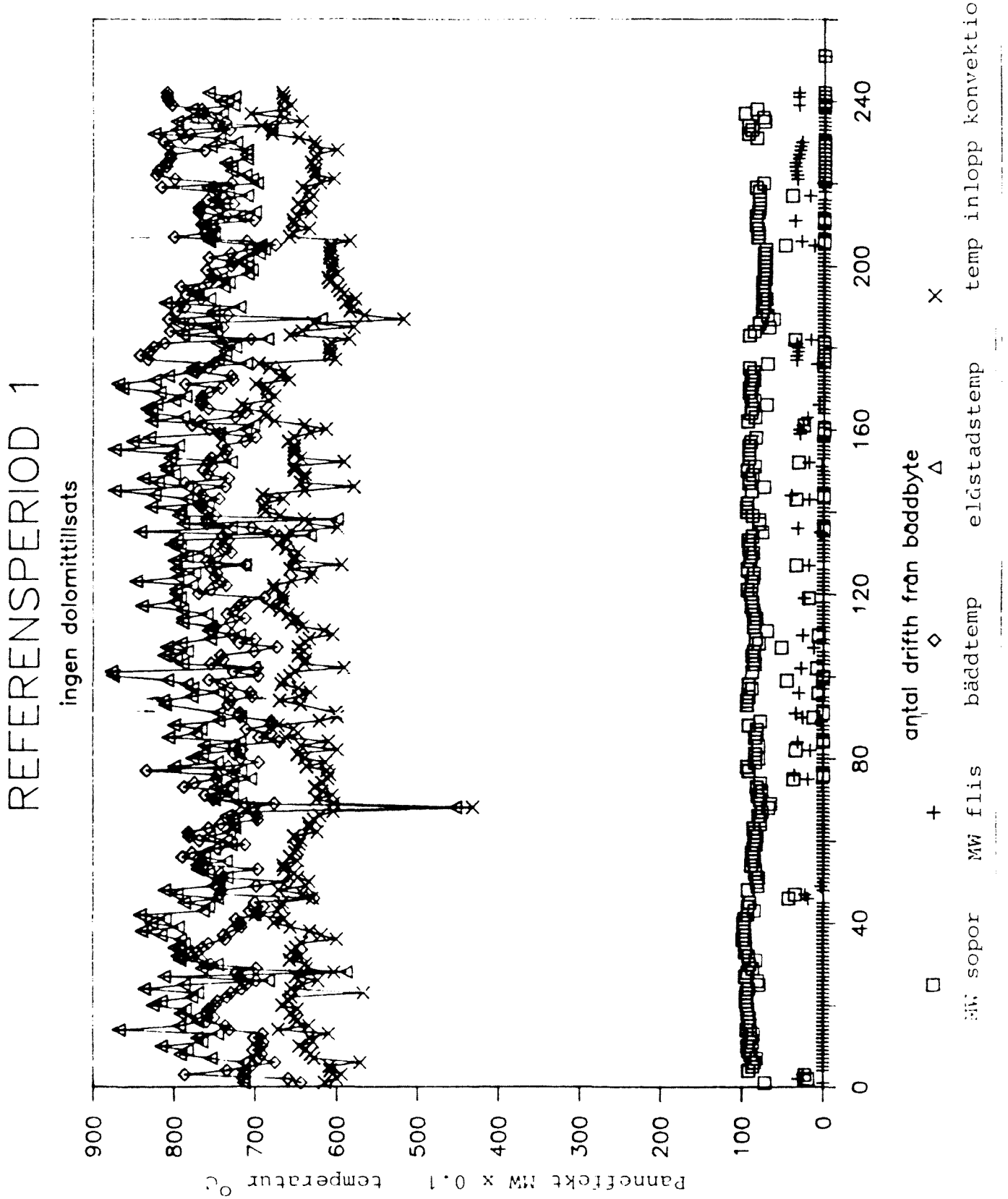
10 MW FB-panna



10 MW fluid-bed boiler

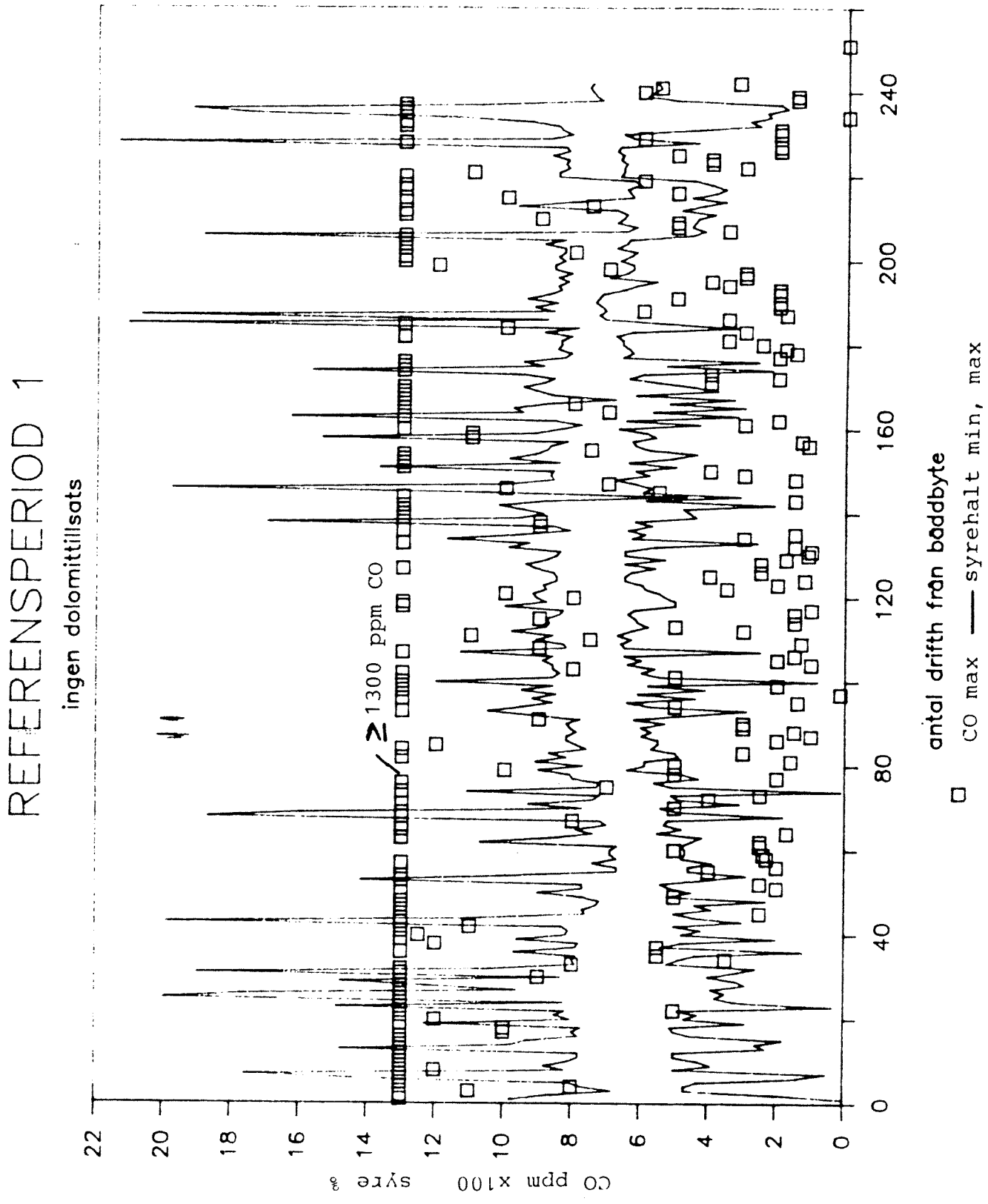
Figurbilaga 3

Plot av panneffekt, bränsletyp, temperatur i bädd, ovan bädd och i inlopp till konvektionsdel.
Plot of boiler effect, fuel type, temperature in bed, freeboard and in the inlet to the convection part.



