

SUOMEN SOODAKATTILAYHDISTYS FINNISH RECOVERY BOILER COMMITTEE

Suomen Soodakattilayhdistys ry

Utveckling och användning av en korttidssond vid mätningar av överbäring i sodapannor

Åbo Akademi Niklas Vähä-Savo

25.9.2009

Raportti 5a/2009

16A0913-E0103

ÅBO AKADEMI TEKNISKA FAKULTETEN PROCESSKEMISKA FORSKNINGSCENTRET

Utveckling och användning av en korttidssond vid mätningar av överbäring i sodapannor

Niklas Vähä-Savo

Diplomarbetet i fackämnet oorganisk kemi har utförts vid Processkemiska Centret vid Åbo Akademi under handledning av Professor Mikko Hupa och TkD Patrik Yrjas

Sammandrag

Vähä-Savo, Niklas Kaj Tapani: Utveckling och användning av en korttidssond vid mätningar av överbäring i sodapannor.

Diplomarbete, Åbo Akademi, Tekniska fakulteten, Åbo 2009

Vid förbränning av svartlut i en sodapanna bildas det partiklar som följer med rökgaserna och bildar avlagringar på värmeöverföringsytorna. Dessa partiklar kallas för överbäringspartiklar. De existerande metoderna som används för uppskattning av överbäringsmängden är antingen dyra, inexakta eller tidskrävande mätningar.

Målet med diplomarbetet var att utveckla en okyld korttidssond med vilken överbäringsmängden i sodapannan enkelt kan uppskattas. Det antogs finnas ett samband mellan överbäringsmängden och antalet partiklar som fastnar på korttidssondens yta. För korttidssonden användes 2 m långa syrafasta stålrör. Den okylda korttidssonden omräknas till att motsvara den existerande luftkylda sondmetoden, så att avlagringstillväxthastighet angiven som mm/h erhålls, samt att det är möjligt att uträkna överbäringsmängden i g/Nm³. Lämplig exponeringstid för korttidssonden visade sig vara mellan 10 och 30 s, beroende på hur mycket överbäring det fanns i sodapannan. Under dessa mätningar användes 20 s mätningstid. Korttidssonden fotograferades och bilderna analyserades vidare med programmet ImageJ.

Omräkningsproceduren visade sig fungera och utgående från fotografierna var det möjligt att även uppskatta partikelstorleksvariationer. Det antogs att inga överlappande partikelträffar uppkommer, men utgående från bilderna kunde man dra slutsatserna att när täckningsgraden av partikelträffar närmar sig 50 % av sondens yta, förekommer det överlappande partikelträffar. Utgående från täckningsgraden och en uppskattad medeltjocklek för partikelträffarna var det möjligt att uträkna överbäringsmängden angiven som g/Nm³.

Sökord: Sodapanna, överbäring, svartlutsförbränning, avlagringstillväxt, kemikalieåtervinning

Abstract

Vähä-Savo, Niklas Kaj Tapani: Development and application of a short time probe for measuring carry-over in a recovery boiler

Masters Thesis in Chemical Engineering, Faculty of Technology at Åbo Akademi University, Åbo 2009

In combustion of black liquor particles are formed, which follow the flue gas flow and form deposits on heat-exchanging surfaces. These particles are called carry-over particles. The existing methods for estimating the quantity of carry-over in flue gas stream are either too expensive, inexact or too slow.

The main goal of this Master Thesis was to develop an uncooled short time probe that could easily be used for estimating the amount of carry-over in a recovery boiler. It was assumed that there is a connection between the amount of carry-over and amount of particles that stick to the surface of the short time probe. For the short time probe 2 m long stainless steel pipes were used. The uncooled short time probe method was converted to correspond to the existing air cooled probe method, so that it was possible to obtain the rate of the deposit growth in mm/h and also to calculate the amount of carry-over as g/Nm³. The suitable exposure time for the short time probe varied between 10 and 30 s, depending on the amount of carryover. During these measurements 20 s exposure time was used. The short time probe was photographed and the photos where analyzed with a program called ImageJ.

The conversion procedure was successful and from the analyzed photos it was also possible to estimate the particle size variations. It was assumed that no overlapping particle hits exist, but when the degree of coverage for particle hits increased to 50 % of the probe surface, overlapping particle hits appeared. With the degree of particle hit coverage and an assumed thickness for the particle hits it was possible to calculate the amount of carry-over in g/Nm³.

Keywords: Recovery boiler, carry-over, black liquor combustion, deposition growth, chemical recovery

Innehållsförteckning

S	ammar	ndrag		ii				
A	bstract			iii				
Ir	Innehållsförteckningiv							
F	örord			vi				
F	örteckr	ning ö	ver förkortningar och beteckningar	vii				
0	Drdlistaix							
1	Inle	Inledning 1						
2	Teo	ori						
	2.1	Frå	n ved till svartlut					
	2.2	Ker	Kemikalieåtervinning i ett sulfatmassabruk					
	2.3	Sod	apannan					
	2.3	.1	Sodapannans uppbyggnad					
	2.3	.2	Eldstadens olika delprocesser under svartlutsförbränning					
	2.3	.3	Alkaliångor, mellanstora partiklar och överbäring					
	2.3	.4	Avlagring, nedsmutsning och tilltäppning					
	2.3	.5	Kontroll av avlagringsmängden					
3	Exp	perim	entellt utförande					
	3.1	Inle	dning					
3.2 Förberedelser inför de egentliga mätningarna och bestämni		beredelser inför de egentliga mätningarna och bestämning av						
	mätningstiden							
	3.3	Mä	ningar vid massabruk A					
	3.4	Mä	ningar vid massabruk B					
	3.5	Mä	ningar vid massabruk C					
	3.6	Ana	lyser av fotografierna					
	3.6	.1	Bildbehandling					
	3.6.2		Analysering av bilderna med ImageJ					
4	Res	sultat						
	4.1	Are	a och täckningsgrad av överbäringspartiklar					

	4.2	Uträkning av partikelkoncentration angiven som g/Nm ³ utgående fr	ån resultat			
	erhå	rhållna med minutsonden				
	4.3	Kalibreringsbildserien	44			
	4.4	Partiklarnas storlek och deras procentuella andel samt area	50			
	4.5	Uträkning av överbäringspartiklarnas volym	53			
	4.6	Variationer av täckningsgraden på olika ställen på sondens yta och	som			
	funktion av olika exponeringstider					
	4.7	Sammanfattning av de erhållna resultaten	56			
5	S	lutsatser	58			
6	E	ventuell utveckling av minutsonden	60			
7	R	eferenser	61			
B	ilaga	A: Processdata från massabruk A	I			
B	ilaga	B: Mätningsplatserna vid massabruk A:s sodapanna	II			
B	ilaga	C: Processdata från massabruk B	III			
B	ilaga	D: Mätningsplatserna vid massabruk B:s sodapanna	IV			
B	ilaga	E: Processdata från massabruk C	V			
B	ilaga	F: Mätningsplatserna vid massabruk C:s sodapanna	VII			
B	ilaga	G: Exempel på hur ImageJ-resultat ser ut	VIII			
B	ilaga	H: Resultaten från de analyserade bildserierna	XII			
B	ilaga	I: Uträkning av g/Nm ³ utgående från minutsondens täckningsgrad	XIII			

Förord

Detta diplomarbete har utförts inom processkemiska forskningscentret vid Åbo Akademi åt Suomen Soodakattilayhdistys r.y. under hösten 2008 och våren 2009.

Jag vill tacka mina handledare TkD Patrik Yrjas och Professor Mikko Hupa för all hjälp, uppmuntran, feedback och goda råd de har gett åt mig under arbetets gång. Speciellt vill jag också tacka TkL Tor Laurén för hans hjälp under mätningskampanjerna i de tre massabruken och hans goda råd under hela arbetet.

Stort tack till personalen på de tre massabruken som besöktes och andra samarbetspartners som medverkat i projektet samt hela gruppen på oorganisk kemi vid processkemiska centret för all hjälp och uppmuntran.

Åbo, 2009 Niklas Vähä-Savo

Förteckning över förkortningar och beteckningar

AA	Aktiv Alkali
BIC	Boiler Inspection Camera, en kamera med vilken
	sodapannan kan inspekteras
CaCO ₃	kalciumkarbonat
CaO	kalciumoxid, bränd kalk
Ca(OH) ₂	kalciumhydroxid, släckt kalk
CO_2	koldioxid
dfg	dry flue gas (torrrökgas, rökgas som inte innehåller
	vattenånga)
EDXA	Energidispersiv röntgenanalysator
EA	Effektiv Alkali
H_2O	diväteoxid, vatten
ISP	Intermediate Size Particles, medelstora partiklar
mol	substansmängd
Medel	medelvärde
MPa	mega Pascal
Na ₂ CO ₃	natriumkarbonat
NaOH	natriumhydroxid
Na ₂ S	natriumsulfid
Na_2SO_4	natriumsulfat
Nm ³	Normal kubikmeter
NTP	Normal Tryck och Temperatur (P = 101325 Pa, T =
	273,15 K)
pH	logaritmiskt mått på surhet
SEM	Scanning Electron Microscope (svepelektronmikroskop)
STDV	standard deviation, standardavvikelse
T_{15} eller T_{STK}	Temperaturen där 15 % av en överbäringspartikel är i
	smulten fas, så kallad sticky temperature

T_{70} eller T_{RD}	Temperaturen där 70 % av en överbäringspartikel är i
	smulten fas, så kallad radical deformation temperature
TDS/d	Tons Dry Solids/dygn, lutinsprutningen räknas om till ton
	torrsubstans per dygn
wfg	wet flue gas (våt rökgas, rökgas som innehåller
	vattenånga)

Ordlista

Svenska aska avlagring brännlut bädd driftstopp eldstad elektrofilter, el-filter utsläpp förvärmare, ekonomaiser grönlut grönlutsslam indunstning kalcinering, kalkförbränning kalk kaustisering koksförbränning konvektionstub luftkyld sond medelstora partiklar mesaugn nässkärm primärluft pyrolys rökgas skärmtub sekundärluft släckare smältränna smältupplösare sodapanna sotblåsning svartlut tallolja tertiärluft tilltäppning torrhalt

Engelska ash deposit as-fired liquor bed stoppage, shutdown furnace electrostatic precipitator (ESP) emission economizer green liquor dregs evaporation calcining, lime reburning lime causticizing char burning convection tube air cooled probe intermediate size particles lime kiln bullnose primary air pyrolysis flue gas screen tube secondary air slaking smelt spout smelt dissolving tank recovery boiler sootblowing black liquor tall oil tertiary air blockage or plugging dry matter content

tuhka kerrostuma polttolipeä keko

seisokki

tulipesä

Finska

sähkösuodin ilmapäästö esikuumennin viherlipeä viherlipeäsakka haihdutus

kalsinointi, kalkinpoltto kalkki kaustisointi koksin palaminen konvektioputket ilmajäähdytetty sondi keskisuuret hiukkaset meesauuni nokka primääri-ilma pyrolyysi savukaasu verhoputki sekundääri-ilma sammuttaja sularänni sulaliuottaja soodakattila nuohoin musta lipeä mäntyöljy tertiääri-ilma tukkeuma kuiva-aine, kuivaainepitoisuus

vitlut viskositet överbäring överhettare white liquor viscosity carry-over superheater valkolipeä viskositeetti carry-over, tulistintukkeuma tulistin

1 Inledning

Ökade krav på ekonomisk vinst för industrin har lett till att massabruken förutom huvudprodukten, cellulosa, också säljer överskottsenergi i form av elektricitet och värme till energibolagen eller andra företag. För att nå maximal ekonomisk vinst försöker man minimera oplanerade driftsstopp. Vid driftsstopp utgörs den ekonomiska förlusten inte enbart av att fabriken står stilla, utan även av att det vid uppkörning av sodapannan krävs dyrbar brännolja som måste användas för att tända svartluten. En effektiv uppskattning eller mätning av överbäringsmängden och avlagringstillväxthastigheten förbättrar optimering av sotblåsningen (vilket minskar massabrukets ångförbrukning) och eventuellt minskar risken för tilltäppningar i överhettarregionen, vilket i värsta fall leder till oplanerade driftsstopp. De existerande metoderna för uppskattning eller mätning av överbäringsmängden är antigen för inexakta eller arbetsamma för att användas under normaldrift. Processkötarna på massabruket följer med vissa processparametrar för att uppskatta hur mycket avlagring som har fastnat på värmeöverföringsytorna. Dessa processparametrar är till exempel tryckskillnader inne i sodapannan, temperaturen hos rökgaser eller temperaturen hos den överhettade ångan och hur mycket vatten det behövs för att hålla ångtemperaturen konstant. Med den luftkylda sonden är det möjligt att mäta rätt så noggrant avlagringstillväxthastigheten i mm/h. Vidare är det möjligt att utgående från avlagringstillväxthastigheten, med vissa antaganden, räkna överbäringsmängden angiven som g/Nm³. Den luftkylda sondmetoden är dock för tidskrävande för att användas vid normaldrift, för mätningstiden varierar från 10 till 40 min. De olika metoderna för uppskattning av överbäringsmängden diskuteras närmare i kapitel 2.3.5 Kontroll av avlagringsmängden. Målsättningen med projektet var att få jämförbara mätresultat erhållna med luftkyld respektive okyld sond. Man har sett ett samband mellan överbäringsmängden och antalet partiklar som fastnar på ytan av en korttidssond (projektets egentliga namn är minutsondprojekt, så i kommande kapitlen används ordet minutsond istället för korttidssond). Meningen med projektet är att processkötarna på massabruket skall kunna göra en minutsondsmätning och jämföra sondens yta med den existerande kalibreringsbildserien och därmed kunna uppskatta överbäringsmängden i sodapannan. Under detta projekt besöktes tre massabruk under hösten 2008 samt våren 2009 och jämförande mätningar utfördes. Minutsondsfotografier analyserades med ett befintligt bildanalyseringsprogram, ImageJ. Ur de analyserade fotografierna erhölls information om bland annat hur stor partikelträffarnas täckningsgrad och partikelträffarnas storlek var. Analysering av bilderna var svår, då ImageJ endast kan tolka gråskalade bilder, vilket ledde till att bilderna måste behandlas med ett annat bildhanteringsprogram och omvandlas från färgskala till gråskala. Denna omvandling orsakade att vissa partiklar försvann och storleken på partiklarna var nödvändigtvis inte precis densamma som i originalfotografiet.

2 Teori

2.1 Från ved till svartlut

Förädling av ved till pappersmassa börjar med transport av virket till massafabriken. När virket har anlänt till massafabriken lagras det på vedgården innan barkningen. Tiden mellan skogsavverkningen och barkningen borde minimeras för att minska vedförluster [1]. Barkningen av ved är en balansgång mellan vedförlust och den accepterade mängden bark som lämnas kvar på stocken. Barken som lämnats på stocken kan störa kokningskemikaliernas kretslopp och massan som har barkrester kvar är svårare att bleka [2]. Efter barkningen flisas vedstockarna. Tjockleken på flisen avgör hur snabbt kokningskemikalien genomtränger flisen. Enligt Gullichsen m.fl. [3] orsakar variationer i flisens tjocklek varierande delignifiering av flisen under kokningen, vilket resulterar i en sämre massa. Det är svårt att producera flis med jämn tjocklek i industriell skala och därför sållas flisen. Flisen med tjockleken 2-6 mm accepteras medan för tjocka och för långa flis bearbetas på nytt och smalare än 2 mm förkastas [1].



Figur 1. Bild över sulfatmassabruk [4].

Kokning av flisen sker antingen i en satsvis eller en kontinuerlig kokare. Kokningskemikalien, som även kallas för vitlut, består av NaOH och Na_2S . Kemikalierna löses upp enligt följande reaktioner [5]:

 $NaOH \longrightarrow Na^{+} + OH^{-}$ $Na_{s}S + H_{2}O \longrightarrow 2Na^{+} + OH^{-} + HS^{-}$

I litteratur betecknas NaOH + Na₂S som mängden aktivt alkali (AA) och NaOH + $\frac{1}{2}$ Na₂S som effektivt alkali (EA). För framställning av sulfatmassa från barrträd krävs att mängden effektivt alkali är 12-15 % av massan torr ved och mängden Na₂S i aktivt alkali är minst 15 %. De exakta reaktionerna som sker under sulfatmassakokningen är inte helt utforskade, men det antas att HS⁻ reagerar med ligninet medan kolhydratreaktionerna beror på alkalinitet (OH⁻). Under kokningen löser sig ca 90 % av ligninet, 60 % av hemicellulosan och av 15 % cellulosan i kokningskemikalierna. Den använda kokningskemikalien, även kallad svartlut, innehåller förutom organiska föreningar också oorganiska föreningar som härstammar från träden, utrustningen eller processvattnet [6]. Ett schema över cellulosaframställningsprocessen framgår i Figur 1.

2.2 Kemikalieåtervinning i ett sulfatmassabruk

Efter kokningen separeras sulfatmassan och de använda kokningskemikalierna från varandra via tvättning. Torrhalten hos den separerade svartluten varierar mellan 12-20 % [7]. För att förbränning av svartluten i sodapannan skall vara möjlig krävs en torrhalt på minst 60 %. För att uppnå denna torrhalt avdunstas vatten från svartluten. Avdunstningen av vatten sker i indunstningsanläggningen av typen fallande-film-indunstare eller stigande-film-indunstare. Flera indunstare kopplas i serie till en så kallad flerstegsindunstningsanläggning, för att uppnå den önskade torrhalten med lägre mängd energi.



Figur 2. Bild över 6-stegs stigande-film-indunstningsanläggning.

Till en flerstegsindunstare matas färsk ånga in med trycket 0.3-0.4 MPa till den första indunstaren. Ångan som bildas i första indunstaren värmer upp följande indunstare. Ångan från den andra indunstaren värmer i sin tur upp följande. Från den sista indunstare matas ångan till en kondensator. Med en seriekopplad indunstningsanläggning uppnås en bättre verkningsgrad av indunstningen (Figur 2).

Talloljan är lättlöslig i svartlut med låg och hög torrhalt, men har ett löslighetsminimum när svartlutens torrhalt är ca 25-30 % [8]. Vid indunstningen börjar det bildas skum på svartlutens yta, vilket leder till att svartluten bör avskummas. Tallolja är en värdefull biprodukt som består av natrium- och kalciumsalter av fett- och hartssyror. Om talloljan lämnas kvar i svartluten orsakar det bland annat att beläggningar bildas på ytorna inne i indunstaren. Detta försämrar värmeöverföringen mellan ångan och svartluten, samt ökar avloppets toxicitet och sodapannans svavelutsläpp [10].

Med stigande-film-indunstningsanläggningar nås en torrhalt på ca 48-52 % [8]. En högre torrhalt är omöjlig att uppnå med en stigande-film-indunstare på grund av ökad risk för

stockning i indunstaren. För att uppnå en högre torrhalt krävs det indunstare som inte är känsliga för stockningar och som klarar av att hantera viskösare vätskor, till exempel fallande-film-indunstare. När svartlutens torrhalt stiger över 60 % ökar svartlutens viskositet snabbt. Svartlut med hög torrhalt och hög viskositet orsakar inte enbart problem i indunstningen utan även i pumparna och sprutningen av svartluten i sodapannan. Det har dock visat sig att en ökning av svartlutens torrhalt höjer temperaturen i sodapannan, vilket leder till att svaveldioxidutsläppen minskar och hetare ånga kan produceras i sodapannan [11]. Under de senaste 20 åren har svartlutens torrhalt stigit från ca 65 % till närmare 85 %. Med modifierade fallande-film-indunstare nås torrhalter på upp till 85 %. Före den sista indunstaren blandas sulfataska från sodapannas elektrofilter och ekonomiser drag (Figur 5) till svartluten. Askan blandas med svartluten före sista indunstningen, eftersom svartlutens viskositet ökar efter sista indunstningen, vilket leder till att det är svårt att blanda svartluten och askan. För att kunna pumpa svartlut med hög torrhalt måste svartluten uppvärmas, för att få viskositeten att sjunka. Den uppvärmda svartluten mellanlagras i en tryckbehållare före insprutning i sodapannan, för att hålla viskositeten på acceptabel nivå [7]. En annan metod för att minska svartlutens viskositet är att värmebehandla svartluten i 165-185°C i ca 30 min när den nått en torrhalt på ca 45 %. Värmebehandlingen leder till att de långa lignin- och hemicellulosakedjorna depolymeriseras, vilket leder till att viskositeten minskar märkbart och hantering av svartlut med högre torrhalt blir lättare [8]. Efter sista indunstningen har svartluten en torrhalt på 75-80 %. Den värmebehandlade svartluten kan mellanlagras i atmosfäriskt tryck. Enligt Llamas m.fl. [12] kan viskositeten minskas märkbart med hjälp av tillsatskemikalier som bryter ner de långa molekylkedjorna i svartluten. Efter indunstningen överförs svartluten till en blandningsbehållare. Till den värmebehandlade svartluten tillsätts sulfataskan från sodapannan och tillsatskemikalien, Na₂SO₄, först när svartluten har nått den önskade torrhalten. Svartluten i blandningsbehållaren kallas för brännlut och sprutas in i sodapannan och bränns till grönlut. Sodapannans uppbyggnad och funktioner behandlas närmare i nästa kapitel (2.3 Sodapannan).

Smältan rinner ut ur sodapannan via en smältränna till smältupplösaren. Den upplösta smältan kallas för grönlut och består huvudsakligen av Na₂CO₃ och Na₂S, men innehåller också olösliga partiklar som består av järnsalter, obränt kol och diverse andra partiklar. Dessa olösliga partiklar, även kallade grönlutslam, måste separeras från grönluten innan kaustiseringen. Separeringen av grönlutslammet från grönluten sker via sedimentering eller filtrering. Efter separeringen tvättas grönlutslammet och filtreras. Filtratet matas tillbaka till smältupplösaren [9]. Den renade grönluten och kalk (bränd kalk från mesaugnen samt tillsatskalk; CaO) matas till släckaren. I släckaren reagerar kalken med vattnet och bildar släckt kalk; Ca(OH)₂. Kaustiseringsreaktionerna börjar i släckaren där två tredjedelar av grönluten reagerar med släckt kalk till vitlut enligt följande:

 $CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$ $Na_2CO_3 + Ca(OH)_2 \rightarrow 2NaOH + CaCO_3$



Figur 3. Vitlutsframställning och kalcinering [7].

Från släckaren separeras mesan (CaCO₃) och kalkslammet, som består av oreagerad grönlut, vitlut och Ca(OH)₂. Från mesan utvinns svag vitlut genom tvättning och filtrering. Svagvitluten matas tillbaka till smältupplösaren. Kalkslammet rinner vidare

till kaustiseringen där resten av grönluten reagerar med kalken. Efter kaustiseringen separeras kalkslammet och vitluten via sedimentering och filtrering. Vitluten pumpas till en vitlutsbehållare för att användas på nytt i fliskokningen medan det separerade kalkslammet tvättas och filtreras. Filtratet matas tillbaka till smältupplösaren. Efter filtreringen torkas kalkslammet ytterligare genom mekanisk och termisk avvattning. Den termiska avvattningen sker i matningsändan av den roterande mesaugnen. För att avvattningen skall bli effektivare finns det hängande järnkedjor inne i mesaugnen som förbättrar värmeöverföringen mellan omgivningens temperatur och kalkslammet. Efter avvattningen uppvärms kalkslammet till kalcineringstemperaturen, ca 820°C. I kalcinering avlägsnas koldioxid från kalkslammet och det återbildas bränd kalk enligt följande reaktion [9]:

 $CaCO_3 + \Delta H \rightarrow CaO + CO_2$

Den brända kalken avkyls, sållas och krossas samt transporteras till släckaren för att återanvändas (Figur 3).

2.3 Sodapannan

Sodapannans främsta uppgift är att bränna bort den organiska delen av svartluten så att kokningskemikalierna kan återanvändas. Från förbränningen kan ånga och energi utvinnas för massabrukets behov. Sodapannan är den dyraste enheten på ett sulfatmassabruk och optimering av förbränningsprocessen är svår. Vid konstruktion och drift av sodapannor måste man bland annat minimera utsläppen av skadliga rökgaskomponenter, se till att natriumsulfid inte oxideras tillbaka till natriumsulfat och att överhettarna inte täpps till på grund av överbäring. Dessutom finns det risk för vattenexplosion.

2.3.1 Sodapannans uppbyggnad

Nedre eldstadens väggar är konstruerade av rör av kompositmaterial för att skydda sodapannan mot korrosion. Väggarna kallas även eftersom vattenväggar för vatten cirkulerar inne i dem. Det förvärmda vattnet kyler ner väggarna och vattnet evaporeras till ånga som används i överhettarna för att producera överhettad ånga. I övre delen av eldstaden används rör av kolstål, på grund av att korrosionen är mindre ovanför bädden. Sodapannans konstruktion är gastät förutom öppningar för lutinsprutningen, smältrännor och tillförsel av förbränningsluften. Öppningarna konstrueras antigen genom att böja rören åt sidan eller inåt. Primärluftöppningar finns på pannans varje vägg och befinner sig nära eldstadens botten. Primärluftens uppgift är att trycka bädden bort från sodapannans väggar och upprätthålla god temperatur i bädden. Primärluftmängden måste justeras så att natriumsulfid inte oxiderar till natriumsulfat i närvaro av överskottssyre. Sekundärluftnivån finns ovanför primärluftnivån och dess öppningar finns antingen på varje vägg eller på två motsatta väggar beroende på sodapannans konstruktion. Med sekundärluften kontrollerar man bäddens höjd samt åstadkommer förbränning av gaser som stiger från bädden. Både primärluft och sekundärluft befinner sig under lutinsprutningen. Lutinsprutningen kan variera från en lutspruta på ena väggen till flera lutsprutor på varje vägg och på olika höjder. Det finns olika typer av lutsprutor, men de två vanligaste är lutspruta med en fördelningsplatta i munstycket eller en lutspruta med virvelkonsmunstycke. Oberoende av vilken typ av lutspruta sodapannan har är det viktigaste att åstadkomma en spridning av luten så att dropparna blir av lämplig storlek. Ovanför lutinsprutningen finns tertiärluftnivån. Tertiärluftens uppgift är främst att förbränna förbränningsgaserna som stiger från bädden. Primärluften och sekundärluften värms med vattnet från förvärmaren så att bädden inte kyls ned av luftströmmarna. Tertiärluften kräver inte någon förvärmning.[13, 14] (Figur 4).



Figur 4. Schematisk bild av sodapannans nedre del [13].

Överhettarna i sodapannans övre del skyddas från bäddens värmestrålning med nässkärm eller skärmtuber eller både och. I överhettarna överhettas vattenångan via värmeöverföring av de heta rökgaserna så att ångan får en högre temperatur än vad som motsvarar ångbildningstemperaturen vid det rådande trycket. Eftersom rökgastemperaturen efter överhettarna kan vara upp till 600°C, sker förångning av vatten konvektionstuberna, befinner efter överhettarregionen. Efter i som sig konvektionstuberna sjunker rökgasernas temperatur till 350-450°C. Rökgaserna passerar förvärmaren där vattnet uppvärms innan det matas in till vattenväggarna [14] (Figur 5).



Figur 5. Schematisk bild över sodapannan [13].

2.3.2 Eldstadens olika delprocesser under svartlutsförbränning

Lutsprutans munstycke sprider ut lutströmmen på en vidsträckt yta som sönderdelas till små droppar. Enligt Vakkilainen och Holm [15] påverkar en ändring av svartlutens torrhalt inte viddbildningen som sker vid lutinsprutningen. Hupa m.fl. [16] har undersökt de tre olika skedena i förbränning av svartluten: torkning, pyrolys och koksförbränning. Under torkningen avdunstas vatten från svartluten. Svartlutdroppens temperatur under torkningen stiger upp till 200°C. Redan vid slutet av torkningsskedet börjar de lättflyktiga gaserna avlägsna sig från svartluten. Under pyrolysstadiet ökar svartlutdroppens temperatur till ca 800°C och de avgående gaserna förbränns med en synlig låga. Svartluten sväller avsevärt under pyrolysstadiet. Tiden som krävs för torkning och pyrolys av svartlutsdroppen beror på värmeöverföringen mellan omgivningen och droppen. Det betyder att när temperaturen inne i sodapanna ökar sker dessa två steg snabbare. Under koksförbränningen förbränns det kvarblivna kolet bort och svartlutdroppens temperatur stiger ytterligare till över 1000°C, samtidigt som den uppsvullna droppens diameter minskar. Koksförbränningens hastighet beror på mängden syre som tillförs partikelns yta. Efter att allt kol har bränts bildas det en oorganisk droppe i smulten form som faller till bädden. Hupa m.fl [16] konstaterade också att, förutom temperaturen inne i sodapannan, så har även droppstorleken stor betydelse för hur länge de olika förbränningsstadierna räcker (Figur 6).



Figur 6. Förbränning av svartlut med torrhalt 60 % i 800°C luft [17].

Frederick m.fl. [17] har undersökt vad som påverkar svartlutens uppsvällning och vad det har för inverkan inne i sodapannan. I undersökningen kom det fram att med ökad torrhalt sväller svartlut från barrträd mera än den från lövträd, samt att högre temperatur och ökad syremängd minskar svällningen av svartluten. Högre torrhalt ökar bäddens temperatur, vilket leder till mindre SO_x -utsläpp och högre reduktionsgrad av natriumsulfat till natriumsulfid [8].

2.3.3 Alkaliångor, mellanstora partiklar och överbäring

Med alkaliångor menas förångade alkalimetaller och alkaliångorna har en partikeldiameter på 0,1-1 μ m [13]. När temperaturen sjunker kondenseras alkaliångor till droppar i vätskeform. Dessa små droppar kan agglomerera till större droppar och bilda partiklar i fast form som har storleken 20-30 μ m. Vid temperaturer under 550°C blir kondenserade alkaliångor till hårda partiklar som inte klibbar ihop, utan partikelstorleken ökar via sintring. Största delen av kondenserade alkaliångor uppfångas av elektrofilter [14].

Mellanstora partiklar (Intermediate size particles, ISP) är partiklar som härstammar från agglomerering av alkaliångor och fragment av lutdroppar, vars diameter är mindre än 1 mm, som slängs ut under pyrolysstadiet. Enligt Kauppinen m.fl [18] kan de mellanstora partiklarna delas i fem olika grupper utgående från deras uppkomst.

- 1. Agglomererade partiklar, vars diameter är 0.3 ± 0.7 µm, som bildas vid kondensation av alkaliångor. Dessa partiklar bildas via avlagring och sintring på värmeöverföringsytor.
- Större sintrade partiklar, vars diameter är 30±250 μm, som bildas vid kondensation av alkaliångor. Dessa partiklar avlägsnas från värmeöverföringsytor med sotblåsning.
- Sfäriska partiklar med diametern 5±100 μm är porösa och innehåller rikligt med kalium. Dessa partiklar tros härstamma från restförbränning av svartlut.
- Täta sfäriska partiklar med diametern 5±250 μm som innehåller rikligt med natrium och kalium, men saknar klor och kol. Dessa partiklar fastnar på överhettarytor.

5. Grova oregelbundna partiklar vilka är 3±40 μm i diameter samt innehåller kisel, kalcium och kan innehålla magnesium. Antagligen uppstår dessa partiklar från svartlutens orenheter.

Exakta mekanismer för uppkomst och mängden medelstora partiklar i sodapannan är dock till en del okända. Oftast klassas inte ISP-partiklar skilt, utan klassas tillsammans med överbäringspartiklar

Överbäringspartiklar är antingen förbrända partiklar som sveps bort från bäddens yta eller partiklar som fastnar i rökgaserna under förbränning, när lutdroppen ökar i storlek och minskar i densitet[13]. Diametern på lutdropparna som bildas vid insprutningen varierar, vilket påverkar i vilket skede av förbränningen dropparna når bädden eller om det bildas överbäring. Stora droppar kan nå bädden under torkningsskedet och små droppar kan nå bädden i smältform, vilket inte är önskevärt. Det optimala är att dropparna når bädden under koksbränningen (Figur 7). Svartluten som sväller upp mera har tendensen att brinna snabbare, medan små droppar oftast bildar överbäring [17].



Figur 7. Banor av svartlutsdroppar inne i sodapannan [13].