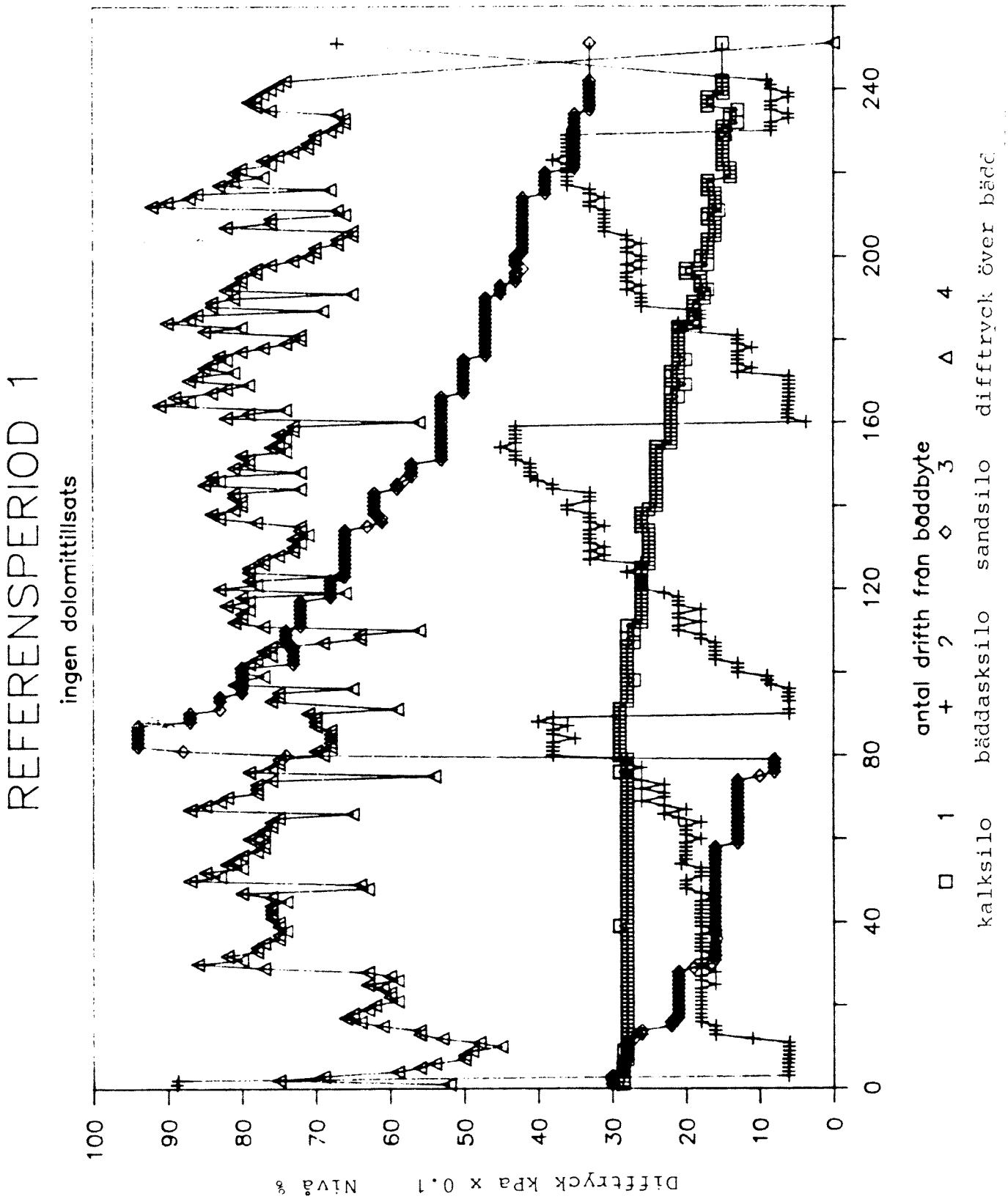
Figurbilaga 4

Plot av syrehalt (max- och minvärden) samt kolmonoxidhalt (maxvärde) i rökgas.
Plot of oxygen concentration (max and min value) and carbon monoxide concentration (max value) in the flue gas.



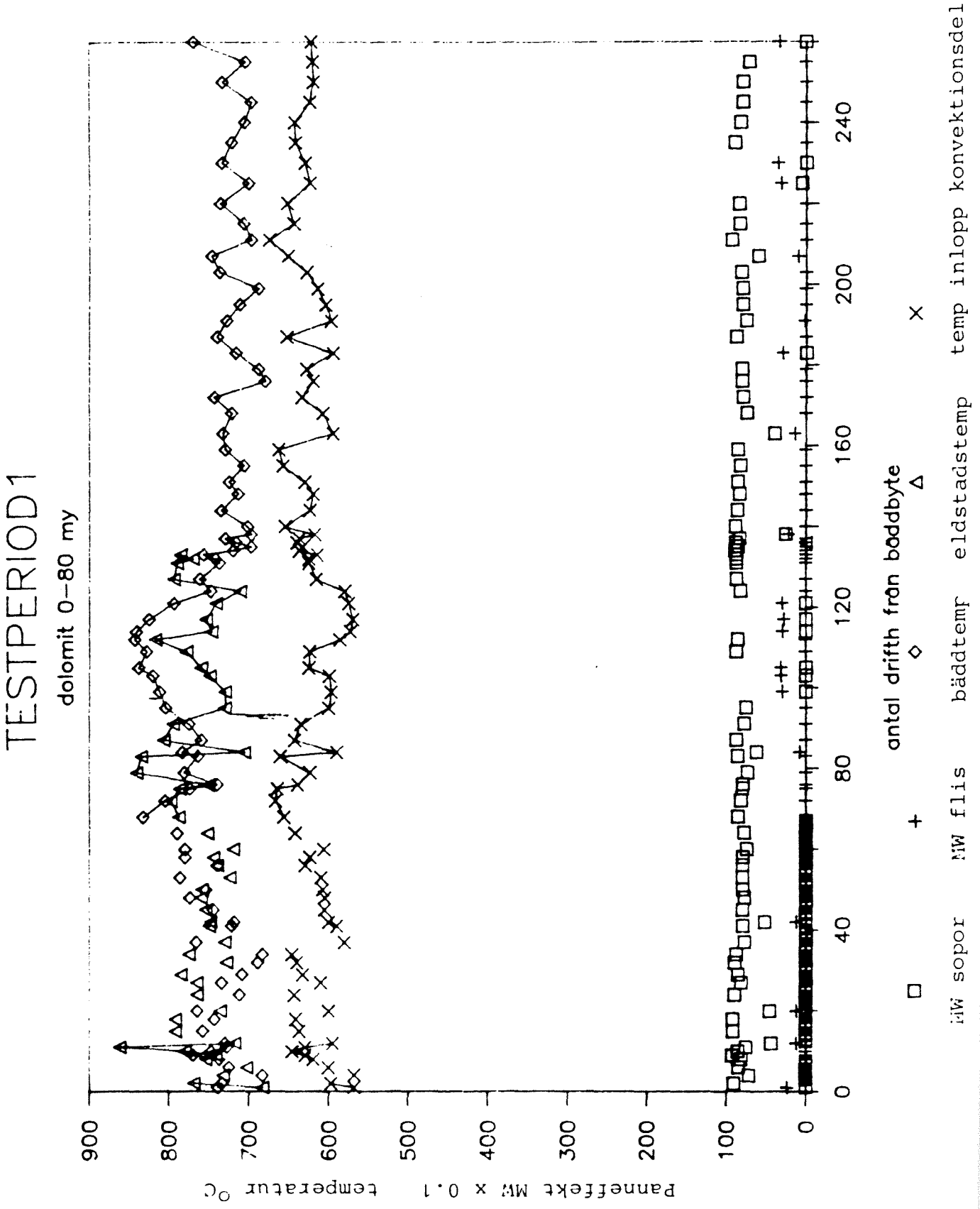
Figurbilaga 5

Plot av nivå i kalksilo, bäddasksilo, sandsilo samt differenstryck över bädd.
Plot of level in lime-silo, bed ash silo, sand silo and differential pressure over the bed.