Största inverkan på överbäringen har rökgashastigheten i sodapannan, hur lång tid de olika förbränningsskedena tar och hur mycket svartlutdroppen sväller under pyrolysstadiet. Vid högre torrhalter ökar bäddens temperatur och mängden vatten som måste avdunstas minskar. Detta leder till att torkning och pyrolys av svartlut sker snabbare och rökgashastigheten minskar inne i sodapannan, eftersom vattenavdunstningen minskar [11,19] (Figur 8).



Figur 8. Inverkan av rökgasens hastighet och droppdiametern på lutdroppars banor [19].

Hyöty och Ojala [20] utförde experiment i Rosenlews massabruk där svartlut med 80 % torrhalt förbrändes i sodapannan. Utgående från sondmätningar och analys av flygaska minskar överbäringen medan mängden alkaliångor ökar vid hög torrhalt.

Om primärluftsflödet är för stort eller om sekundärluftströmmarna från motsatta väggar träffar varandra kan detta orsaka konvektion (Figur 9). Obränt material som sveps bort från bädden och den insprutade luten kan fastna i konvektionsströmmen. När förbränningen sker högre upp i sodapannan ökar temperaturen och mängden överbäring.



Figur 9. Schematisk bild över konvektionsströmmarna inne i sodapannan [13].

2.3.4 Avlagring, nedsmutsning och tilltäppning

Överbäringspartiklar och alkaliångor orsakar avlagringar och nersmutsningar av värmeöverföringsytor i övre delarna av sodapannan. Alkaliångor som kondenseras vid värmeöverföringsytorna bildar mjuka och vita avlagringar som består av natrium- och kaliumsalter. Avlagring kan bildas antingen via fasta partiklar i rökgasströmmen som kolliderar med ytan och fastnar eller genom att ångorna desublimeras på de kalla ytorna. Överbäringspartiklar fastnar på värmeöverföringsytor via kollision och bildar hårda och färggranna fläckar. Fläckarna oxideras i kontakt med luft och får en grå färg [13].

Avlagringens tjocklek på skärm-, överhettar-, konvektionstuberna samt förvärmaren beror på rökgastemperaturen och partiklarnas sammansättning. För att partiklarna skall fastna på ytorna måste minst 15 % av partikeln vara i flytande form, annars studsar partikeln bort från ytan. Avlagringen växer tills temperaturen på dess yta blir så hög att avlagringen innehåller en vätskefas på 70 % [13]. Vid denna temperatur slutar tillväxten och avlagringen börjar rinna bort. Dessa temperaturer där partikeln är klibbig kallas för T_{STK} eller T₁₅ och T_{RD} eller T₇₀ [13,21,22]. Hupa m.fl. [23] undersökte överbärings- och alkaliångornas sammansättning i sex kondenserade olika sodapannor och sammansättningens påverkan på T₁₅ och T₇₀. Det visade sig att största förändringar i T₁₅ och T₇₀ beror på hur stor mängd klor och kalium som partiklarna innehåller (Figur 10). Mängden klor och kalium beror på svartlutens sammansättning, vilken i sin tur beror bland annat på vilken typ av ved som används vid massabruket, hur man lagrar eller transporterar stockarna och vilka som eldstadens betingelser är under förbränningen av svartlut.



Figur 10. Klor- och kaliummängden som påverkar T₁₅ och T₇₀ [13].

Förbränning av svartlut med hög torrhalt har orsakat att temperaturen inne i sodapannan har ökat. I nedre överhettarregionen förekommer oftast avlagringar som når upp till 10-15 mm i tjocklek innan temperaturen på avlagringarnas yta överskrider T_{70} och avlagringarna börjar rinna bort. Största problemet med avlagringarna är i övre överhettarregionen där rökgastemperaturen är mellan T_{15} och T_{70} . Avlagringstjockleken når inte ett stationärt tillstånd i övre överhettarregionen utan kan växa kontinuerligt. Tillslutning av kemikaliekretsloppet ökar klorhalten i svartluten vilket ytterligare sänker T_{15} -temperaturen vilket leder till att avlagringar även bildas på konvektionstuberna. Förbränning av svartlut med hög torrhalt minskar tilltäppningar i förvärmaren eftersom alkaliångornas pH hålls på en hög nivå[14, 24]. Avlagringar på värmeöverföringsytor orsakar försämrad värmeöverföring vilket leder till sämre ångekonomi i sodapannan, korrosion på värmeöverföringsytorna och ökad rökgastemperatur.

Varmt vatten är det effektivaste medlet att rengöra värmeöverföringsytorna med, för avlagringen är lättlöslig i vatten. Detta kräver dock driftstopp. Oplanerade driftstopp på grund av tilltäppning av överhettare leder till stora ekonomiska förluster. Under driftstopp är hela massabruket nedkört och vid uppkörning av sodapannan måste dyrbar brännolja förbrännas för att få svartluten att tända. Under drift rengörs värmeöverföringsytorna med sotblåsning och termisk chock. Med sotblåsning menas att avlagringarna blåses bort från värmeöverföringsytorna med högtrycksånga. Termisk chock används för att underlätta avlägsnandet av avlagringar, men med varierad framgång i olika sodapannor. Termisk chock innebär sänkning av rökgasernas temperatur genom att minska lutinsprutningen eller ökning av temperaturen genom att spruta olja och lut samtidigt in i sodapannan. Temperaturen på ytan av avlagringen ändras vilket orsakar termisk stress inne i avlagringen och avlagringen lossnar lättare under sotblåsning [13, 25].

2.3.5 Kontroll av avlagringsmängden

Det finns flera metoder för att kontrollera mängden avlagring som fastnar på värmeöverföringsytorna. De flesta metoderna ger en uppskattning om hur mycket avlagring som har fastnat på ytorna medan några metoder ger en uppskattning om avlagringstillväxten. Avlagringsmängd uppskattas genom kan att mäta rökgastemperaturen i konvektionstuberna överhettarna, och förvärmaren. Temperaturökning efter överhettarna kan tyda på att avlagringstjockleken har ökat och värmeöverföringen har försämrats. Det är dock svårt att uppskatta exakt avlagringstjocklek utgående från temperaturskillnader för det saknas oftast tillräckligt många mätningspunkter [14]. Avlagringsmängden kan uppskattas utgående från rökgasflödet. Rökgasflödet genom överhettarområdet beror på mellanrummet mellan värmeöverföringsytorna, lufttillförseln, pannans belastning, svartlutens sammansättning och torrhalt. När avlagringstjockleken ökar, minskar rökgasflödet mellan värmeöverföringsytorna, vilket även orsakar en tryckskillnad mellan de olika värmeöverföringsområdena. Tryckskillnaden används ofta som indikator för kommande tilltäppningar. Problemet är dock att tryckskillnaden eller rökgasflödesskillnaden når en stabil nivå under en måttlig avlagring och ökar avsevärt först när tilltäppningen sker, vilket oftast är för sent[13,14,26]. Ett enkelt och bra sätt att uppskatta avlagringen på överhettarna är att mäta ångtemperaturen och sedan mängden vatten som behövs för att hålla ångtemperaturen på konstant nivå. När avlagringens tjocklek ökar, minskar värmeöverföringen. Detta orsakar att ångtemperaturen sjunker och mängden vatten, som behövs för att hålla ångtemperaturen på ett konstant nivå, minskar.

Det finns tillgänglig apparatur som kan uppskatta avlagringstjockleken och effekten av sotblåsningen på avlagringarna inne i sodapannan. Reeve m.fl. [27] har tillverkat en sootprobe[™] med vilken avlagringsmängden och avlagringens tillväxthastighet kan uppskattas. På vindsidan av sonden bildas det avlagring som huvudsakligen består av överbäring, medan avlagringen som bildas på läsidan av sonden består av kondenserade alkaliångor, som bildar ett tunt vitt skikt. Värmeöverföringshastigheten från båda sidorna av sonden mäts och jämförs, det antas att läsidan av sonden är relativt ren och den används som referens. Överbäringen bildar en isolerande yta vilken minskar värmeöverföringshastigheten. Genom att mäta tjockleken av överbäringen som fastnat på sonden, kan sonden kalibreras så att större värmeöverföringsskillnader är relaterad till en tjockare avlagring på vindsidan av sonden. Sonden måste regelbundet tas ut och dess ytor rengöras. Sootprobe[™] är främst tänkt som ett instrument vilket kan användas under konstant drift. Skillnaden i värmeöverföringen registreras konstant och utgående från den informationen uppskattas avlagringstjockleken (Figur 11). En okalibrerad sond kan leda till att avlagringsmängden skiljer sig från verkligheten.



Figur 11. Bild över sootprobeTM.

Kameror som fungerar i det infraröda området av ljusspektret (ca 3-15 µm, beroende på kameratypen som används) kan användas för att mäta mängden partiklar som orsakar överbäring. Flödesbilden av partiklarna är inte helt vertikal, vilket medför svårigheter i att räkna antalet partiklar. Temperaturen inne i sodapannan är hög, vilket leder till att partiklarnas temperatur måste vara högre än bakgrunden för att kunna fångas av kameran. Detta betyder att de partiklarna vars temperatur är lägre än omgivningens inte registreras av kameran. Kameran kräver luftkylning så att den inte förstörs och inspektionsluckan, där kameran befinner sig, täpps till av överbäring vilket leder till att luckan regelbundet måste rengöras. Kameran kan endast fokusera på ett litet område och kalibrering av kameran är svårt, vilket medför att det inte är en praktiskt fungerande metod för att mäta överbäringsmängden [28].

Under de senaste 20 åren har bildanalys samt inspelning och fotografering undergått stora förändringar [29]. Detta har gjort att man har möjlighet att bestämma avlagringstjockleken och effekten av sotblåsning utgående från film- eller bildanalys.

Clyde Bergemanns panninspektionskamera (Boiler Inspection Camera, BIC), som är en infrarödkamera, är ett enkelt och bärbart verktyg för inspektion av sodapannan. Med BIC kan avlagringsmängden på värmeöverföringytor enkelt uppskattas och avgöras om sotblåsningen fungerar effektivt [30] (Figur 12).



Figur 12. Boiler Inspection Camera [30].

Infraröda kamerasystem har under den senaste tiden blivit mindre och effektivare vilket har lett till forskningsprojekt som undersökt möjligheten att installera en infraröd kamera i sotblåsare. Det svåraste med denna installation är att kameran måste hållas nedkyld för att den skall kunna operera. Nedkylningen har konstruerats genom att dela sotblåsarröret i olika segment, i det yttersta segmentet finns ångflödet, i det mittersta är vakuum och i det innersta segmentet nedkylningsluften. Valet av materialet för väggarna mellan olika segment var avgörande för att nedkylningsluften inte skulle bli för varm [29].

Exakta mätningar kräver att ett instrument på något sätt kan mäta antingen partikelmängden eller hur tjock avlagring det bildas under en viss tid inne i sodapannan. Holve m.fl. [30] har använt en PCSV-sond (Particle Concentration, Size, Velocity) för att analysera hur mellanstora partiklarna med diametern 5-100 μ m påverkar avlagringstillväxten i olika delar av sodapannan. PCSV-sonden används i första hand för forskningsändamål av mindre partiklar inne i sodapannan. Sonden har i mitten en öppning där partiklarna kan passera (Figur 13). De passerande partiklarnas antal, storlek och hastighet mäts med hjälp av en laserstråle. PCSV-sonden behöver dock flera mätningar, utan sotblåsning i överhettaringången, för att trovärdiga resultat skall kunna erhållas och för att kunna bestämma exakt hur de mellanstora partiklarna påverkar avlagringar.



Figur 13. En schematisk bild över PCSV-sonden [31].

Ett instrument som kan användas för uppskattning av överbäringsmängden är en luftkyld sond. Den luftkylda sonden fungerar på samma sätt som sootprobe[™], men avlagringens tjocklek mäts manuellt. Den luftkylda sonden är en billigare men mera arbetskrävande metod för mätning av överbäringsmängden än sootprobe[™]. Sonden exponeras inne i sodapannan under en bestämd tid. Under mätningen kyls sonden ned med tryckluft för att undvika att sonden smälter och förstörs på grund av den rådande temperaturen inne i sodapannan. Luftkylningen åstadkommer att överbäringspartiklarna som fastnar på sondens yta bildar ett tjockt avlagringsskikt. Utan kylning skulle överbäringspartiklarna brännas fast på sondens yta och bilda ett tunt mörkt lager (Figur 18 i kapitel 3.2 är exempel på hur avlagringar kan brännas fast på en okyld sond). Vatten används vanligen inte som kylningsmedel i sonden, för om sonden går sönder och vatten sprutas ner i bädden finns det risk för vattenexplosion. Från den luftkylda sondens yta mäts avlagringstillväxten vanligen i form av mm/h. Avlagringen från den luftkylda sondens yta kan sparas och undersökas vidare, till exempel avlagringens T_{15} samt T_{70} och kemiska sammansättning kan avgöras [32, 33]. Backman m.fl. [33] har konstruerat ett nomogram där mängden överbäring uppskattas i gram per normal kubikmeter utgående från avlagringens tillväxthastighet, temperatur och rökgashastighet (Figur 14).



Figur 14. Nomogram för uppskattning av mängden överbäring[33].

Rökgashastigheten som behövs för uppskattning av överbäringsmängden kan räknas ut utgående från bränsleanalysen och luftöverskottstalet.

Den luftkylda sonden ger en noggrann uppskattning på avlagringens tillväxthastighet och apparaturen som behövs för att utföra mätningarna är relativt enkel och billig, men själva mätningen är tidskrävande. En okyld sond som exponeras i sodapannan för en kort stund kan rätt snabbt ge en relativt bra uppskattning av överbäringsmängden [31].

3 Experimentellt utförande

3.1 Inledning

Minutsondprojektets mål är att kunna få fram jämförbara mätresultat från en luftkyld sond och en minutsond, som är ett snabbare instrument för uppskattning av överbäringsmängden i sodapannan. Mätningarna utfördes i tre olika sodapannor i Finland under hösten 2008 och våren 2009. En mätning med den luftkylda sonden tar från 10 min och uppåt beroende på överbäringsmängden. Genom att använda ett okylt rör som befinner sig i sodapannan en kort stund, en minut eller mindre, kan mängden överbäring uppskattas genom att studera antalet partikelträffar på rörets yta. Syftet med detta experiment var att mäta samtidigt med minutsonden och den luftkylda sonden så att sonderna befinner sig så nära varandra som möjligt så att man kunde få jämförbara resultat. Efter mätningen fotograferades minutsondens yta och en kalibreringsbildserie framställdes. Från kalibreringsbildserien kunde överbäringsmängden enkelt uppskattas, i mm/h, genom att man jämförde bildserien med minutsondens yta efter en mätning. Antalet partikelträffar och storleken av partikelträffarna på minutsondens yta bestämdes genom att analysera bilderna med ett datorprogram.

3.2 Förberedelser inför de egentliga mätningarna och bestämning av mätningstiden

Minutsonden bestod av ett 2 m långt syrafast stålrör med en yttre diameter på 38 mm och en väggtjocklek på 2 mm. Fyra stycken minutsonder användes under mätningarna. För att uppnå en bra och jämn bildkvalitet efter varje mätning, byggdes en bärbar fotostudio med vit bakgrund av storleken 30 cm gånger 73 cm (Figur 15). Extra belysning användes för att minska eventuella skuggor i bilden. Kameran som användes för fotografering var en Pentax K10-kamera med Pentax DA 1:4(22) 16-45mm ED-ALobjektiv. Under fotograferingen användes kamerans blixt.



Figur 15. Bärbara fotostudion som användes under mätningarna.

Innan de egentliga mätkampanjerna utfördes testfotografering vid en sodapanna (massabruk B), i syftet att åtgärda eventuella problem. Under mätningarna sköts 1,5 m av det 2 m långa röret in i sodapannan. Rören fotograferades också med en schablon som fästes på rörets yta (se Figur 16), så att en lika stor area på samma ställe av röret analyserades varje gång. Med hjälp av det av schablonen begränsade området är det möjligt att räkna ut hur många pixlar på bilden som motsvarar en millimeter.


Figur 16. Schablonen som användes för fotograferingen.

Resultat av olika exponeringstider för minutsonden jämfördes. Exponeringstiderna varierade mellan 10 s och 60 s (Figur 17). För bildanalys med programvaran som användes i detta arbete visade sig en exponeringstid på 20 s ge lämpligaste antal partikelträffar. Med exponeringstiden avses den tid när 1,5 m av den 2 m långa sonden befinner sig inne i sodapannan. Tiden som går till att skjuta in och dra ut sonden räknas inte med i exponeringstiden.



Figur 17. Jämförelse av olika sondexponeringstider vid massabruk B (från vänster till höger 10 s, 20 s, 30 s och 60 s).

Även vid massabruk A och massabruk C jämfördes olika exponeringstider. Ju längre exponeringstid, desto högre blev temperaturen hos sondröret. Under vissa mätningar kunde det konstateras att när temperaturen inne i sodapannan var ca 930°C och mätningstiden var 30 s eller längre, så började avlagringarna som fastnat på sondens yta smälta. Det medförde att bilderna inte gick att analysera och därmed var det även omöjligt att kunna uppskatta mängden överbäring.



Figur 18. Jämförelse av olika exponeringstider vid massabruk A. Rökgastemperaturen var ca 930°C (från vänster till höger 20 s, 30 s, 40 s och 60 s).

3.3 Mätningar vid massabruk A

Massabruk A besöktes under veckan 50 år 2008 och mätningarna utfördes under tre dagar. Sodapanna A har en kapacitet att bränna 3000 TDS/d. På grund av fulla cellulosalager under perioden för mätningarna kunde man ej hålla full last på pannan. Första dagen var lasten lite under 70 % och under de två följande dagarna ca 60 %. Under mätningarna användes även kontinuerligt olja som stödbränsle (se Bilaga A) . Mätningarna utfördes på åttonde våningen, på 35,5 m höjd, 13,2 m nedanför nässkärmstippen. På åttonde våningen fanns det tre stycken inspektionsluckor med dimensionerna 27,5 cm x 30 cm och avståndet mellan luckorna var 3 m (Bilaga B). I inspektionsluckorna fästes en skyddsplåt med en muff vars inre diameter var 63 mm. Kalibreringen utfördes genom att samtidigt utföra 20 s mätningar med minutsonden och

20 min mätningar med den luftkylda sonden i två inspektionsluckor. Det kunde konstateras att överbäringsmängden var mycket högre i mitten av sodapannan än på sidorna. Detta innebar att det var svårt att få jämförbara resultat för minutsond respektive luftkyld sond. För att göra en uppskattning av hur mycket överbäringen varierade i sodapannan utfördes samtidigt två stycken 20 s minutsondmätningar i det mittersta och högra inspektionshålet på åttonde våningen, Figur 17.



Figur 17. Jämförelse av partikelträffar under 20 s på minutsondens yta i mittersta inspektionshålet (bilden till vänster) och i högra inspektionshålet (bilden till höger).

3.4 Mätningar vid massabruk B

Mätningar vid massabruk B utfördes under tre dagar vecka 3 år 2009. Sodapannan vid massabruk B har en kapacitet att bränna 3000 TDS/d. Under första mätdagen var pannlasten ca 2700 TDS/d, alltså ca 90 % av maxlast. Under andra och tredje dagen var lasten något mindre, ca 80 % (se Bilaga C). För att kunna mäta tjockleken på avlagringen med den luftkylda sonden användes exponeringstider på 15 eller 30 min. Under en mätning med den luftkylda sonden utfördes fyra stycken 20 s minutsondsmätningar. Mätningarna utfördes vid två manluckor vid nässkärmens tipp (på åttonde våningen på 40,9 m höjd över havsytan). För att nå jämförbara resultat med de två olika sondtyperna gjordes parallella mätningar via 2 muffar vid samma manlucksöppning. Figur 18 visar de öppna muffarna som användes vid öppningen. En skiss på plåten som täcker öppningen finns även i Bilaga D.



Figur 18. Skyddsplåten som fästes i manluckan.

3.5 Mätningar vid massabruk C

Mätningarna vid massabruk C utfördes under vecka 7 år 2009. Sodapannan vid massabruk C har en kapacitet på 4450 TDS/d. Under första mätdagen var lasten ca 3100 TDS/d, alltså ca 70 % av pannans maximala last. Under de påföljande av mätdagarna var lasten ca 65 % (se Bilaga E). Mätningarna utfördes vid nässkärmstippen (på nionde våningen på 46,0 m höjd över havet) i två stycken inspektionshål. I inspektionshålen fästes skyddsplåtar som hade två hål ovanför varandra (Figur 19), så att mätningar med den luftkylda sonden och minutsonden kunde utföras samtidigt (se Bilaga F). Mängden överbäring vid denna nivå i denna panna var rätt låg, vilket innebar rätt långa exponeringstider för den luftkylda sonden (30 eller 40 min). Under en mätning med den luftkylda sonden utfördes fyra stycken 20 s minutsondsmätningar.



Figur 19. Skyddsplåten som fästes vid inspektionshålet. Muffarna är aningen vinklade från varandra, så att sondernas ändor är fria från varandra med avseende på rökgasströmmen inne i pannan.

3.6 Analyser av fotografierna

3.6.1 Bildbehandling

För att kunna analysera bilderna med ImageJ måste bilderna omvandlas från färgskala till gråskala. Det ursprungliga 5 cm x 3 cm stora området användes för att bestämma hur många pixlar som motsvarade 1 mm i verkligheten (Figur 20 och 21). Det 5 cm x 3 cm stora området redigerades till ett mindre område med storleken 3 cm x 1 cm (Figur 22). Första steget i bildbehandlingen var att justera bildens ljushet och kontrast så att partikelträffarna bättre kunde åtskiljas från bakgrunden. Bildens färgskala ändrades till gråskala och djupet av den gråa färgen justerades så att de svarta och färggranna partiklarna blev mörka (Figur 23). Detta ledde till att de vita partiklarna och partiklarna vars färg var nära bakgrundens färg vidare måste behandlas så att även de skulle bli mörka. Slutligen inverterades hela färgskalan så att alla partikelträffar blev ljusa och bakgrunden mörk (Figur 24).



Figur 20. Originalfotografi av röret med schablonen på, bildens storlek är förminskad med 80 %.



Figur 21. Schablonens kanter och röret, bildens storlek är förminskad med 50 %.



Figur 22. 3 cm x 1 cm av området för analysering.



Figur 23. Analyseringsområdet efter behandling.



Figur 24. Analyseringsområdet efter invertering av färgskalan.

3.6.2 Analysering av bilderna med ImageJ

Den behandlade bilden analyseras med programmet ImageJ. I ImageJ kan man ställa in skalan, det vill säga definiera hur många pixlar som motsvarar en mm, så att programmet kan beräkna utvalda längdmått och areor ur bilden. Randvillkoren ställs manuellt in för de områden som antas vara partiklar, samt de områden som antas vara bakgrund eller någon form av störning. I Figur 25 har randvillkoren ställts in och de röda partiklarna analyseras av ImageJ. För att minimera störningar från enstaka pixlar kan man ställa in hur stora partiklar som programmet skall beakta. Under detta experiment analyserades partiklar som hade en area större än 0,02 mm². Med ImageJ kan bland annat partikelns area, omkrets, rundhet, och Ferets diameter (partikelns största möjliga diameter) bestämmas. Exempel på hur resultatet från bildanalyseringen ser ut hittas i Bilaga G.



Figur 25. De röda träffarna analyserades med ImageJ.

4 Resultat

Vid analysering av partikelträffar antas att varje partikel fastnar på minutsondens yta och att inga överlappande träffar förekommer. Vid beräkningarna antas att rökgasflödet och koncentrationen av överbäringspartiklar är konstant vid ett horisontellt tvärsnitt av pannan på nivån som mätningarna utfördes. För kalibrering analyserades endast bildserier som vid visuell evaluering verkade analyserbara. Det vill säga att de bilder där man kunde konstatera att partikelträffarna var väl definierbara och låg jämnt spridda över utvalt område på sonden.

4.1 Area och täckningsgrad av överbäringspartiklar

Bildanalyseringsprogrammet ImageJ räknar ut hur stor area de enskilda partiklarna har och totala täckningsgraden av alla partiklar i förhållande till bakgrunden. Minutsondens bildserier som motsvarar avlagringstillväxtresultat, erhållna med luftkyld sond på 1,4 mm/h, 2,4 mm/h, 3,2 mm/h, 4,0 mm/h, 4,8 mm/h och 5,6 mm/h, analyseras med ImageJ (se Bilaga H).



Figur 26. Medelarean och standardavvikelsen för alla partikelträffar.

I Figur 26 kan man se att när överbäringsmängden ökar, så ökar också totala arean av partikelträffarna. Träffarnas totala area som funktion av mängden överbäring erhållen med luftkyld sond följer en rätt så linjär linje. Standardavvikelsen för resultaten erhållna med minutsonden är stor, vilket betyder att det även är rätt stora variationer i överbäringsmängder under en relativt kort tidsperiod (10 - 40 min). Genom att räkna ut till vilken grad som partikelträffarna täcker det 300 mm² stora analyseringsområdet fås partikelträffarnas täckningsgrad.



Figur 27. Partikelträffarnas täckningsgrad för de analyserade bildserierna.

I Figur 27 har en regressionslinje räknats ut enligt erhållna medelvärden. Även medel-, min- och maxvärden finns angivna i grafen. Med hjälp av funktionen erhållen med regressionsanalysen ([avlagringstillväxt]=[täckningsgrad]/7,7784) kan man räkna ut vilken täckningsgrad som motsvarar vilken avlagringstillväxt. Denna med regressionsanalys erhållna funktion användes vidare i kapitel 4.2 för uträkning av överbäringskoncentrationen som g/Nm³.

4.2 Uträkning av partikelkoncentration angiven som g/Nm³ utgående från resultat erhållna med minutsonden

För att kunna räkna ut överbäringkoncentrationen och ange den med enheten g/Nm³ utgående från minutsondens resultat måste överbäringens volym uppskattas. Volymen uträknas antingen genom att bestämma medeltjockleken för träffarna (då arean är känd är det möjligt att räkna ut volymen) eller genom att räkna ut överbäringspartiklarnas volym innan de träffar minutsondens yta. För att kunna räkna ut partikelns volym innan

den träffar sondens yta måste det göras antaganden om hur partikelns form ändras när den träffar sondens yta. I Figur 28 visas schematiskt vad som händer när en överbäringspartikel träffar sondens yta. Det antogs att en sfärisk partikel med en viss radie omformas vid träffen till en cirkelformad yta, träffens tjocklek negligeras.



Figur 28. Hur partikeln ändrar form när den träffar sondens yta.

Det antogs att rökgasflödet och koncentrationen av överbäringspartiklar är konstant vid ett horisontellt tvärsnitt av pannan på den nivån mätningarna gjordes. Från det 3 x 1 cm stora området på minutsondens yta, som analyserades, uträknades arean för enskilda partikelträffar. För uträkningarna användes minutsondsbilder som motsvarar 1,4 mm/h, 4,0mm/h och 5,6 mm/h tillväxt på luftkylda sondens yta. Av de fyra analyserade bilderna i varje serie valdes de bilder vars täckningsgrad var närmast regressionslinjen i Figur 27. Exponeringstiden för minutsonderna var 20 s. Vid uträkning av

överbäringskoncentration som g/Nm³ måste avlagringstillväxten vara angiven som volym/tidsenhet . Volymen för de olika metoderna räknades ut enligt följande:

Metod 1, volymen för överbäring utgående från avlagringstjockleken som erhållits med den luftkylda sonden.

Avlagringstjockleken mättes och det antogs att hela arean vid nässkärmsnivån täcks av ett lika tjockt lager av överbäring.

Metod 2, volymen för överbäring utgående från partikelträffarnas area.

För att kunna räkna ut överbäringens volym antogs följande medeltjocklekar för partikelträffarna: 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,1 mm, 0,09 mm, 0,08 mm, 0,07 mm, 0,06 mm, 0,05 mm, 0,04 mm och 0,03 mm. Slutligen räknades ut hur många 3 x 1 cm stora analysområden som ryms i den antagna arean vid nässkärmsnivån, så att man kan räkna ut den totala överbäringsvolymen.

Metod 3, volymen för överbäring utgående från partikelträffarnas täckningsgrad. Täckningsgraden för partikelträffarna räknades ut enligt regressionsanalysen i Figur 27 med denna formel: ([avlagringstillväxt]* 7,7784=[täckningsgrad]). Som värden för avlagringstillväxt i formeln användes 1,4 mm/h, 4,0mm/h och 5,6 mm/h tillväxt på luftkylda sondens yta. Det antogs att arean vid nässkärmsnivån täcks till en viss grad av partikelträffar. Samma medeltjocklekar som i Metod 2 användes för uträkning av överbäringsvolymen.

Metod 4, volymen för överbäringspartikeln innan den träffar sondens yta.

Det antogs att alla träffar var cirkelformade och radien för de cirkelformade träffarna räknades ut. Det är sannolikt att radien för den cirkelformade träffen är större än radien av den sfäriska överbäringspartikeln före träffen. Det användes olika faktorer för att kunna uppskatta hur radien ändras vid träffen. Faktorer som användes för ändring av radien var följande: 1 (ingen ändring), 0,9, 0,8, 0,7, 0,69, 0,68, 0,65, 0,63, 0,61, 0,6, 0,5. Slutligen räknades ut hur många 3 x 1 cm stora analysområden som ryms i den antagna arean vid nässkärmsnivån, så att

man kan räkna ut totala volymen av alla överbäringspartiklar som passerar nässkärmsnivån.

För att kunna räkna ut överbäringskoncentrationen i g/Nm³ i torrökgas, vid NTP (normal tryck och temperatur) förhållanden, användes följande data:

	mängd	enhet
Lutinsprutning	30	l/s
Torrhalt	80,4	%
Lutens densitet	1,4326	kg/dm ³
O2 i rökgaserna	2,28	vol-%
Lutens sammansättning		
С	38,2	vikt-%
Н	3,4	vikt-%
0	31,1	vikt-%
Ν	0,1	vikt-%
S	5,2	vikt-%
Na	19,8	vikt-%
К	1,9	vikt-%
CI	0,1	vikt-%
Rest	0,2	vikt-%
Överbäringens densitet	2600	kg/m ³
Arean vid nässkärmsnivån	6,5m x 12,5m=81,25	m ²

Tabell 1. Antagna data vid uträkning av överbäringsmängden

Det antogs att rökgasen består av endast CO₂, O₂, N₂ och H₂O och att den extra förbränningsluften endast består av 20 % O₂ och 80 % N₂ samt att smältan består av Cl (klor), K (kalium), NaCO₃ (natriumkarbonat) och N₂S (natriumsulfid). Allt svavel antogs reagera med natrium så att det bildas natriumsulfid. Resten av natriumet reagerar med kol och syre så att det bildas natriumkarbonat. Mängden förbränningsluft som behövs räknas ut utgående från hur mycket syre det behövs till CO₂, NaCO₃ och H₂O samt hur mycket O₂ som det finns kvar i rökgaserna. När rökgasflödet som kmol/s är känt är det möjligt att räkna ut, med hjälp av gasernas allmänna tillståndsekvation, rökgasflödet i m³/s (i detta fall vid NTP). Vid mätning av överbäring fås resultaten angivna som volym/tidsenhet, som räknas om till kg/tidsenhet med hjälp av överbäringens densitet. Överbäringskoncentrationen som g/Nm³ fås genom att dividera överbäringsmängden [kg/s] med rökgasflödet [m³/s]. Ett exempel på beräkning finns i Bilaga I. Uträkning av överbäringskoncentration som g/Nm³ för de olika räknemetoderna gav följande resultat:

Tabell 2. Uträkning av överbäringskoncentration vid 1,4 mm/h tillväxt på luftkylda sondens yta