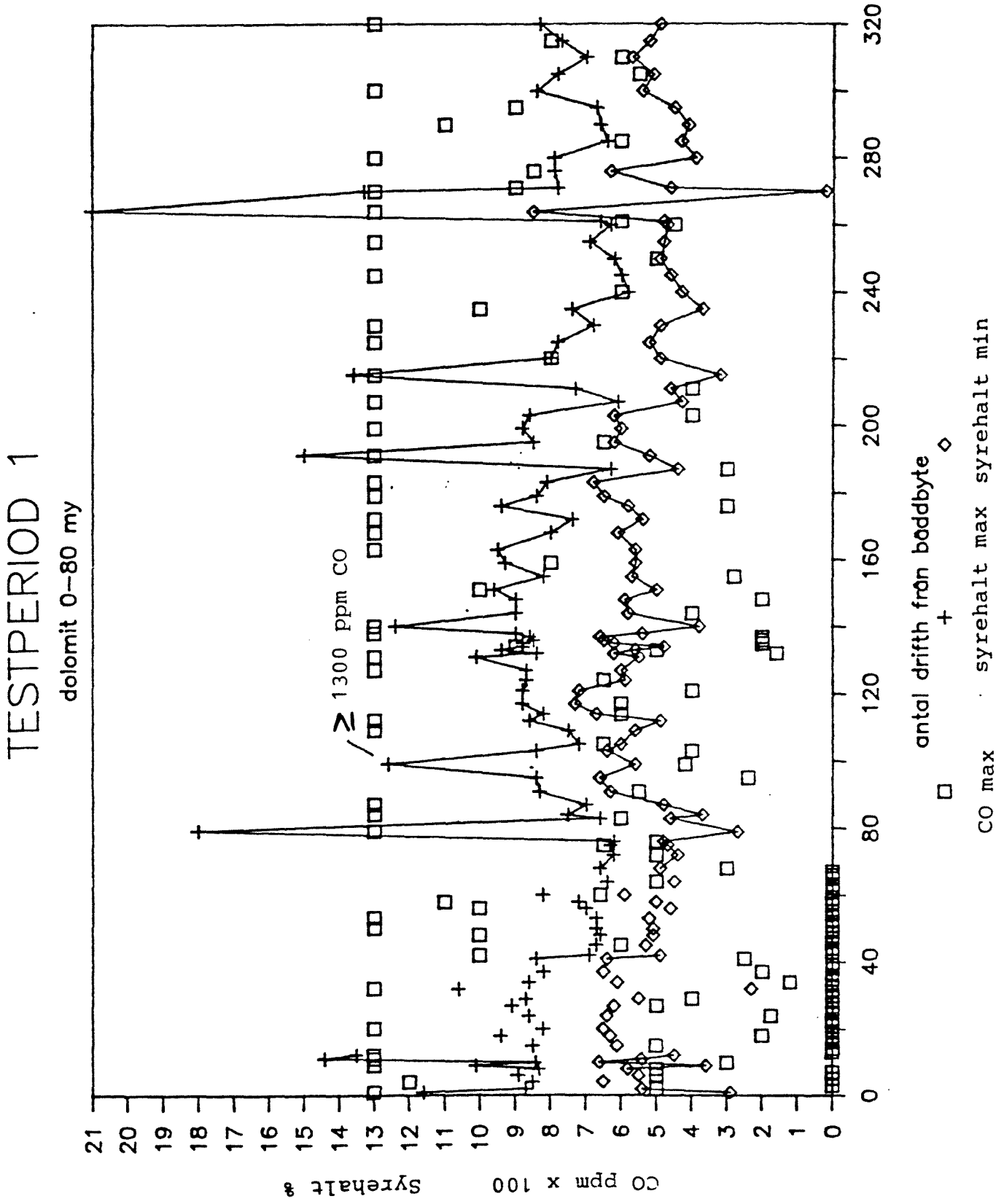
Figurbilaga 6

Plot av panneffekt, bränsletyp, temperatur i bädd, ovan bädd och i inlopp till konvektionsdel.
Plot of boiler effect, fuel type, temperature in bed, freeboard and in the inlet to the convection part.



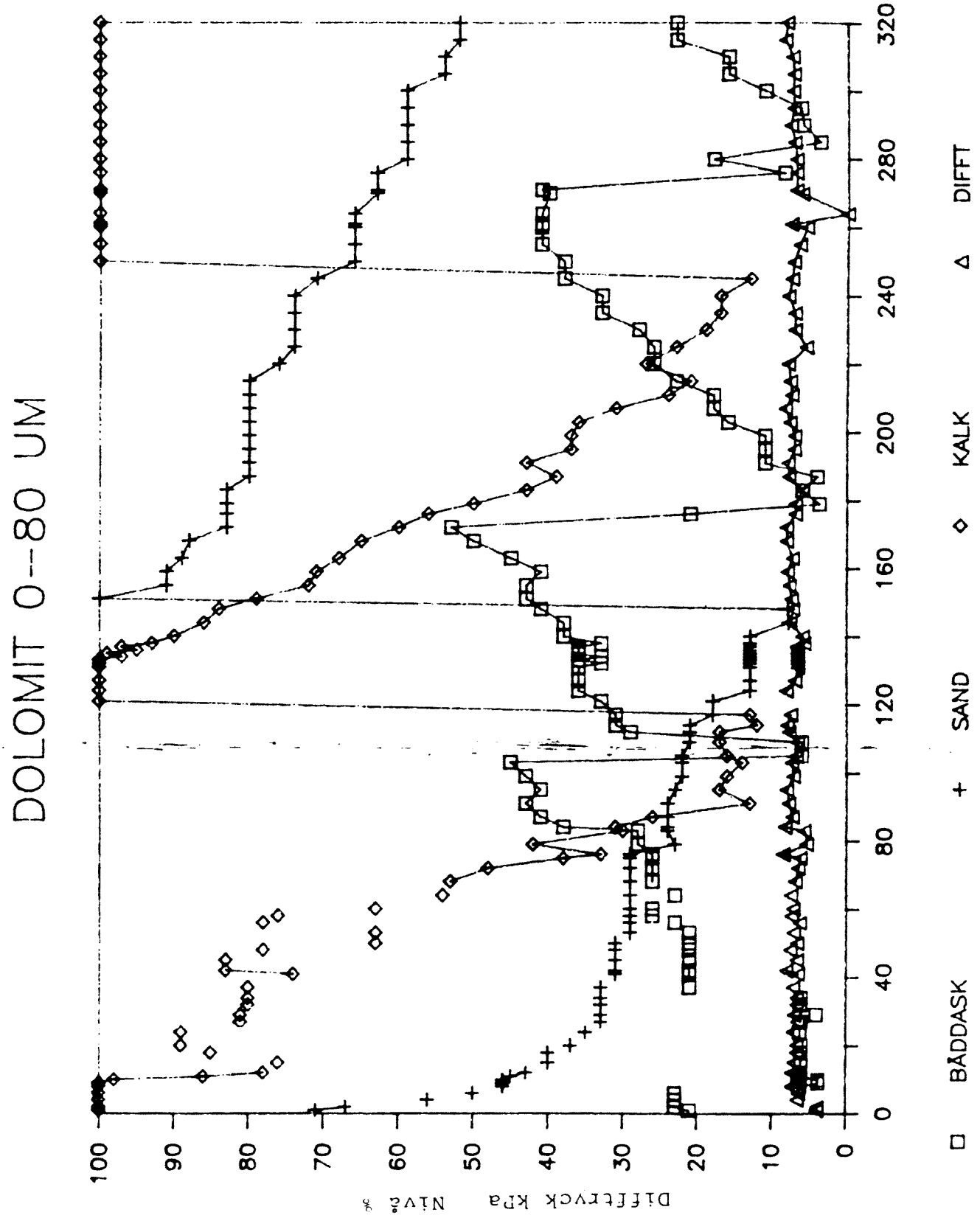
Figurbilaga 7

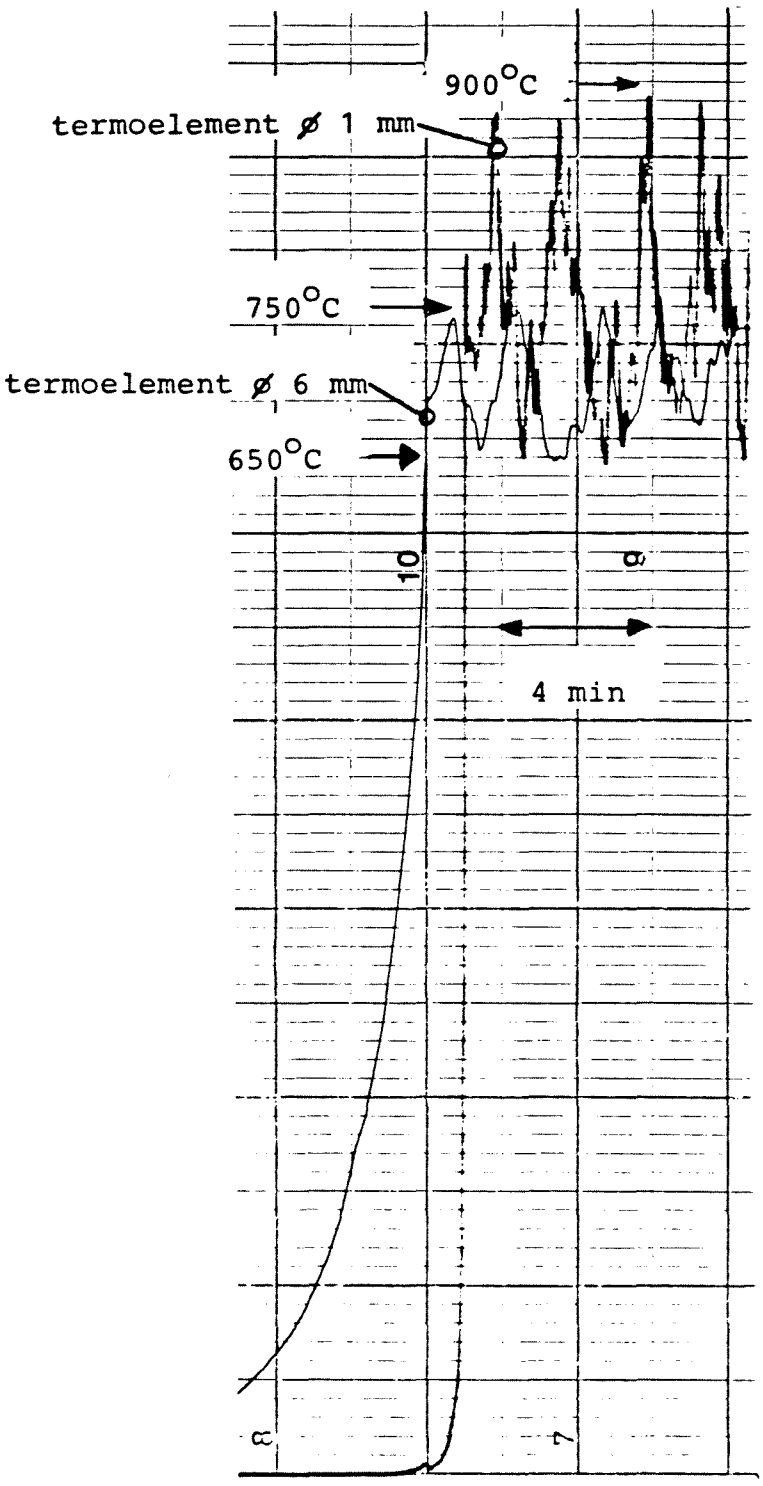
Plot av syrehalt (max- och minvärden) samt kolmonoxidhalt maxvärden i rökgas (entimmesvärden).
Plot of oxygen concentration (max and min value) and carbon monoxide (max value) in the flue gas (one hour values).