Metod 1: Överbäringskoncentration uträknad utgående från den luftkylda sonden:	mm/h 1,4	g/Nm ³ 0,6									
Metod 2:											
Area mm ²	26,99	26,99	26,99	26,99	26,99	26,99	26,99	26,99	26,99	26,99	26,99
uppskattad tjocklek (mm)	2,00	1,00	0,50	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03
g/Nm ³	13,89	6,94	3,47	0,69	0,62	0,56	0,49	0,42	0,35	0,28	0,21
Metod 3:											
Area %	10,89	10,89	10,89	10,89	10,89	10,89	10,89	10,89	10,89	10,89	10,89
uppskattad tjocklek (mm)	2,00	1,00	0,50	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03
g/Nm ³	16,81	8,40	4,20	0,84	0,76	0,67	0,59	0,50	0,42	0,32	0,25
Metod 4:											
Totalavolym av partiklarna i mm^3	9,45	6,89	4,84	3,24	3,10	2,84	2,59	2,36	2,14	2,04	1,18
formändrings faktor	1,00	0,90	0,80	0,70	0,69	0,67	0,65	0,63	0,61	0,60	0,50
g/Nm ³	2,43	1,77	1,24	0,83	0,80	0,73	0,67	0,61	0,55	0,52	0,30

Tabell 3. Uträkning av överbäringskoncentration vid 4,0 mm/h tillväxt på luftkylda sondens yta

Metod 1: Överbäringskoncentration uträknad utgående från den luftkylda sonden:	mm/h 4,0	g/Nm ³ 1,7									
Metod 2:											
Area mm ²	97,17	97,17	97,17	97,17	97,17	97,17	97,17	97,17	97,17	97,17	97,17
uppskattad tjocklek (mm)	2,00	1,00	0,50	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03
g/Nm ³	49,99	24,99	12,50	2,50	2,25	2,00	1,75	1,50	1,25	1,00	0,75
Metod 3:											
Area %	31,11	31,11	31,11	31,11	31,11	31,11	31,11	31,11	31,11	31,11	31,11
uppskattad tjocklek (mm)	2,00	1,00	0,50	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03
g/Nm ³	48,01	24,01	12,00	2,40	2,16	1,92	1,68	1,44	1,20	0,96	0,72
Metod 4:											
Totalavolym av partiklarna i mm^3	106,81	77,86	54,69	36,63	35,09	32,12	29,33	26,71	24,24	23,07	13,35
formändrings faktor	1,00	0,90	0,80	0,70	0,69	0,67	0,65	0,63	0,61	0,60	0,50
g/Nm ³	27,47	20,03	14,07	9,42	9,03	8,26	7,54	6,87	6,24	5,93	3,43

Tabell 4. Uträkning av överbäringskoncentration vid 5,6 mm/h tillväxt på luftkylda sondens yta

Metod 1: Överbäringskoncentration uträknad utgående från den luftkylda sonden:	mm/h 5,6	g/Nm ³ 2,4									
Metod 2:											
Area mm ²	128,25	128,25	128,25	128,25	128,25	128,25	128,25	128,25	128,25	128,25	128,25
uppskattad tjocklek (mm)	2,00	1,00	0,50	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03
g/Nm^3	65,98	32,99	16,49	3,30	2,97	2,64	2,31	1,98	1,65	1,32	0,99
Metod 3:											
Area %	43,55	43,55	43,55	43,55	43,55	43,55	43,55	43,55	43,55	43,55	43,55
uppskattad tjocklek (mm)	2,00	1,00	0,50	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03
g/Nm^3	67,21	33,61	16,80	3,36	3,02	2,69	2,35	2,02	1,68	1,34	1,01
Metod 4:											
Totalavolym av partiklarna (mm^3)	310,99	226,71	159,23	106,67	102,16	93,54	85,41	77,76	70,59	67,17	38,87
formändrings faktor	1,00	0,90	0,80	0,70	0,69	0,67	0,65	0,63	0,61	0,60	0,50
g/Nm^3	80,00	58,32	40,96	27,44	26,28	24,06	21,97	20,00	18,16	17,28	10,00

Meningen med dessa uträkningar var att undersöka om det är möjligt att räkna ut överbäringskoncentrationen direkt från resultat erhållna med minutsonden, eller måste man använda regressionslinjen i Figur 27 för att omräkna minutsondens täckningsgrad att motsvara en avlagringstillväxthastighet på den luftkylda sondens yta och med hjälp av avlagringstillväxthastigheten räkna ut överbäringskoncentrationen. En uppskattad tjocklek på 0,07 mm för partikelträffarna på minutsondens yta ger resultat som överensstämmer rätt så bra med överbäringskoncentrationen uträknad utgående från avlagringstjockleken på den luftkylda sondens yta. Det kan uttydas att uträkningarna av överbäringsmängden enligt täckningsgraden (Metod 3) ger noggrannare resultat än utgående från partiklarnas area på analysområdet (Metod 2). Orsaken till det är att de analyserade sondernas täckningsgrad inte sammanfaller med täckningsgraden som räknats ut med formeln: ([avlagringstillväxt]* 7,7784=[täckningsgrad]) (Figur 27). En ännu noggrannare tjocklek, för partikelträffarna, på 0,0714 mm erhålls genom iteration.

Det var omöjligt att bestämma partikelns volym innan den träffar minutsondens yta utgående från partikelträffens storlek. Detta beror främst på att träffen aldrig är platt utan alltid har en viss tjocklek. Antagligen ser träffen ut som en knöl eller kulle, det vill säga att träffen har ett ställe där den är tjockast och jämnar ut sig vid kanterna. Det är omöjligt att veta exakt hur partiklarna omformas när de träffar sondens yta för det beror bland annat på partikelns sammansättning, rökgastemperaturen och rökgasflödet. Partikelns sammansättning och rökgastemperaturen påverkar också hur mycket av partikeln som är i vätskeform och hur mycket av den som är i fastform. Detta har också en stor inverkan på hur partikeln omformas när den träffar sondens yta. Det var omöjligt att räkna ut en volym utgående från en sfär då man endast vet träffens area, så länge träffarna är av olika storlekar. Orsaken är att när till exempel radien för en träff fördubblas, så blir överbäringspartikelns volym åtta gånger så stor.

4.3 Kalibreringsbildserien

Målet med diplomarbetet var att få fram en metod eller ett beräkningssätt som gör det möjligt att jämföra resultat erhållna med luftkyld sond. Kalibreringsbildserien gjordes utgående från regressionslinjen i Figur 27, det vill säga minutsondsbilderna vars täckningsgrad var närmast regressionslinjen i Figur 27. I Bilaga H hittas det resultat från alla de analyserade fotografierna. Utgående från bildens täckningsgrad uträknades g/Nm³ överbäringskoncentration som i torrökgas. För uträkningar av överbäringskoncentrationen används samma antagna data och uträkningsmetod som i kapitel 4.2, förutom att lutinsprutningsmängden varierades mellan 15-50 l/s. Temperaturen inne i sodapannan fastställdes till 900°C och tjockleken för partikelträffarna antogs vara 0,07 mm (enligt uträkningarna i kapitel 4.2).



Figur 29. Massabruk B, 16.1.2009 9:00, 20 s minutsondmätning. Under mätningsserien var tillväxten på den luftkylda sonden 1,4 mm/h och täckningsgraden enligt regressionslinjen i Figur 27 10,9 %. Fotografiets täckningsgrad är 9,0 %.

Tabell 5. Överbäringskoncentration räknat utgående från Figur 29:s täckningsgrad (9,0 %), som motsvarar en 1,2 mm/h tillväxt på den luftkylda sondens yta

Lutinsprutning (I/s)									
Temperatur (Celsius)	15	20	25	30	35	40	45	50	
900	1,0	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	g/Nm ³



Figur 30. Massabruk C, 12.2.2009 8:40, 20 s minutsondmätning. Under mätningsserien var tillväxten på den luftkylda sonden 2,4 mm/h och täckningsgraden enligt regressionslinjen i Figur 27 18,5 %. Fotografiets täckningsgrad är 18,3 %.

Tabell 6. Överbäringskoncentration räknat utgående från Figur 30:s täckningsgrad (18,3 %), som motsvarar en 2,4 mm/h tillväxt på den luftkylda sondens yta

Lutinsprutni	ng (I/s)								
Temperatur (Celsius)	15	20	25	30	35	40	45	50	
900	1,9	1,5	1,2	1,0	0,8	0,7	0,6	0,6	g/Nm ³



Figur 32. Massabruk B 15.1.2009 9:31, 20 s minutsondmätning. Under mätningsserien var tillväxten på den luftkylda sonden 3,2 mm/h och täckningsgraden enligt regressionslinjen i Figur 27 24,9 %. Fotografiets täckningsgrad är 28,6 %.

Tabell 7. Överbäringskoncentration räknat utgående från Figur 32:s täckningsgrad (28,6 %) som motsvarar en 3,7 mm/h tillväxt på den luftkylda sondens yta

Lutinsprutning (I/	s)								
Temperatur (Celsius)	15	20	25	30	35	40	45	50	
900	3,0	2,3	1,8	1,5	1,3	1,1	1,0	0,9	g/Nm ³



Figur 33. Massabruk B 16.1.2009 11:45, 20 s minutsondmätning. Under mätningsserien var tillväxten på den luftkylda sonden 4,0 mm/h och täckningsgraden enligt regressionslinjen i Figur 27 31,1 %. Fotografiets täckningsgrad är 32,4 %.

Tabell 8. Överbäringskoncentration räknat utgående från Figur 33:s täckningsgrad (32,4 %) som motsvarar en 4,2 mm/h tillväxt på den luftkylda sondens yta

Lutinsprutning (I/s)									
Temperatur (Celsius)	15	20	25	30	35	40	45	50	
900	3,4	2,6	2,1	1,7	1,5	1,3	1,1	1,0	g/Nm ³



Figur 34. Massabruk B 14.1.2009 16:03, 20 s minutsondmätning. Under mätningsserien var tillväxten på den luftkylda sonden 4,8 mm/h och täckningsgraden enligt regressionslinjen i Figur 27 37,3 %. Fotografiets täckningsgrad är 37,9 %.

Tabell 9. Överbäringskoncentration räknat utgående från Figur 34:s täckningsgrad (37,9
%) som motsvarar en 4,8 mm/h tillväxt på den luftkylda sondens yta

Lutinsprutning (I/s)	1								
Temperatur (Celsius)	15	20	25	30	35	40	45	50	
900	4,0	3,0	2,4	2,0	1,7	1,5	1,3	1,2	g/Nm ³



Figur 35. Massabruk B 14.1.2009 13:18, 20 s minutsondmätning. Under mätningsserien var tillväxten på den luftkylda sonden 5,6 mm/h och täckningsgraden enligt regressionslinjen i Figur 27 43,6 %. Fotografiets täckningsgrad är 42,8 %.

Tabell 10. Överbäringskoncentration räknat utgående från Figur 35:s täckningsgrad (42,8 %) som motsvarar en 5,5 mm/h tillväxt på den luftkylda sondens yta

Lutinsprutning (I/s	5)								
Temperatur (Celsius)	15	20	25	30	35	40	45	50	
900	4,5	3,4	2,7	2,3	1,9	1,7	1,5	1,4	g/Nm ³

4.4 Partiklarnas storlek och deras procentuella andel samt area

Vid analysering av minutsondens bilder antogs att inga partikelträffar överlappat varandra. Men under visuell evaluering märktes det att vissa partiklar överlappade varandra och att det fanns variation i partikelträffarnas storlek. Samma minutsondsbilder som användes för uträkningar i kapitel 4.2, undersöktes vidare för att få en uppskattning av partikelträffarnas storlekar. Det antogs att träffarna var cirkelformade, så att man enkelt kunde räkna ut träffarnas diameter. Det undersöktes hur många olika storlekars partikelträffar det finns och hur stor inverkan på den totala täckningsgraden partikelträffarna av varierande storlek har.



Figur 36. Olika stora partikelträffars andel av täckningsgraden och totala mängden partikelträffar när tillväxten på den luftkylda sonden var 1,4 mm/h.



Figur 37. Olika stora partikelträffars andel av täckningsgraden och totala mängden partikelträffar när tillväxten på den luftkylda sonden var 4,0 mm/h.



Figur 38. Olika stora partikelträffars andel av täckningsgraden och totala mängden partikelträffar när tillväxten på den luftkylda sonden var 5,6 mm/h.

Utgående från Figurerna 36-38 kan man dra den slutsatsen att vid låga överbäringsmängder är största delen av partiklarträffarnas diameter 1 mm eller mindre. När överbäringsmängden ökar, så ökar också andelen partiklar som har större diameter. Vid högre mängder överbäring har partikelträffar vars diameter är 1,5 mm eller större en stor inverkan på täckningsgraden. Andelen små partikelträffar minskar vid högre överbäringsmängder. Man kan anta att det betyder att de små partikelträffarna blir täckta av större partikelträffar, alltså att överlappande partikelträffar förekommer. Partikelträffar som har stor area kan också härstamma från flera mindre partikelträffar som delvis överlappar varandra och då ser de ut som en större partikel. Brink m.fl. [34] undersökte hur mycket det finns partikelträffar av samma storlek på en yta innan ytan blir helt täckt av partikelträffar. Utgående från resultaten erhållna i detta arbete kan man dra slutsatsen att en uppmätt täckningsgrad på 40 % på minutsondens yta (vilket i detta fall motsvarar en 5,1 mm/h avlagringstillväxt på den luftkylda sondens yta) egentligen täcks av partiklar som skulle täcka ca 53 % av sondens yta om de inte skulle överlappar varandra.

4.5 Uträkning av överbäringspartiklarnas volym

Det märktes i kapitel 4.3 att det var omöjligt att räkna ut volymen för överbäringspartikeln utgående från partikelträffens area, då tjockleken av partikelträffen är okänd. För att kunna räkna ut överbäringspartiklarnas volym behöver man veta träffarnas tjocklek. I uträkning av överbäringskoncentrationen som g/Nm³ i kapitel 4.2 kom man fram till att partikelträffens medeltjocklek på 0,0714 mm ger resultat som är jämförbara med överbäringskoncentrationen uträknad utgående från tillväxthastigheten på den luftkylda sondens yta. När man vet partikelträffens area och har en uppskattning av träffens tjocklek är det möjligt att räkna ut de enskilda överbäringspartiklarnas volym innan de träffar sondens yta. Det antogs att överbäringspartiklarna är sfäriska till sin form innan de träffar sondens yta så att det var möjligt att räkna ut sfärens diameter. I Figur 39 ser man hur mycket som den totala volymen av överbäring påverkas av de sfäriska partiklarna som har en stor diameter.



Figur 39. Hurdan inverkan de sfäriska partiklarna av varierande storlek har på totala volymen av överbäringen.

När överbäringspartiklars volym räknas utgående från partikelträffen, räknas delvis överlappande träffar som en träff. Det orsakar att några partiklar blir mycket stora till sin volym. Den mest trovärdiga volymen för överbäringspartiklar fås när täckningsgraden är låg. Då uppkommer det minst överlappande partikelträffar.

4.6 Variationer av täckningsgraden på olika ställen på sondens yta och som funktion av olika exponeringstider

Under mätningarna kunde man konstatera att överbäringsmängden varierade mycket och en exponeringstid på 20 s inte nödvändigtvis är optimal för alla sodapannor. Det undersöktes hur tiden påverkar partikelträffarnas täckningsgrad på sondytan och hur mycket överbäringsmängden varierar på olika ställen av sonden. Som redan tidigare nämndes sätts ca 1,5 m av sonden in i sodapannan. Utgående från sondens utseende efter mätningen uppskattades sodapannans väggtjocklek till 50 - 70 cm. Det betyder att av den 2 m långa minutsonden är ca 1 m av sonden exponerad för rökgasströmmen. Man kunde konstatera att om sondens temperatur bli för hög, börjar partikelträffarna på minutsondens yta smälta och då kan man ej uppskatta överbäringsmängden. I detta arbete testades exponeringstider på 10 s, 20 s, 30 s och 40 s. Sondens ända fotograferades, 30 cm från sondens ända och 60 cm från sondens ända. Genom visuell inspektion konstaterades det att antalet partikelträffar minskar drastiskt nära väggen, vilket var orsaken till att sonden inte fotograferades på närmare avstånd än ca 40 cm från sodapannans inre vägg. Den höga rökgastemperaturen orsakade att yttemperaturen hos sonden ökade så mycket vid exponeringar på 40 s, att partikelträffarna började smälta på ytan och resultatet därmed ej mera gick att tolka.



Figur 40. Variation i partikelträffarnas täckningsgrad under olika exponeringstider och på olika ställen på sonden i längdled.