Figurbilaga 8

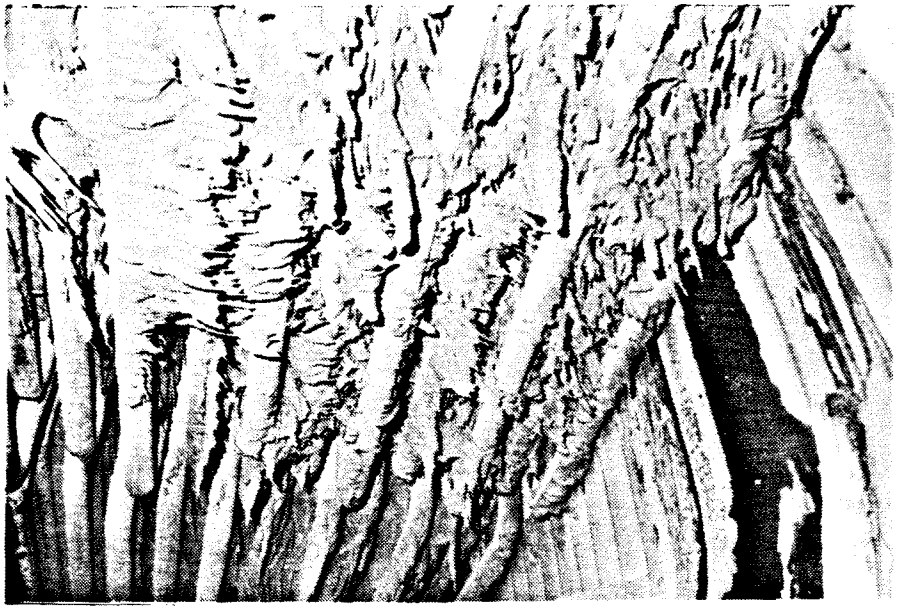
Plot av nivå i bäddasksilo, sandsilo, kalksilo och differenstryck över bädd.
Plot of level in bed ash silo, sand silo, lime-silo and differential pressure over the bed.

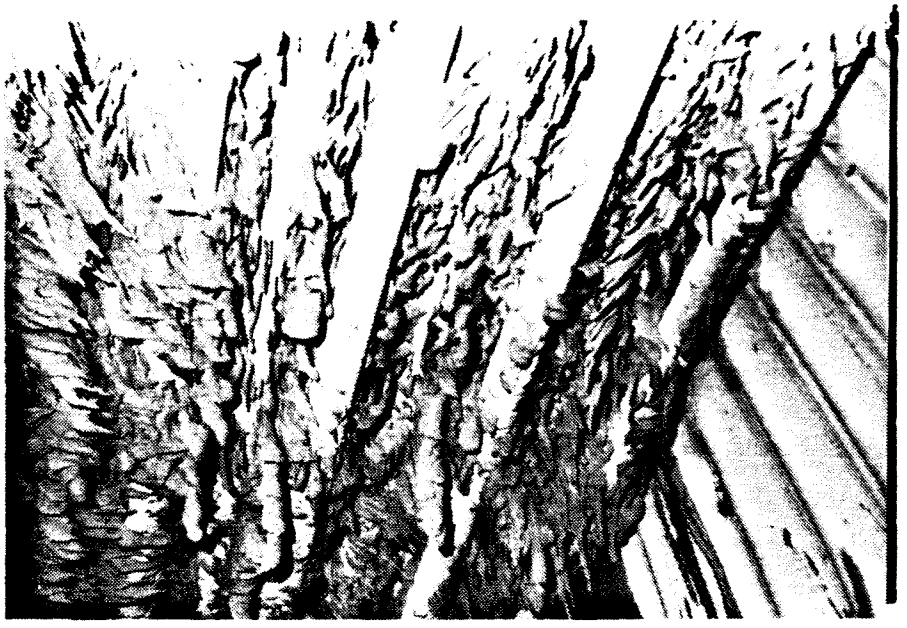




Figurbilaga 9

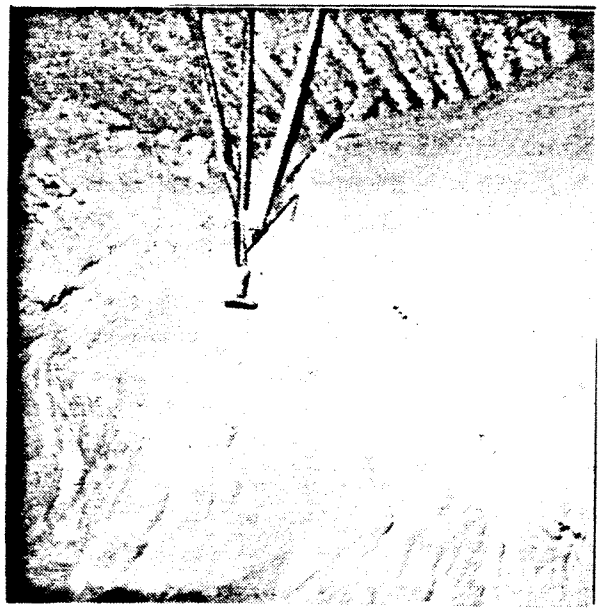
Registrering av rökgastemperatur i rökgasstråket, ca 3 m nedanför gittret, med termoelement med olika tjocklek.
Registration of flue gas temperatures in the first gas stand, 3 m below the gitter, with thermocouples of different diameter.

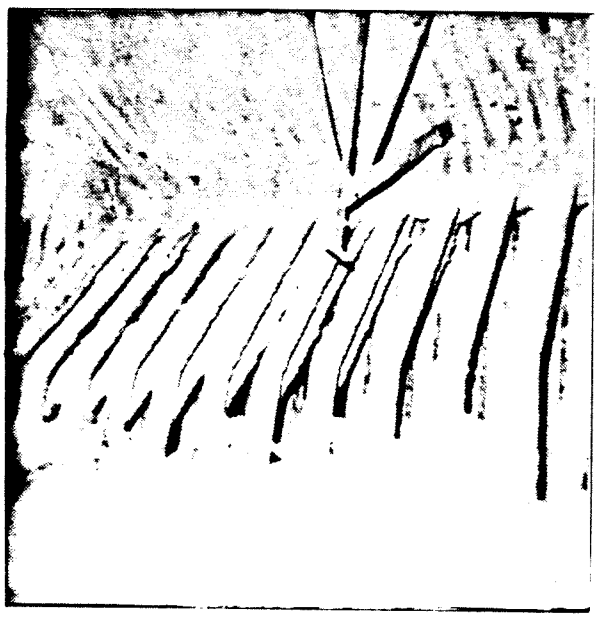




figurbilaga 10a

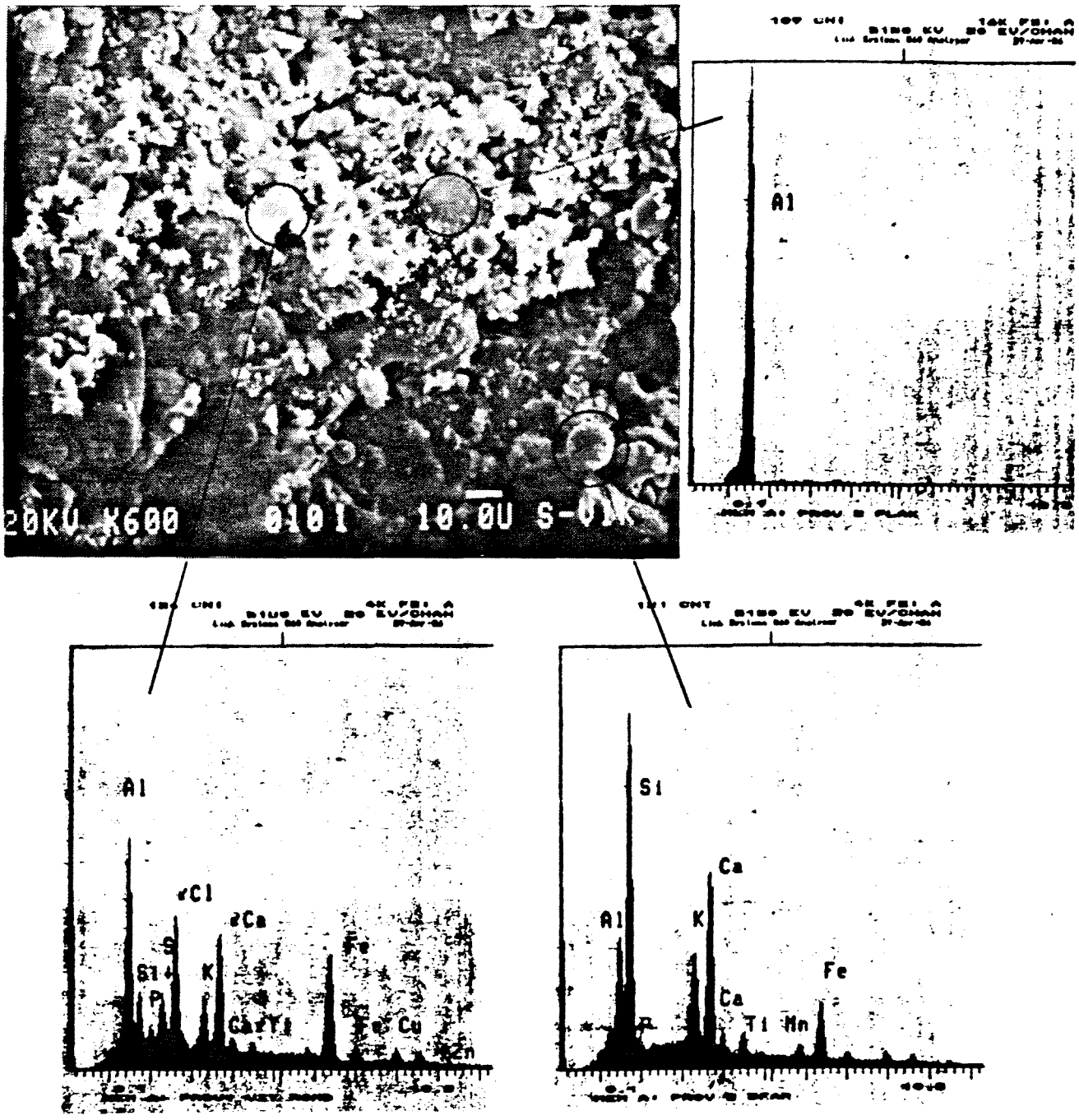
Typiskt utseende på beläggningen i 1:a konvektionsdelen efter 10 dygns drift (normal drift).
Typical appearance of deposits in the first convection part (normal operation).





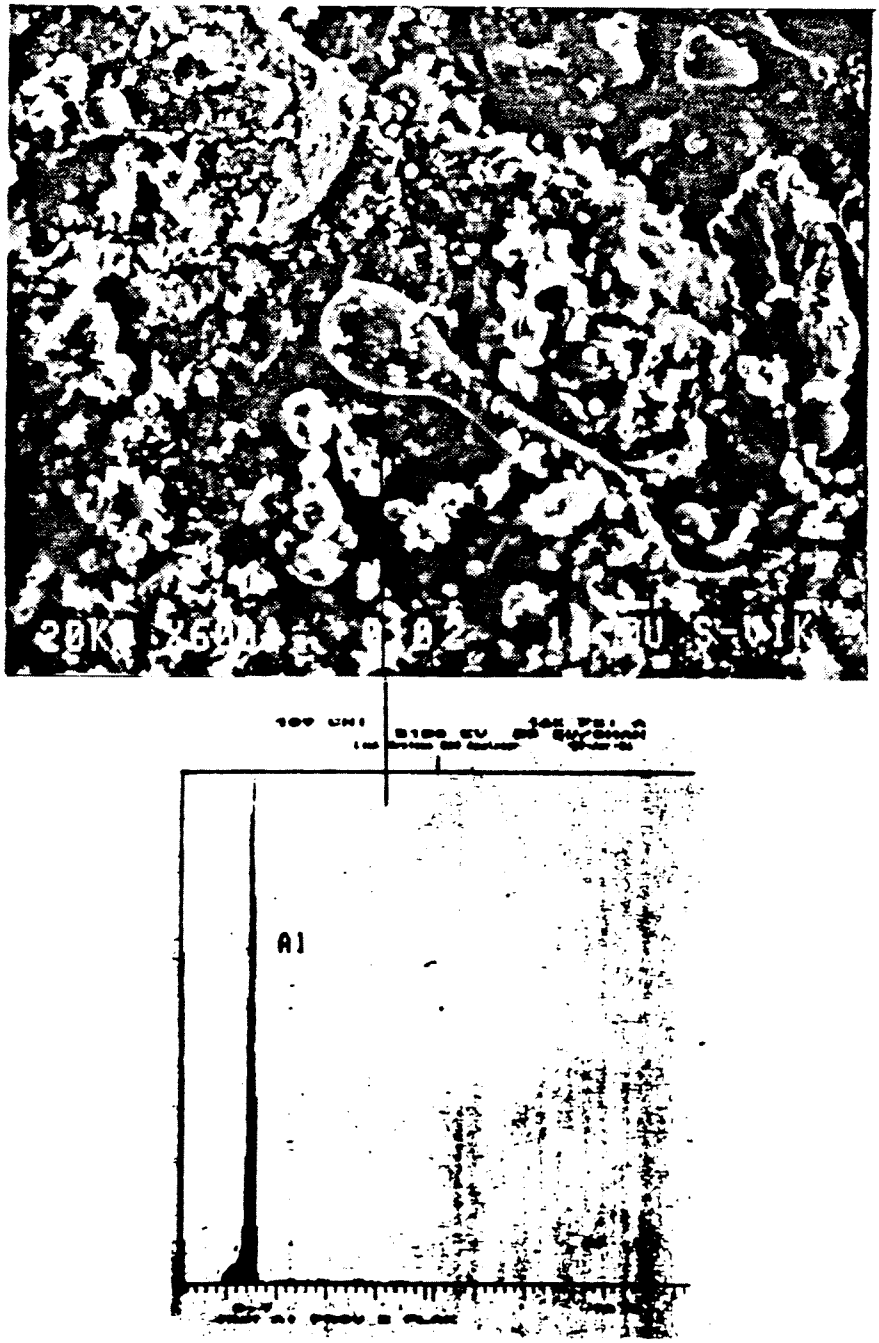
figurbilaga 10b

Typiskt utseende på gitterbeläggningar efter en veckas drift. Före och efter rensning (normal drift).
Typical appearance of deposits on the grid after one week of operation. Before and after cleaning (normal operation).