Man kan anta att det existerar ett samband mellan överbäringsmängden och exponeringstiden, det vill säga ju längre exponeringstiden är desto mera finns det partikelträffar på sondens yta. Ur Figur 40 kan man dra slutsatsen att när tiden fördubblas fördubblas också partiklarnas täckningsgrad. När resultat från sonden som exponerats 10 s och sonden som exponerats 30 s i Figur 40 jämförs, märker man att när mätningstiden är tre gånger längre är också täckningsgraden ca 3 gånger större. Sonden som exponerats 30 s har inte dubbelt så stor täckningsgrad som sonden som exponerats 10 s. Detta kan förklaras med att överbäringsmängden varierar konstant, vilket är orsaken till att täckningsgraden för sonden som exponerats 20 s inte är dubbelt så stor jämfört med sonden som exponerats 10 s. Utgående från Figur 40 kan man dra slutsatsen att partikelträffarnas täckningsgrad varierar rätt lite vid ändan av sonden jämfört med 30 cm från ändan. Vid 60 cm avstånd från sondens ända har täckningsgraden minskat i sonderma som har exponerats 10 s och 30 s märkbart.

4.7 Sammanfattning av de erhållna resultaten

För kalibreringen utfördes fyra stycken minutsondsmätningar med jämna mellanrum under en mätning med luftkyld sond. När den luftkylda sondens exponeringstid var 30 min utfördes första minutsondsmätningen samtidigt när luftkylda sonden sattes in i sodapannan, andra efter 10 min, tredje efter 20 min och den sista strax innan den luftkylda sonden togs ut. De momentana variationerna i överbäringen orsakade att det var svårt att få till stånd en kalibreringsbildserie (Figur 41). Användning av flera minutsonder skulle ha gett ett bättre medelvärde av täckningsgraden, men analysering med ImageJ-programmet är tidskrävande eftersom bilderna måste omvandlas från färgskala till gråskala och de enskilda partikelträffarna behandlas. Tiden som gick åt till att bildbehandla ett fotografi varierade från 30 min ända upp till 2 h beroende på hur många partikelträffar som det fanns på sondens yta.



Figur 41. Ett exempel på hur överbäringen varierade under en 30 min mätning med luftkyld sond. Sonden till vänster insätts vid 0 min, andra från vänster vid 10 min, tredje vid 20 min och sista strax innan den luftkylda sonden tas ut.

Under mätningarna påträffades inga högre överbäringsmängder än 5,6 mm/h avlagringstillväxt på luftkylda sonden, vilket gjorde att det blev oklart hur stora överbäringsmängder man kan tolka utgående från en exponeringstid på 20 s. Det är dock troligt att större avlagringstillväxt än 5,6 mm/h blir svårare att tolka, då antalet överlappande partiklar ökar. Enligt Brinks m.fl. [34] undersökning kom man fram till att redan vid en 50 % uppmätt täckningsgrad, så överlappar ca 20 % av partiklarna varandra. Men det upptäcktes att täckningsgraden och mätningstiden har ett lineärt samband och då kan Figur 27 användas för att tolka avlagringstillväxten på den luftkylda sondens yta när minutsondens exponeringstid inte är 20 s. Om till exempel minutsondens exponeringstid halveras från 20 s till 10 s och minutsonden ser ut som Figur 33 betyder det att avlagringens tillväxthastighet är 8,4 mm/h. Man kunde konstatera, att partiklarnas storlek ökar när överbäringsmängden är större. Det är dock oklart hur mycket av de stora partiklarna som består av flera mindre träffar som delvis överlappar varandra. Efter att man hade uppskattat partikelträffarnas medeltjocklek var det möjligt att räkna ut överbäringspartiklarnas volym innan de träffar sondens yta. Det är dock omöjligt att estimera den exakta tjockleken för varje enskild träff, för exakt hur partikeln deformeras vid träffen beror på många olika faktorer.

5 Slutsatser

Målet med projektet, som var att framställa en bildserie så att det är möjligt att tolka minutsondens utseende och avgöra hur stor avlagringstillväxtshastighet på den luftkylda sondens yta minutsonden motsvarar, nåddes. Utgående från minutsondens resultat kunde koncentration av överbäring räknas. Detta förutsatte dock ett antal antaganden, bland att hur tjockt lager partikelträffarna i medeltal bildade på sondytan. Användning av minutsonden vid mätning av överbäring är en fungerande metod för att uppskatta den momentana överbäringsmängden i en sodapanna. Från minutsondsfotografier kan man få ett begrepp om partikelstorleksvariationer. Man kunde även räkna fram hur mycket partiklar av en viss partikelstorlek som bidrar till bildning av avlagringar. Man såg klart att när överbäringsmängden ökar, så ökar också partikelstorleken. Större partikelträffar når högre upp när pannans belastning ökar då även rökgashastigheten ökar.

Innan analysering av fotografierna med ImageJ-programmet måste fotografierna omvandlas från färgskala till gråskala, då ImageJ inte klarar av att analysera bilder som är färgskalade. Bildbehandlingen orsakar att vissa partiklar försvinner och storleken på partikelträffarna kan variera något från originalbilden. Bildbehandlingen bidrar till att det är omöjligt att med ImageJ få noggranna resultat om partiklarnas storlek. En bestämning av överbäringsmängden utgående från minutsondens utseende är möjlig, men en lämplig exponeringstid måste användas. Två faktorer som påverkar valet av exponeringstiden är koncentrationen av överbäring samt minutsondens konstruktion. Om överbäringsmängden är stor måste en kortare exponeringstid användas då partikelträffarna börja överlappa varandra och det blir svårt att analysera mätresultaten. För lång exponering och för hög temperatur kan leda till att avlagringarna smälter, vilket orsakar att resultatet ej går att analysera då man inte kan urskilja enskilda partikelträffar . Vid mätningar gjorda inom detta arbete visade sig en exponeringstid på 20 s vara lämplig.

Vid hantering av sonden måste man vara varsam. Den höga rökgastemperaturen gör att sonden böjer sig uppåt vid exponering på grund av att värmeutvidgningen är större på den sida som är svängd mot rökgaserna. Detta kräver uppmärksamhet då man tar ut sonden så att man inte skrapar ytan som skall analyseras. Efter mätningen är sondens yta så het att den vid oförsiktig hantering kan tända eld på eller bränna vid föremål eller kläder om den kommer för nära dessa.

6 Eventuell utveckling av minutsonden

Med minutsonden är det möjligt att uppskatta variationer i överbäringsmängd på olika ställen i sodapannan. Med en längre sond är det möjligt att uppskatta överbäringsmängdvariationer på olika djup inne i sodapannan. Det blir dock svårare att estimera hur lång tid de olika delarna av sonden blir utsatta för överbäringspartiklar inne i sodapannan.

Noggrannare analyseringsresultat om täckningsgraden och partikelstorleken kan troligtvis erhållas med ett bildanalyseringsprogram som kan tolka bilder i färgskala. Det kan dock orsaka att noggrannare resultat av partikelträffarnas storlek påverkar regressionslinjens vinkelkoefficient (se Figur 27), som användes för att räkna ut hur stor tillväxt på luftkylda sondens yta en viss täckningsgrad motsvarar. Bättre mjukvara kanske finns för bildbehandling och bildanalysering, men dylika program är rätt dyra och det kan hända att man måste testa flera olika program för att hitta det lämpligaste. Ett alternativ skulle vara att konstruera ett eget program som enkelt skulle uppskatta partikelträffarnas storlek och täckningsgrad. Programmet skulle även kunna fråga efter vissa processparametrar och mätningstiden, varefter programmet automatiskt räknar ut överbäringsmängden i g/Nm³ och hur stor avlagringstillväxt i mm/h den erhållna täckningsgraden motsvarar.

Enligt Kauppinen m.fl. [18] kan partiklar av varierande storlek ha en varierande sammansättning. Det är möjligt att modifiera minutsonden, så att de i storlek varierande partikelträffarnas kemiska sammansättning kunde analyseras med till exempel ett svepelektronmikroskop (SEM) försett med en energidispersiv röntgenanalysator (EDXA). En möjlighet är även att gjuta in en del av minutsonden i epoxi eller liknande för att sedan snitta sondens yta och därmed eventuellt mäta tjockleken på partikelträffarna i till exempel ett elektronmikroskop.

7 Referenser

- Gullichsen J, Fogelholm C-J, editors: Papermaking Science and Technology: Book 6A, Chemical Pulping. Jyväskylä: Gummerus 2000
- Öhman M: Influence of Log Characteristics on Drum Debarking of Pulpwood Scand. J. For. Res. 15: 455-463, 2000
- Gullischen J, Kolehmainen H, Sundqvist Ha: On the nonuniformity of the kraft cook, Paperi ja Puu Vol. 74/No. 6 / 1992
- 4. <u>http://www.metsopaper.com/paper/MPwHome.nsf/FR?ReadForm&ATL=/paper/MP</u> wGeneral.nsf/WebWID/WTB-061129-2256F-CEECE
- Kovasin K: Cooking, The Heart of Pulp Manufacturing, Kurs i aktuell fiberteknologi 11.12.2007
- Stenius P, editor. Papermaking Science and Technology: Book 3, Forest Products Chemistry. Jyväskylä: Gummerus 2000
- Gullichsen Jn, Fogelholm C-J, editors: Papermaking Science and Technology: Book
 6B, Chemical Pulping. Jyväskylä: Gummerus 2000
- 8. Ryham R: High solids evaporation of kraft black liquor using heat treatment. Tappi Engineering Conference 1990.
- Grace T.M, Malcom E.W: Pulp and Paper Manufacture: Volume 5, Alkaline Pulping 3rd ed. The Joint Textbook Committee Of The Paper Industry Tappi 1989
- Foran D C: Tall Oil Soap Recovery; The Kraft Recovery Short Course January 17-20 2000 Orlando Florida.
- Vakkilainen E.K: High black liquor dry solids changes operation of recovery boiler, Paperi ja Puu Vol. 76/No. 8/1994
- 12. Llamas P, Dominguéz T, Vargas J.M, Llamas J, Franco J.M, Llamas A: A novel viscosity reducer for kraft process black liquors with a high dry solids content
- Adams T.N, Frederick W.J, Grace T.M, Hupa M, Iisa K, Jones A.K, Tran H.N: Kraft Recovery Boilers, Tappi Press 1997
- Vakkilainen E K: Kraft Recovery Boilers Principles and practice: Suomen Soodakattilayhdistys r.y. 2005
- 15. Vakkilainen E, Holm R: Firing very high solids black liquor in recovery boilers
- 16. Hupa M, Solin P, Hyöty P: Combustion behaviour of black liquor droplets, Journal of pulp and paper science vol 13. no 2 March 1987.
- 17. Frederick W.J, Noopila T, Hupa M: Swelling of spent pulping liquor droplets during combustion.
- Mikkanen P, Jokiniemi J.K, Kauppinen E.I, Vakkilainen E.K: Coarse ash particle characteristics in a pulp and paper industry chemical recovery boiler: Fuel 80 (2001) 987-999
- 19. Hupa M, Frederick W.J: Combustion of black liquor droplets, Tappi Kraft operations recovery short course Orlando FL. 9-14.1 1994

- Hyöty P.A, Ojala S.T: High-solids black liquor combustion: Tampella's Super Combustion system. January 1988 Tappi Journal.
- Tran H.N, Mao X, Kuhn D.C.S, Backman R and Hupa M: The sticky temperature of recovery boiler fireside deposits: International Chemical Recovery Conferance 11-14.6.2001 Whistler B.C. Canada.
- 22. Hupa H: Steam Boiler Materials and Ash. Kurs i material kemi 2, maj 2008.
- 23. Hupa M, Backman R, Skrifvars B-J and Forssèn M: Liquor-to-liquor differences in combustion and gasification processes: Dust composition and melting properties: Journal of pulp and paper science: vol 27 No 12 December 2001.
- 24. Hupa M, Backman R, Uppstu E: Fouling and corrosion mechanisms in the recovery boiler superheater area. Tappi Journal June 1987
- 25. Tran H.N, Martinez M, Reeve D.W, Cole T, Damon R.A, Clay D.T: Removal of recovery boiler fireside deposits by therman shedding. Pulp & Paper Canada 94:11 (1993)
- 26. Tran H.N, Thompson S.L, Pryke D.C, Reeve D.W: On-line measurement of fireside deposit accumulation in kraft recovery boilers.
- 27. Tran H.N, D.C Pryke D.C, D.W Reeve D.W: Control of fireside deposit formation in kraf recovery units: Pulp & Paper Canada 87:12 (1986)
- 28. Brisco B, Nichol M, Blackwell B, Brevis K, MacCallum: Application of modern recovery boiler instrumentation. Internation Chemical Recovery Conference 1989

- 29. I&I Final Technical Report DE-FG36-01GO11038 System for detection and control of deposition in kraft recovery boilers and monitoring glass furnaces. http://www.osti.gov/bridge/servlets/purl/816034-d1fwNR/native/816034.doc
- 30. <u>http://www.clydebergemann.com/_upload/Boiler_Inspection_Camera.pdf?document</u> ID=27528
- 31. Holve, D.J, Boinin M.P, Ariessohn P, Shaddix C.R: Real time in-situ laser measurement of intermediate size particles: International Chemical Recovery Conferance 11-14.6.2001 Whistler B.C. Canada.
- 32. Konttinen J, Veijonen T-P, Hupa M: The share of carry-over droplet residues at the furnace exit probe measurement in nine recovery boilers
- 33. Backman R, Skrifvars B-J, Hupa M, Siistonen P, Mäntyniemi J: Flue gas chemistry in recovery boilers with high levels of chlorine and potassium. Internation Chemical Recovery Conference 1995
- 34. Brink A, Mueller C, Theris M., "Mathematical analysis of carryover deposits-getting more out from the lab", Internal report, Åbo Akademi, Laboratoriet för oorganisk kem, 2005.

9.12.2008	Brännlut	Olja	Ånga	Torrhalt	Brännlut Temp	O2 i rökgas	Eldstad Temp vänster	Eldstad Temp höger	Eldstad Temp vänster	Eldstad Temp höger	TDS
	s/I	kg/s	kg/s	%	ပ	%	ç	ပ	ů	ů	
9.00-9.59	25,42	0,75	95,78	71,35	125,62	3,29	816,62	857,04	957,31	1018,86	2162,74
10.00-10.59	25,53	0,97	101,07	71,20	125,56	2,89	831,17	849,38	943,82	1006,63	2167,83
11.00-11.59	25,76	1,02	102,26	70,88	125,02	2,61	827,53	841,89	962,91	993,44	2177,04
12.00-12.59	26,11	1,02	102,52	70,70	125,02	2,66	824,42	863,68	971,08	979,67	2200,80
13.00-13.59	26,01	0,94	103,13	70,90	124,97	2,56	795,31	851,26	966,24	990,20	2198,74
14.00-14.59	24,37	0,71	94,36	71,15	125,05	2,95	800,38	866,22	954,65	991,92	2067,31
15.00-15.59	24,30	0,44	84,13	71,17	124,82	3,92	798,56	831,73	926,45	990,68	2062,46
16.00-16.59	25,42	0,41	84,79	71,04	124,31	3,92	778,25	851,35	949,81	1000,55	2152,99
17.00-17.59	23,32	0,86	82,14	70,93	124,83	4,46	802,43	867,67	951,71	1004,25	1972,60
9.12.2008											
medel	25,14	0,79	94,47	71,04	125,02	3,25	808,30	853,36	953,78	997,36	2129,17
10.12.2008	Brännlut	Olja	Ånga	Torrhalt	Brännlut Temp	02 i rökgas	Eldstad Temp vänster	Eldstad Temp höger	Eldstad Temp vänster	Eldstad Temp höger	TDS
	l/s	kg/s	kg/s	%	ပ	%	ů	ĉ	ů	ပံ	
9.00-9.59	19,72	0,92	81,79	72,41	125,31	4,64	787,27	851,09	920,57	1009,28	1702,89
10.00-10.59	20,04	0,90	82,89	72,13	125,22	4,43	780,52	881,71	921,71	1017,35	1723,47
11.00-11.59	20,65	0,83	84,53	71,69	124,88	4,46	777,57	850,96	927,79	990,87	1765,50
12.00-12.59	20,84	0,84	85,25	71,44	124,79	4,44	774,45	862,91	949,43	1006,72	1774,89
13.00-13.59	21,17	0,77	85,07	71,19	124,68	4,22	780,14	851,26	951,14	999,50	1796,64
14.00-14.59	20,80	0,60	82,14	70,94	124,62	4,73	783,78	848,83	933,76	974,46	1759,37
15.00-15.59	21,21	0,51	79,59	70,77	124,28	4,60	786,13	851,40	948,67	973,22	1789,94
16.00-16.59	22,20	0,52	80,63	70,65	124,17	4,63	781,89	811,74	966,43	985,18	1870,13
17.00-17.59	21,99	0,50	81,16	70,57	124,00	4,57	795,99	803,39	962,34	992,20	1850,60
10.12.2008											
medel	20,96	0,71	82,56	71,31	124,66	4,52	783,08	845,92	942,43	994,31	1781,49
11.12.2008	Brännlut	Olja	Ånga	Torrhalt	Brännlut Temp	O2 i rökgas	Eldstad Temp vänster	Eldstad Temp höger	Eldstad Temp vänster	Eldstad Temp höger	TDS
	l/s	kg/s	kg/s	%	ပ	%	ů	ĉ	ů	ပ	
9.00-9.59	22,11	0,69	83,94	71,08	123,23	4,52	825,48	869,07	967,38	1038,78	1873,91
11.00 11 50	20,22	0,79	90,02 01 60	70.66	123,30	0,00	001,09	00,100	1001	CD'1711	1000,20
12.00-12.59	22,46	0,75	86,12	70,45	123,29	4,48	856,11	858,20	983,44	1151.51	1886,42
13.00-13.59	22,85	0,79	87,39	70,22	123,00	4,29	850,58	863,32	999,38	1078,07	1913,34
14.00-15.01	4C,22	0,70	00,40	08'80	123,00	4, 10	90,100	60'000	909,40	20,0201	1000,04
11.12.2008 medel	22,42	0,74	88,89	70,54	123,23	4,20	845.78	870,74	999,54	1099.25	1885,55