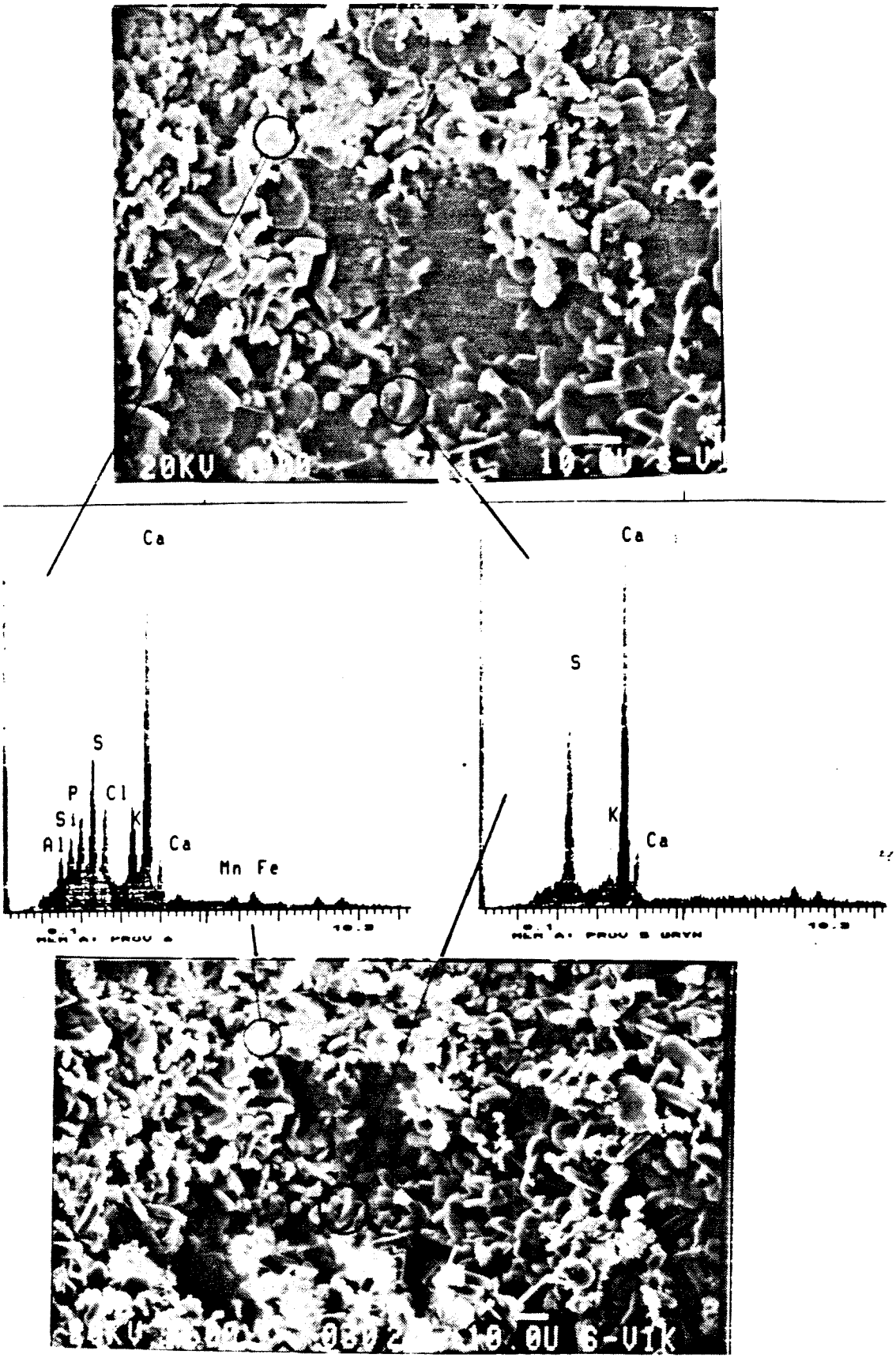
Figurbilaga 11

Svepelektronmikroskop (SEM) bild och elementanalys med energi-dispersiv röntgen (EDX) av lokala partier hos beläggningar från 2:a konvektionsdelen (yta intill tub, normal drift).
Scanning electron microscope (SEM) picture and analysis of elements with energy dispersive X-ray analysis (EDX) of local areas of deposits from the second convection part (surface close to tube, normal operation).



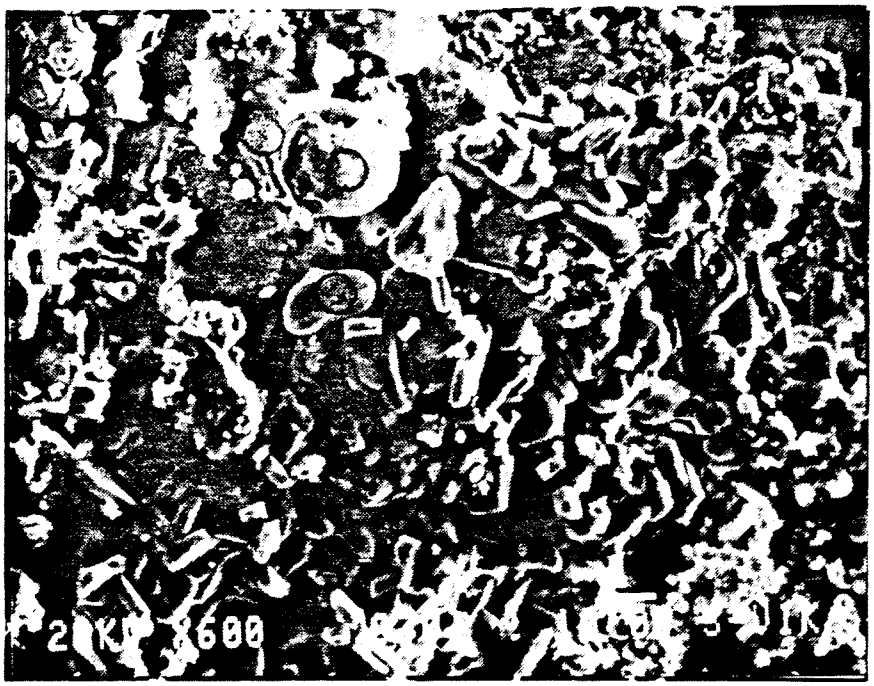
Figurbilaga 12

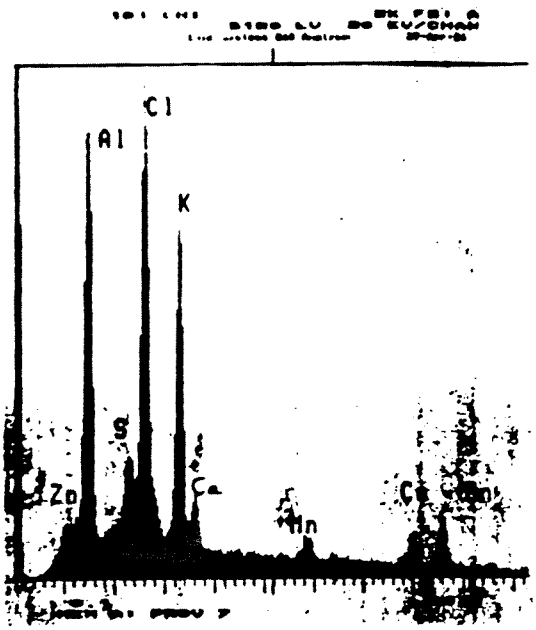
SEM-bild och EDX-analys av lokalt parti av beläggningar från 2:a konvektionsdelen (yta intill tub, normaldrift).
SEM-picture and EDX-analysis of local areas of deposits (surface close to tube) from the second convection part (normal operation).



Figurbilaga 13

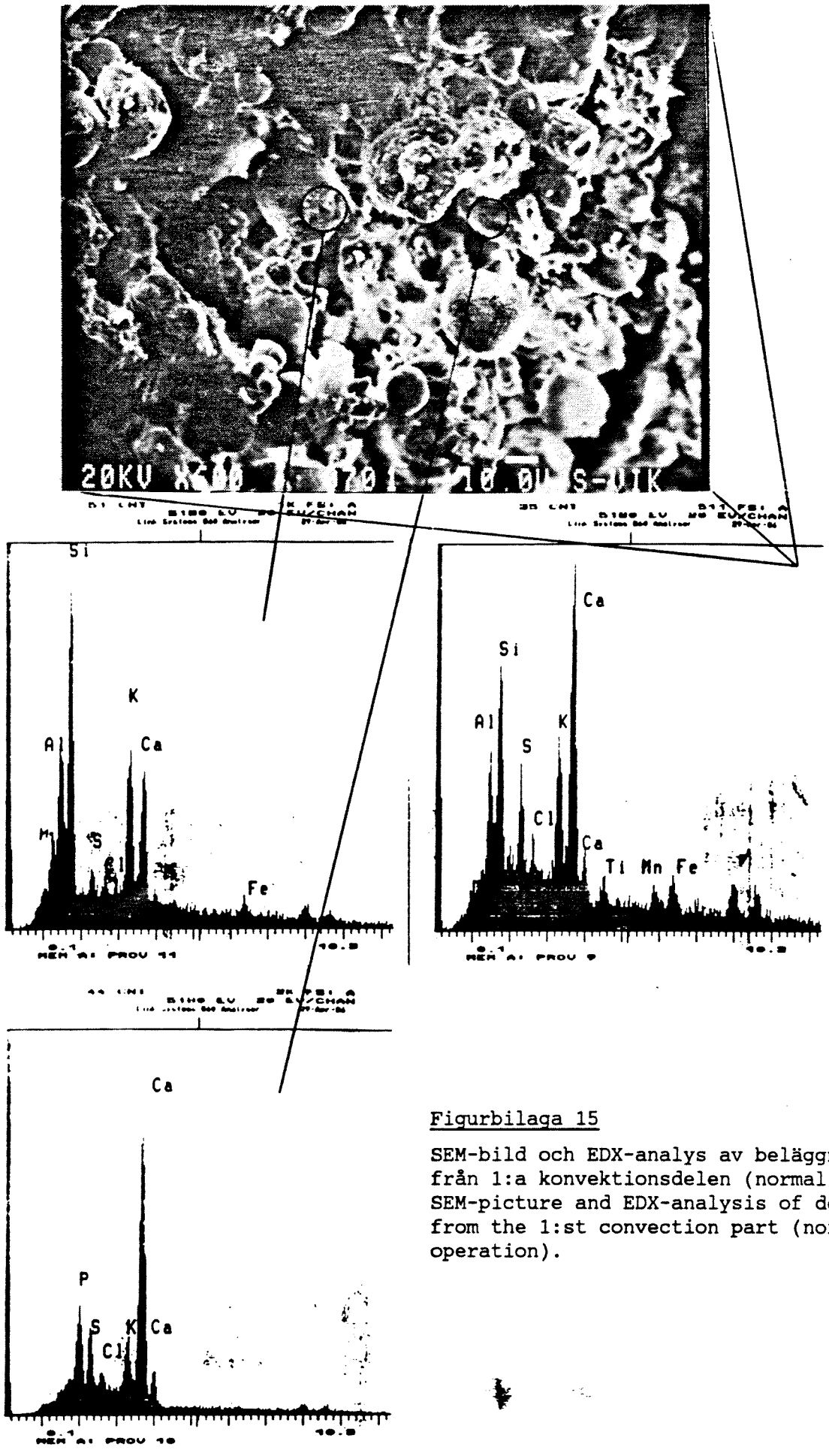
SEM-bild och EDX-analys av beläggningar från 2:a konvektionsdelen (normal drift).
SEM-picture and EDX-analysis of deposits from the second convection part (normal operation).