Bilaga A: Processdata från massabruk A

Bilaga B: Mätningsplatserna vid massabruk A:s sodapanna



14.1.2009	brännlut	torrhalt %	brännlut Temp	ånga kg/s	ångtryck	ång Temp	O2 i Ekonom	SO2 i pipan	CO i Ekonom	NOX i pipan	TDS
	sli	%	°C	kg/s	bar	ŝ	%				
10.00-10.59	29,66	77,48	136,02	112,20	90'90	484,99	2,27	2,56	3,25	179,03	2740,57
11.00-11.59	29,55	77,41	136,01	112,42	90,94	485,33	2,27	1,59	2,91	180,80	2727,67
12.00-12.59	29,61	77,32	136,02	112,34	90,90	484,86	2,24	4,33	3,59	181,35	2730,08
13.00-13.59	29,62	77,28	136,01	111,68	90,86	485,33	2,05	3,54	3,59	181,84	2729,43
14.00-14.59	29,54	77,20	136,00	111,87	90'90	485,20	2,01	4,40	3,25	181,93	2718,79
15.00-15.59	29,55	77,08	136,02	111,79	90,86	484,52	2,10	3,17	3,93	182,08	2715,76
16.00-16.59	29,63	76,99	135,98	109,63	90,78	484,66	2,14	1,83	4,62	181,81	2720,01
14.1.2009											
medel	29,60	77,25	136,01	111,70	90,88	484,98	2,16	3,06	3,59	181,26	2726,04
15.1.2009	brännlut	torrhalt %	brännlut Temp	ånga kg/s	ångtryck	ång Temp	02 i Ekonom	SO2 i pipan	CO i Ekonom	NOX i pipan	TDS
	l/s	%	ŝ	kg/s	bar	°C	%				
8.00-8.59	26,12	78,29	135,22	102,12	90,74	485,20	2,30	2,08	3,25	196,21	2438,79
9.00-9.59	25,89	78,40	135,46	101,37	90,73	484,26	2,17	8,12	3,93	193,99	2419,73
10.00-10.59	26,07	78,51	135,66	102,75	90,74	485,40	2,12	6,35	3,93	194,87	2440,44
11.00-11.59	25,92	78,59	135,92	102,29	90,73	484,93	2,15	4,64	3,25	196,89	2429,40
12.00-12.59	26,02	78,74	136,17	101,93	90,74	483,99	2,14	4,09	4,36	196,52	2442,66
13.00-13.59	26,05	78,79	136,26	103,66	90,76	484,26	2,15	1,83	5,81	195,57	2446,87
14.00-14.59	25,91	78,79	136,20	103,50	90,76	484,52	2,31	1,83	3,59	196,12	2434,27
15.00-15.59	25,97	78,76	136,07	102,68	90,76	483,45	2,35	1,83	3,93	198,14	2438,51
16.00-16.59	26,05	78,74	135,98	102,63	90,74	483,32	2,41	1,83	3,93	197,04	2445,80
15.1.2009											
medel	26,00	78,62	135,88	102,55	90,75	484,37	2,23	3,62	4,00	196,15	2437,39
16.1.2009	brännlut	tormalt %	brännlut Temp	ånda ko/s	ånotrvck	åna Temp	02 i Ekonom	SO2 i pipan	CO i Ekonom	NOX i pipan	TDS
	lls	%	ŝ	kg/s	bar	ç	%				
8.00-8.59	24,93	78,13	135,31	98,20	90'06	483,32	1,51	78,27	6,41	182,69	2322,49
9.00-9.59	25,42	78,09	135,46	100,12	90,74	483,18	1,41	54,64	29,49	184,71	2367,28
10.00-10.59	25,88	78,10	135,62	102,90	90,78	482,91	1,39	2,81	71,54	195,36	2409,78
11.00-11.59	25,58	78,14	135,75	103,04	90,80	483,45	1,63	18,62	30,43	199,42	2383,49
12.00-12.59	25,11	78,14	135,82	101,00	90,76	481,97	2,02	27,66	6,75	201,13	2339,17
13.00-13.59	24,96	A/N#	#N/A	09 '60	90,73	481,90	2,01	#N/A	3,93	201,34	#N/A
16.1.2009											
medel	25,31	78,12	135,59	100,81	90,75	482,79	1,66	36,40	24,76	194,11	2364,44

Bilaga C: Processdata från massabruk B

Bilaga D: Mätningsplatserna vid massabruk B:s sodapanna



Bilaga E: Processdata från massabruk C

	brännlut	torrhalt	brännlut Temp	värmeeffect	björklut	TDS
	kg/s	%	°C	MW	%	
09.02.2009 9:00:00	44,7	81,4	141,4	43,6	45,9	3143,60
09.02.2009 10:00:00	44,7	81,4	141,4	43,3	45,4	3143,12
09.02.2009 11:00:00	44,7	81,4	141,4	43,4	45,6	3142,37
09.02.2009 12:00:00	44,7	81,3	141,3	43,4	43,1	3142,97
09.02.2009 13:00:00	44,8	81,3	141,3	43,3	43,2	3144,35
09.02.2009 14:00:00	44,8	81,3	141,3	43,4	44,9	3143,61
09.02.2009 15:00:00	44,8	81,3	141,2	43,5	44,4	3141,94
09.02.2009 16:00:00	44,4	81,3	141,2	43,1	44,6	3116,27
09.02.2009 17:00:00	44,1	81,3	141,2	43,5	43,8	3093,74
09.02.2009 18:00:00	43,4	81,2	141,1	42,5	44,8	3047,06
09.02.2009 19:00:00	43,6	81,0	140,8	43,7	45,8	3052,62
09.02.2009 20:00:00	45,2	80,6	140,5	44,1	45,2	3149,59
09.02.2009 21:00:00	45,2	80,3	140,5	43,3	44,5	3139,50
09.02.2009 22:00:00	44,2	80,2	140,5	42,9	45,3	3064,11
medel	44,5	81,1	141,1	43,4	44,8	3118,9
	brännlut	torrhalt	brännlut Temp	värmeeffect	björklut	TDS
	brännlut kg/s	torrhalt %	brännlut Temp °C	värmeeffect MW	björklut %	TDS
10.02.2009 9:00:00	brännlut kg/s 42,1	torrhalt % 81,4	brännlut Temp °C 141,5	värmeeffect MW 40,4	björklut % 47,4	TDS 2961,63
10.02.2009 9:00:00 10.02.2009 10:00:00	brännlut kg/s 42,1 42,2	torrhalt % 81,4 81,4	brännlut Temp ℃ 141,5 141,5	värmeeffect MW 40,4 40,1	björklut % 47,4 46,1	TDS 2961,63 2964,12
10.02.2009 9:00:00 10.02.2009 10:00:00 10.02.2009 11:00:00	brännlut kg/s 42,1 42,2 42,1	torrhalt % 81,4 81,4 81,4	brännlut Temp ℃ 141,5 141,5 141,5 141,5	värmeeffect MW 40,4 40,1 39,7	björklut % 47,4 46,1 45,4	TDS 2961,63 2964,12 2962,94
10.02.2009 9:00:00 10.02.2009 10:00:00 10.02.2009 11:00:00 10.02.2009 12:00:00	brännlut kg/s 42,1 42,2 42,1 42,1	torrhalt % 81,4 81,4 81,4 81,4	brännlut Temp °C 141,5 141,5 141,5 141,5 141,5	värmeeffect MW 40,4 40,1 39,7 39,6	björklut % 47,4 46,1 45,4 45,1	TDS 2961,63 2964,12 2962,94 2960,89
10.02.2009 9:00:00 10.02.2009 10:00:00 10.02.2009 11:00:00 10.02.2009 12:00:00 10.02.2009 13:00:00	brännlut kg/s 42,1 42,2 42,1 42,1 42,1	torrhalt % 81,4 81,4 81,4 81,4 81,4	brännlut Temp °C 141,5 141,5 141,5 141,5 141,5 141,4	värmeeffect MW 40,4 40,1 39,7 39,6 39,8	björklut % 47,4 46,1 45,4 45,1 43,7	TDS 2961,63 2964,12 2962,94 2960,89 2962,72
10.02.2009 9:00:00 10.02.2009 10:00:00 10.02.2009 11:00:00 10.02.2009 12:00:00 10.02.2009 13:00:00 10.02.2009 14:00:00	brännlut kg/s 42,1 42,2 42,1 42,1 42,1 42,1	torrhalt % 81,4 81,4 81,4 81,4 81,4 81,5	brännlut Temp °C 141,5 141,5 141,5 141,5 141,5 141,4 141,5	värmeeffect MW 40,4 40,1 39,7 39,6 39,8 39,9	björklut % 47,4 46,1 45,4 45,1 43,7 44,1	TDS 2961,63 2964,12 2962,94 2960,89 2962,72 2965,54
10.02.2009 9:00:00 10.02.2009 10:00:00 10.02.2009 11:00:00 10.02.2009 12:00:00 10.02.2009 13:00:00 10.02.2009 14:00:00 10.02.2009 15:00:00	brännlut kg/s 42,1 42,2 42,1 42,1 42,1 42,1 42,1	torrhalt % 81,4 81,4 81,4 81,4 81,4 81,5 81,5	brännlut Temp °C 141,5 141,5 141,5 141,5 141,5 141,4 141,5 141,5	värmeeffect MW 40,4 40,1 39,7 39,6 39,8 39,9 39,9	björklut % 47,4 46,1 45,4 45,1 43,7 44,1 43,7	TDS 2961,63 2964,12 2962,94 2960,89 2962,72 2965,54 2965,64
10.02.2009 9:00:00 10.02.2009 10:00:00 10.02.2009 11:00:00 10.02.2009 12:00:00 10.02.2009 13:00:00 10.02.2009 14:00:00 10.02.2009 15:00:00	brännlut kg/s 42,1 42,2 42,1 42,1 42,1 42,1 42,1 42,1	torrhalt % 81,4 81,4 81,4 81,4 81,4 81,5 81,5 81,5	brännlut Temp °C 141,5 141,5 141,5 141,5 141,5 141,5 141,5 141,5 141,5	värmeeffect MW 40,4 40,1 39,7 39,6 39,8 39,9 39,9 39,9 39,6	björklut % 47,4 46,1 45,4 45,1 43,7 44,1 43,7 45,6	TDS 2961,63 2964,12 2962,94 2960,89 2962,72 2965,54 2965,64 2965,82
10.02.2009 9:00:00 10.02.2009 10:00:00 10.02.2009 11:00:00 10.02.2009 12:00:00 10.02.2009 13:00:00 10.02.2009 14:00:00 10.02.2009 15:00:00 10.02.2009 16:00:00	brännlut kg/s 42,1 42,2 42,1 42,1 42,1 42,1 42,1 42,1	torrhalt % 81,4 81,4 81,4 81,4 81,4 81,5 81,5 81,5 81,5	brännlut Temp °C 141,5 141,5 141,5 141,5 141,5 141,5 141,5 141,5 141,5 141,5	värmeeffect MW 40,4 40,1 39,7 39,6 39,8 39,9 39,9 39,9 39,6 40,0	björklut % 47,4 46,1 45,4 45,1 43,7 44,1 43,7 45,6 44,7	TDS 2961,63 2964,12 2962,94 2960,89 2962,72 2965,54 2965,54 2965,82 2964,46
10.02.2009 9:00:00 10.02.2009 10:00:00 10.02.2009 11:00:00 10.02.2009 12:00:00 10.02.2009 13:00:00 10.02.2009 14:00:00 10.02.2009 15:00:00 10.02.2009 16:00:00 10.02.2009 18:00:00	brännlut kg/s 42,1 42,2 42,1 42,1 42,1 42,1 42,1 42,1	torrhalt % 81,4 81,4 81,4 81,4 81,5 81,5 81,5 81,5 81,5	brännlut Temp °C 141,5 141,5 141,5 141,5 141,5 141,5 141,5 141,5 141,5 141,5 141,5	värmeeffect MW 40,4 40,1 39,7 39,6 39,8 39,9 39,9 39,9 39,6 40,0 40,1	björklut % 47,4 46,1 45,4 45,1 43,7 44,1 43,7 45,6 44,7 45,1	TDS 2961,63 2964,12 2962,94 2960,89 2962,72 2965,54 2965,54 2965,64 2965,82 2964,46 2962,76
10.02.2009 9:00:00 10.02.2009 10:00:00 10.02.2009 11:00:00 10.02.2009 12:00:00 10.02.2009 13:00:00 10.02.2009 14:00:00 10.02.2009 15:00:00 10.02.2009 16:00:00 10.02.2009 18:00:00 10.02.2009 19:00:00	brännlut kg/s 42,1 42,2 42,1 42,1 42,1 42,1 42,1 42,1	torrhalt % 81,4 81,4 81,4 81,4 81,4 81,5 81,5 81,5 81,5 81,5 81,4	brännlut Temp °C 141,5 141,5 141,5 141,5 141,5 141,5 141,5 141,5 141,5 141,5 141,5 141,5	värmeeffect MW 40,4 40,1 39,7 39,6 39,8 39,9 39,9 39,6 40,0 40,1 39,9	björklut % 47,4 46,1 45,4 45,1 43,7 44,1 43,7 45,6 44,7 45,1 44,0	TDS 2961,63 2964,12 2962,94 2960,89 2962,72 2965,54 2965,64 2965,82 2964,46 2962,76 2962,27
10.02.2009 9:00:00 10.02.2009 10:00:00 10.02.2009 11:00:00 10.02.2009 12:00:00 10.02.2009 13:00:00 10.02.2009 14:00:00 10.02.2009 15:00:00 10.02.2009 16:00:00 10.02.2009 18:00:00 10.02.2009 19:00:00	brännlut kg/s 42,1 42,2 42,1 42,1 42,1 42,1 42,1 42,1	torrhalt % 81,4 81,4 81,4 81,4 81,4 81,5 81,5 81,5 81,5 81,5 81,5 81,4 81,4	brännlut Temp °C 141,5 141,5 141,5 141,5 141,5 141,5 141,5 141,5 141,5 141,5 141,5 141,6 141,6	värmeeffect MW 40,4 40,1 39,7 39,6 39,8 39,9 39,9 39,6 40,0 40,1 39,9 39,7	björklut % 47,4 46,1 45,4 45,1 43,7 44,1 43,7 45,6 44,7 45,1 44,0 45,0	TDS 2961,63 2964,12 2962,94 2960,89 2962,72 2965,54 2965,64 2965,82 2964,46 2962,76 2962,27 2962,75
10.02.2009 9:00:00 10.02.2009 10:00:00 10.02.2009 11:00:00 10.02.2009 12:00:00 10.02.2009 13:00:00 10.02.2009 14:00:00 10.02.2009 15:00:00 10.02.2009 16:00:00 10.02.2009 18:00:00 10.02.2009 19:00:00 10.02.2009 20:00:00	brännlut kg/s 42,1 42,2 42,1 42,1 42,1 42,1 42,1 42,1	torrhalt % 81,4 81,4 81,4 81,4 81,4 81,5 81,5 81,5 81,5 81,5 81,5 81,5 81,4 81,4	brännlut Temp °C 141,5 141,5 141,5 141,5 141,5 141,5 141,5 141,5 141,5 141,5 141,5 141,5 141,5 141,6 141,6 141,5	värmeeffect MW 40,4 40,1 39,7 39,6 39,8 39,9 39,9 39,9 39,6 40,0 40,1 39,9 39,7 40,3	björklut % 47,4 46,1 45,4 45,1 43,7 44,1 43,7 45,6 44,7 45,1 44,0 45,0 44,4	TDS 2961,63 2964,12 2962,94 2960,89 2962,72 2965,54 2965,64 2965,82 2964,46 2962,76 2962,77 2962,75 2963,68
10.02.2009 9:00:00 10.02.2009 10:00:00 10.02.2009 11:00:00 10.02.2009 12:00:00 10.02.2009 13:00:00 10.02.2009 14:00:00 10.02.2009 15:00:00 10.02.2009 16:00:00 10.02.2009 17:00:00 10.02.2009 19:00:00 10.02.2009 20:00:00 10.02.2009 21:00:00	brännlut kg/s 42,1 42,2 42,1 42,1 42,1 42,1 42,1 42,1	torrhalt % 81,4 81,4 81,4 81,4 81,4 81,5 81,5 81,5 81,5 81,5 81,5 81,4 81,4 81,4	brännlut Temp °C 141,5 141,5 141,5 141,5 141,5 141,5 141,5 141,5 141,5 141,5 141,6 141,6 141,5 141,5	värmeeffect MW 40,4 40,1 39,7 39,6 39,8 39,9 39,9 39,6 40,0 40,1 39,9 39,7 40,3 40,4	björklut % 47,4 46,1 45,4 45,1 43,7 44,1 43,7 45,6 44,7 45,6 44,7 45,1 44,0 45,0 44,4 47,3	TDS 2961,63 2964,12 2962,94 2960,89 2962,72 2965,54 2965,64 2965,82 2964,46 2962,76 2962,27 2962,75 2963,68 2917,26