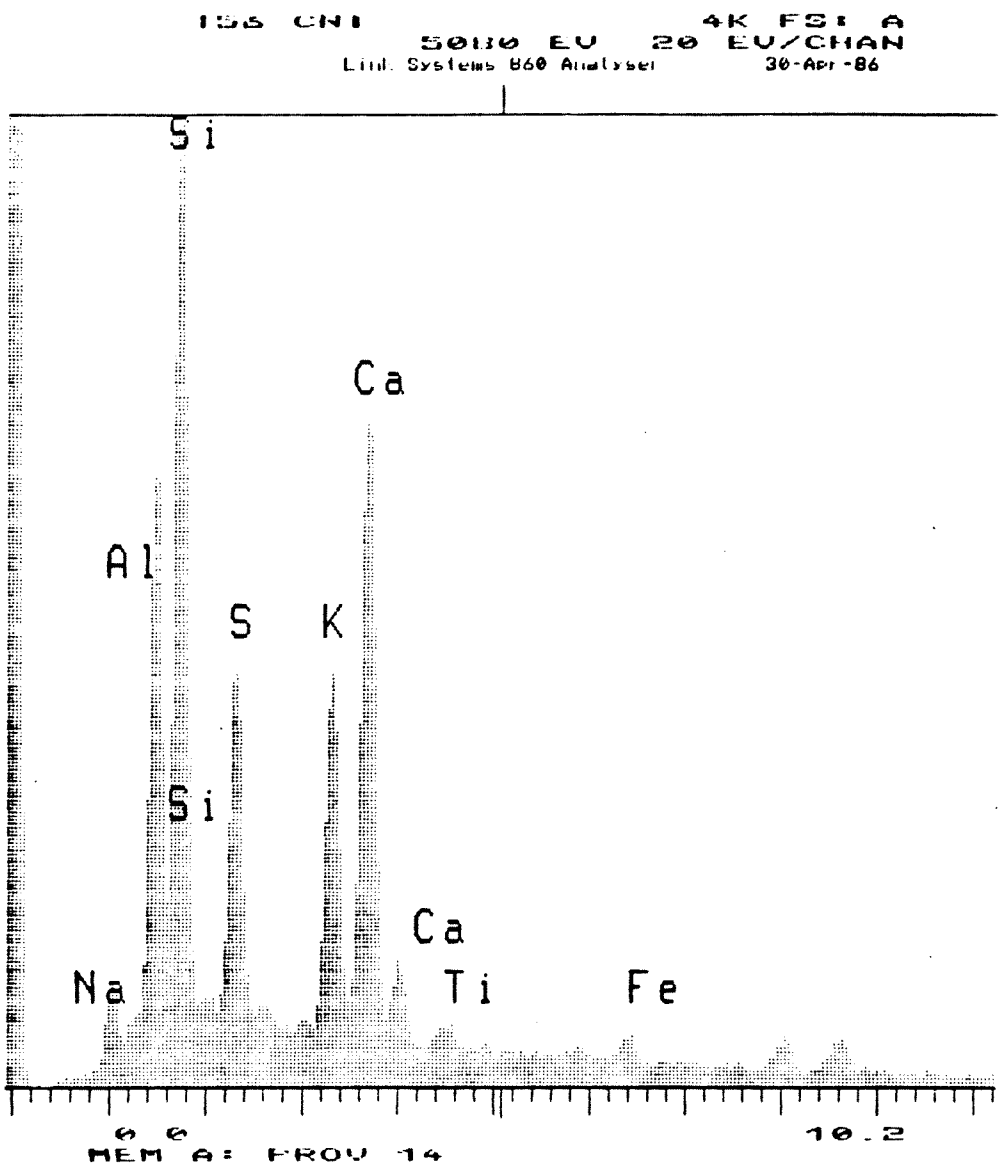
Figurbilaga 14

SEM-bild och EDX-analys av beläggningar från 2:a konvektionsdelen (normal drift).
SEM-picture and EDX-analysis of deposits from the second convection part (normal operation).



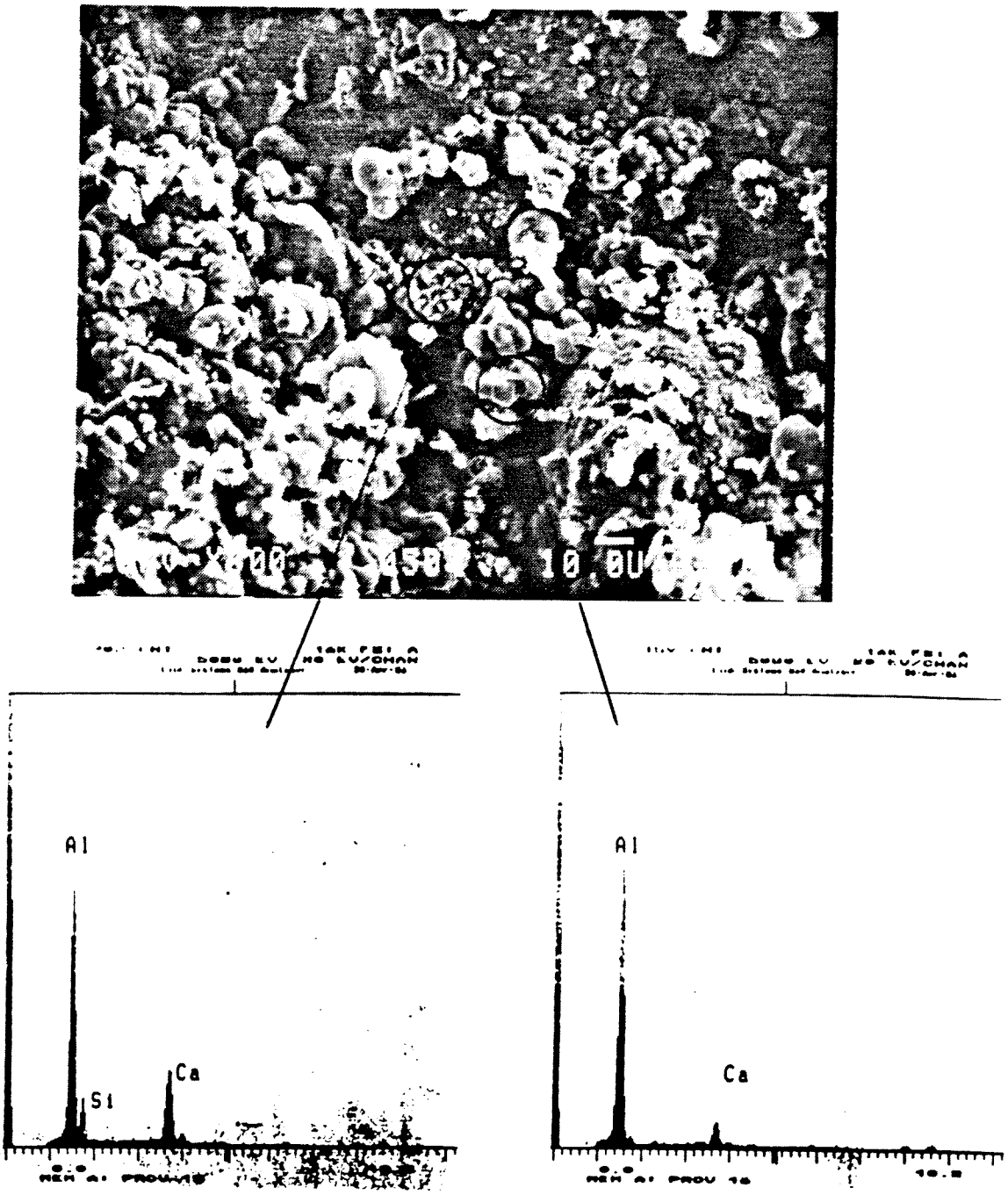
Figurbilaga 15

SEM-bild och EDX-analys av beläggningar från 1:a konvektionsdelen (normal drift).
SEM-picture and EDX-analysis of deposits from the 1:st convection part (normal operation).



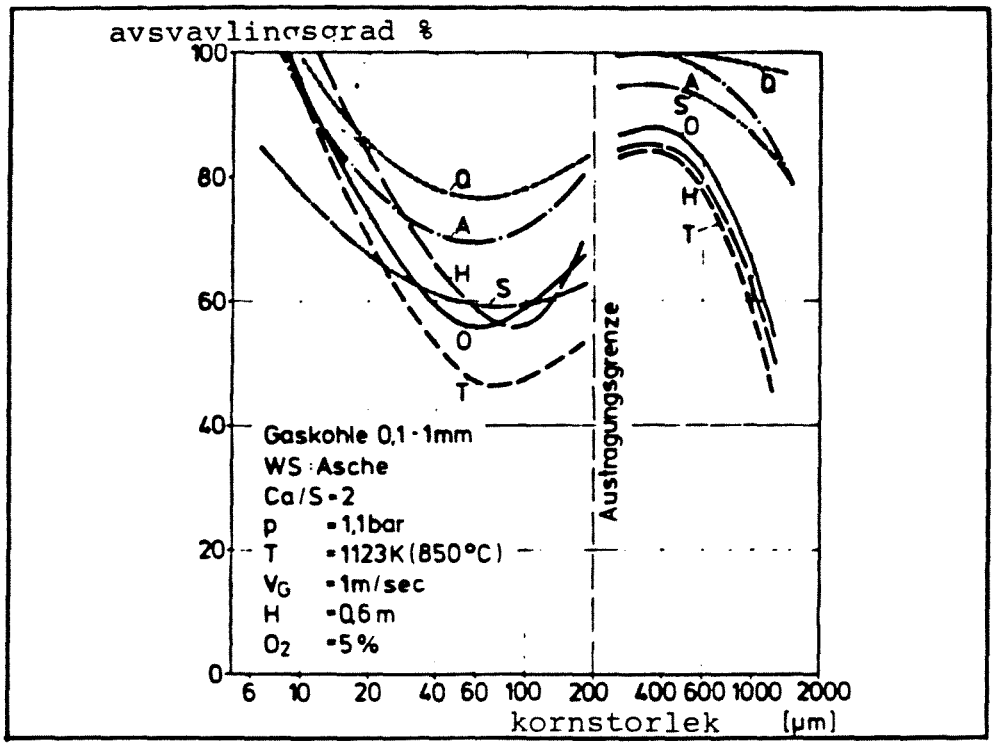
Figurbilaga 16

Elementanalys med energidispersiv röntgenanalys (EDX) av material från gitterbeläggningar den 19/2 (normal drift) översiktsanalys.
Analysis of elements with energy dispersive X-ray analysis (EDX) of material from the gitter deposits 19/2 (normal operation).



Figurbilaga 17

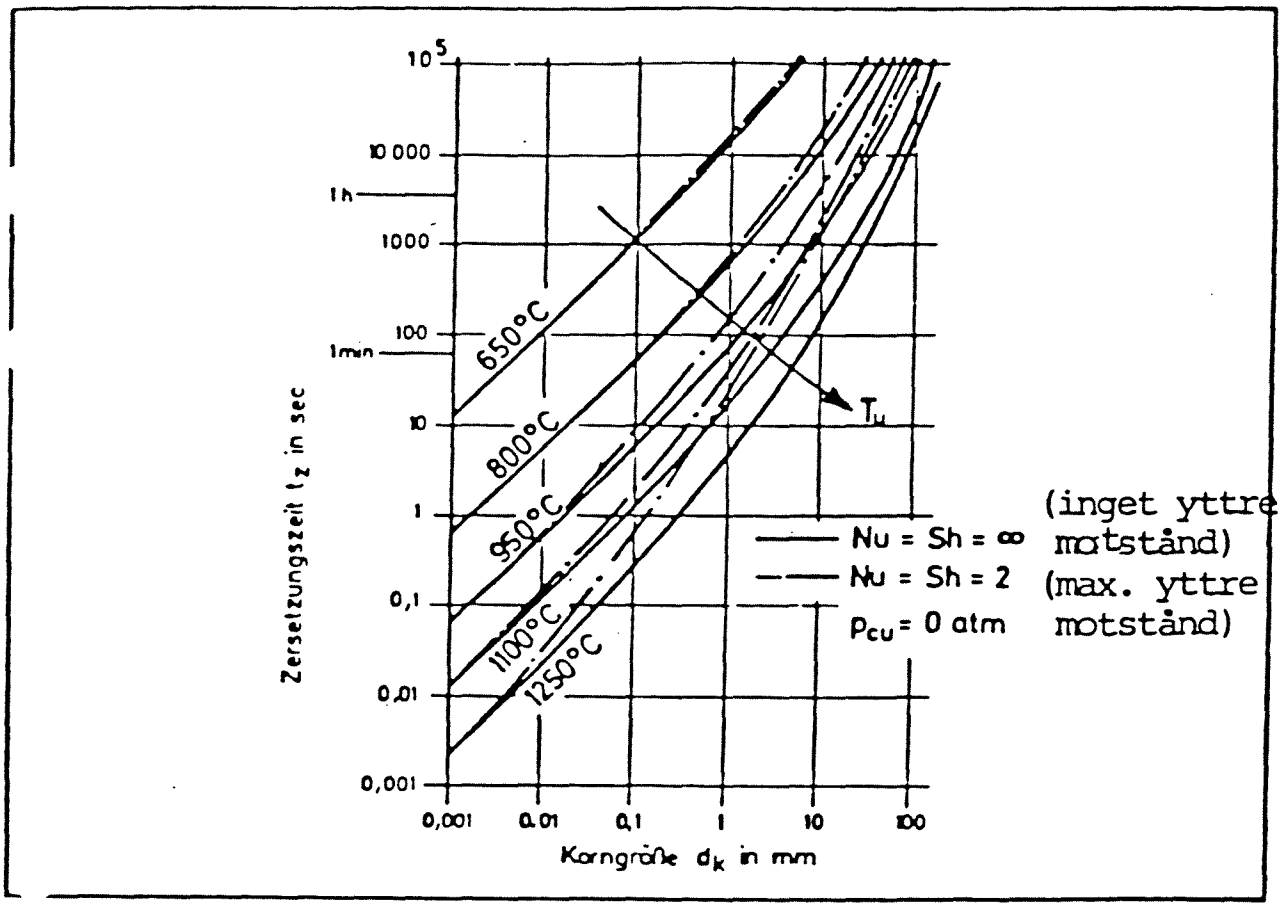
Svepelektronmikroskop (SEM) och EDX-analys av lokala partier i material från gitterbeläggningar den 19/2 (normal drift).
Scanning electron microscope picture (SEM) and EDX-analysis of local areas of material from gitter deposits (19/2).



Figurbilaga 18.

Avsvavlingsgrad som funktion av sorbenttyp (A,H,O,T =kalksten; S och Q =dolomit) och kornstorlek vid koleldning. (från referens 1)

Degree of sulphur reduction as a function of sorbent type and particle size.

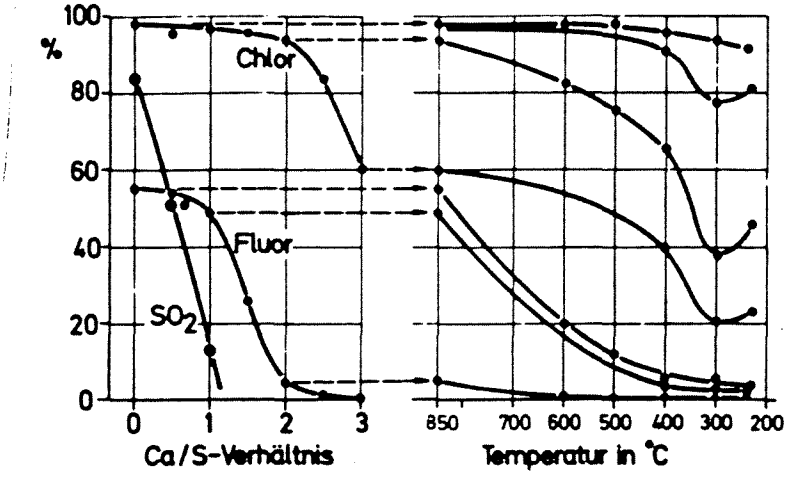


Beräknade kalcineringstider för finporig kalksten som funktion av temperatur och kornstorlek. Här betecknar T_u temperatur, Nu Nussels tal, Sh Sherwoods tal och P_{cu} trycket.

Figurbilaga 19

Kalcineringstid som funktion av partikelstorlek och temperatur.
Calcination time as a function of particle size and temperature.

återstående mängd % i avgas



primärreaktor/eldstad sekundärreaktor

temperatur 850°C

Figurbilaga 20.

Fluor, klor och SO_2 emission som funktion av Ca/S förhållande och temperatur i primär och sekundärreaktor.

Remaining amount of F,Cl and SO_2 as a function of Ca/S ratio and temperature in primary and secondary reactor.

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