	brännlut	torrhalt	brännlut Temp	värmeeffect	björklut	TDS
	kg/s	%	°C	MW	%	
11.02.2009 9:00:00	42,3	81,1	141,1	39,6	47,0	2960,96
11.02.2009 10:00:00	42,3	80,6	140,7	39,4	47,5	2946,99
11.02.2009 11:00:00	42,5	79,9	140,2	39,7	46,9	2934,57
11.02.2009 12:00:00	42,7	79,7	139,9	39,5	47,1	2938,39
11.02.2009 13:00:00	42,7	79,8	139,8	39,7	47,8	2942,71
11.02.2009 14:00:00	42,6	80,0	139,8	40,0	53,1	2946,82
11.02.2009 15:00:00	42,6	80,2	139,9	40,0	46,6	2952,12
11.02.2009 16:00:00	42,6	80,4	140,0	40,1	47,2	2958,71
11.02.2009 17:00:00	42,5	80,6	140,2	39,9	48,3	2958,83
11.02.2009 18:00:00	42,4	80,6	140,3	39,7	51,2	2955,81
11.02.2009 19:00:00	41,5	80,7	140,4	39,4	49,0	2895,74
11.02.2009 20:00:00	39,6	80,8	140,5	38,0	48,2	2763,65
11.02.2009 21:00:00	38,5	80,9	140,4	38,4	47,8	2693,69
11.02.2009 22:00:00	38,5	81,0	140,1	38,4	51,3	2691,79
medel	41,7	80,5	140,2	39,4	48,5	2895,8

	brännlut	torrhalt	brännlut Temp	värmeeffect	björklut	TDS
	kg/s	%	°C	MW	%	
12.02.2009 9:00:00	41,8	81,1	138,0	39,4	53,2	2929,73
12.02.2009 10:00:00	41,8	81,1	137,9	39,5	58,5	2927,70
12.02.2009 11:00:00	41,9	81,0	137,9	39,6	60,0	2930,83
12.02.2009 12:00:00	41,9	81,0	137,8	39,4	57,8	2935,85
12.02.2009 13:00:00	41,9	81,1	137,8	39,2	55,0	2937,77
12.02.2009 14:00:00	42,0	81,1	137,8	39,4	57,0	2941,70
12.02.2009 15:00:00	41,9	81,2	137,9	39,2	52,4	2942,33
12.02.2009 16:00:00	41,9	81,2	138,0	39,3	60,3	2940,91
12.02.2009 17:00:00	41,9	81,2	138,1	39,1	52,7	2938,67
12.02.2009 18:00:00	41,8	81,2	138,1	39,0	53,9	2934,46
12.02.2009 19:00:00	41,8	81,1	138,0	39,1	53,0	2931,97
12.02.2009 20:00:00	41,8	81,0	138,6	39,7	53,9	2927,84
12.02.2009 21:00:00	41,4	80,8	139,5	39,3	50,8	2889,12
12.02.2009 22:00:00	39,9	80,7	140,3	38,1	50,6	2779,38
medel	41,7	81,1	138,3	39,2	54,9	2920,6

Bilaga F: Mätningsplatserna vid massabruk C:s sodapanna



Bilaga G: Exempel på hur ImageJ-resultat ser ut

									Diameter		
	Area	Mean	Min	Max	Perim,	Circ,	Feret	%Area	*	Diameter**	Volym *
1	3,872	252,581	64	255	24,13	0,084	6,143	100	2,220	0,201	5,731
2	0,044	220,146	81	255	2,5	0,089	0,503	100	0,237	0,028	0,007
3	0,059	249,484	169	255	1,336	0,417	0,43	100	0,274	0,044	0,011
4	5,989	252,231	63	255	23,674	0,134	4,05	100	2,761	0,471	11,025
5	0.37	249.258	82	255	5.571	0.15	1.673	100	0.686	0.070	0.169
6	0.229	252.79	112	255	3,136	0.293	0.98	100	0.540	0.074	0.082
7	5,501	252.637	63	255	30,607	0.074	4,896	100	2.647	0.358	9,706
8	0,699	252 455	81	255	4 113	0,519	1 491	100	0.943	0 149	0 440
q	0,000	250,866	80	255	6 57	0,209	1,101	100	0.957	0 136	0 459
10	0.025	196 222	81	255	1 515	0,200	0.561	100	0 178	0.014	0,400
11	0,020	238 435	232	255	0.638	0,657	0,001	100	0,170	0,014	0,000
12	0,021	230,433	232	255	4.046	0,007	1 107	100	0,104	0,001	0,002
12	0,37	249,5	110	255	4,040	0,204	0.541	100	0,000	0,090	0,109
14	0,134	249,441	01 Q1	255	0.056	0,731	0,341	100	0,413	0,079	0,037
14	0,039	240,01	164	255	0,950	0,000	0,330	100	0,223	0,037	0,000
15	0,034	252,324	104	200	0,090	0,001	0,251	100	0,206	0,043	0,005
10	0,024	228,269	81	255	1,140	0,23	0,438	100	0,175	0,017	0,003
17	0,09	218,897	80	255	4,086	0,067	0,793	100	0,339	0,036	0,020
18	0,072	230,487	81	255	2,604	0,134	0,62	100	0,303	0,037	0,015
19	0,14	252,709	81	255	1,461	0,822	0,499	100	0,422	0,089	0,039
20	17,038	253,516	63	255	46,33	0,1	7,438	100	4,658	0,729	52,904
21	0,027	219,172	80	255	0,784	0,548	0,287	100	0,185	0,030	0,003
22	1,575	252,985	81	255	6,389	0,485	1,653	100	1,416	0,303	1,487
23	0,413	248,794	64	255	4,512	0,255	0,975	100	0,725	0,135	0,200
24	0,064	218,928	81	255	2,621	0,117	0,581	100	0,285	0,035	0,012
25	0,03	239,312	147	255	1,784	0,117	0,4	100	0,195	0,024	0,004
26	0,067	217,247	64	255	2,467	0,139	0,68	100	0,292	0,031	0,013
27	0,165	251,051	80	255	2,346	0,376	0,683	100	0,458	0,077	0,050
28	0,139	246,973	81	255	1,587	0,692	0,499	100	0,421	0,089	0,039
29	0,024	225,192	81	255	0,931	0,348	0,287	100	0,175	0,027	0,003
30	0,103	248,721	80	255	1,415	0,644	0,456	100	0,362	0,072	0,025
31	0,59	251,491	80	255	5,258	0,268	1,375	100	0,867	0,137	0,341
32	0,378	248,024	64	255	5,114	0,182	1,226	100	0,694	0,098	0,175
33	0,02	229	81	255	1,182	0,183	0,327	100	0,160	0,019	0,002
34	0,09	245,959	112	255	1,855	0,327	0,452	100	0,339	0,063	0,020
35	0,026	237,393	147	255	1,128	0,255	0,299	100	0,182	0,028	0,003
36	0.02	232.955	81	255	1.093	0.214	0.287	100	0.160	0.022	0.002
37	0.247	251.73	162	255	2.278	0.598	0.753	100	0.561	0.104	0.092
38	0.02	251	233	255	0.698	0.524	0.26	100	0.160	0.024	0.002
39	0.042	236.4	120	255	1,182	0.374	0.34	100	0.231	0.039	0.006
40	0.052	245 357	65	255	0.967	0,696	0.366	100	0.257	0.045	0,009
41	0.049	245 547	64	255	1 128	0 484	0,396	100	0,250	0,039	0,008
42	0 1 1 9	210,011	82	255	1 604	0 582	0,500	100	0 389	0.073	0.031
12	0,110	244	65	255	1,004	0,002	0,017	100	0,305	0,073	0,001
40	0,000	212 233	64	255	1 844	0,000	0,43	100	0,025	0,034	0,010
44	0,035	212,200	64	255	2 1 4 5	0,200	0,0463	100	0,200	0,032	0,010
40	0,043	223,472	64	255	4 501	0,154	1 272	100	0,250	0,034	0,000
40 17	0,110	201,007	04	200	4,001	0,404	0.201	100	0,990	0,100	0,010
47 18	0,040	221,104	01 112	200	1,300	0,290	0,001	100	0,239	0,030	0,007
40	0,020	255,110	113	200	0,913	0,370	0,347	100	0,170	0,023	0,003
49 50	0,531	200,841	01	200	4,312	0,359	1,159	100	0,822	0,146	0,291
50	0,139	248,44	63	255	1,941	0,462	0,599	100	0,421	0,074	0,039
21	0,089	241,108	64	255	1,268	0,694	0,438	100	0,337	0,065	0,020

52	0,021	237,609	111	255	0,982	0,277	0,262	100	0,164	0,026	0,002
53	0,02	213,136	81	255	1,071	0,223	0,355	100	0,160	0,018	0,002
54	0,031	212,939	64	255	1,293	0,229	0,423	100	0,199	0,023	0,004
55	7,069	252,693	63	255	30,103	0,098	4,118	100	3,000	0,546	14,138
56	2,737	252,381	64	255	12,558	0,218	3,062	100	1,867	0,285	3,406
57	0,263	249,303	64	255	3,96	0,21	0,841	100	0,579	0,100	0,101
58	0,169	249,475	64	255	2,235	0,426	0,683	100	0,464	0,079	0,052
59	0,028	210,267	64	255	0,949	0,387	0,28	100	0,189	0,032	0,004
60	0.022	251,583	247	253	0.519	. 1	0.215	100	0.167	0.033	0.002
61	0.082	249,528	162	255	1.751	0.337	0.606	100	0.323	0.043	0.018
62	0.043	226,478	63	255	1,483	0.243	0,406	100	0.234	0.034	0.007
63	0.145	250,815	120	255	1,787	0.571	0.574	100	0.430	0.080	0.042
64	0.036	217 359	64	255	1 25	0.29	0.371	100	0 214	0.031	0.005
65	0.03	203 656	80	255	1 716	0 126	0 414	100	0 195	0.023	0.004
66	0.871	251 517	65	255	6 164	0.288	1 602	100	1 053	0,020	0,004
67	0.035	226 763	112	255	1 822	0,200	0 422	100	0.211	0.026	0.005
68	0,000	250,703	81	255	1,022	0,133	0,422	100	0,211	0,020	0,000
60	0,121	230,703	120	255	0.612	0,007	0,525	100	0,395	0,074	0,032
70	0,027	243,021	140	255	0,012	0,090	0,20	100	0,105	0,033	0,003
70	0,032	243,971	162	200	1 905	0,451	0,301	100	0,202	0,034	0,004
70	0,125	200,090	103	200	1,095	0,437	0,555	100	0,399	0,072	0,033
70	0,024	231,209	64	200	1,134	0,227	0,299	100	0,175	0,026	0,003
73	0,158	245,123	64	255	2,743	0,264	0,83	100	0,449	0,061	0,047
74	0,028	204,567	64	255	1,293	0,208	0,344	100	0,189	0,026	0,004
75	0,026	211,071	82	255	0,853	0,447	0,31	100	0,182	0,027	0,003
76	0,122	252,295	205	255	1,461	0,719	0,585	100	0,394	0,066	0,032
//	0,04	200,558	64	255	1,483	0,227	0,355	100	0,226	0,036	0,006
78	2,029	252,59	65	255	8,139	0,385	2,565	100	1,607	0,252	2,174
79	0,127	251,927	147	255	1,736	0,528	0,548	100	0,402	0,074	0,034
80	0,1	250,157	64	255	1,303	0,738	0,457	100	0,357	0,070	0,024
81	0,279	249,536	81	255	3,037	0,38	0,775	100	0,596	0,115	0,111
82	0,02	226,727	64	255	0,81	0,39	0,258	100	0,160	0,025	0,002
83	11,411	252,177	63	255	54,5	0,048	6,81	100	3,812	0,533	28,997
84	0,914	252,012	64	255	7,194	0,222	1,873	100	1,079	0,155	0,657
85	0,12	250,385	111	255	1,622	0,574	0,525	100	0,391	0,073	0,031
86	0,548	251,076	81	255	5,193	0,255	1,198	100	0,835	0,146	0,305
87	0,079	247,365	64	255	1,253	0,629	0,495	100	0,317	0,051	0,017
88	1,038	249,903	63	255	9,361	0,149	1,733	100	1,150	0,191	0,796
89	0,208	248,022	81	255	2,571	0,395	0,723	100	0,515	0,092	0,071
90	0,047	233,529	64	255	1,723	0,2	0,548	100	0,245	0,027	0,008
91	0,197	249,535	63	255	3,18	0,245	0,83	100	0,501	0,076	0,066
92	0,23	238,651	64	255	4,061	0,175	1,038	100	0,541	0,071	0,083
93	0,03	225,312	64	255	0,939	0,422	0,304	100	0,195	0,031	0,004
94	0,029	237	64	255	0,999	0,361	0,317	100	0,192	0,029	0,004
95	0,106	224,617	63	255	4,352	0,071	0,858	100	0,367	0,039	0,026
96	1,236	251,86	81	255	11,165	0,125	2,256	100	1,254	0,174	1,034
97	0,055	242,763	120	255	1,404	0,348	0,491	100	0,265	0,036	0,010
98	0,172	243,973	63	255	2,113	0,484	0,67	100	0,468	0,082	0,054
99	0,049	229,528	64	255	1,415	0,308	0,371	100	0,250	0,042	0,008
100	0.032	233.4	81	255	1.429	0.199	0.449	100	0.202	0.023	0.004
101	0.113	250.41	119	255	1.726	0.476	0.653	100	0.379	0.055	0.029
102	0.032	235.657	64	255	1,146	0.309	0.371	100	0.202	0.027	0.004
103	0.026	218 357	64	255	0.913	0.39	0.327	100	0,182	0.025	0.003
104	1.063	252 502	81	255	5,575	0 43	1 457	100	1,163	0 232	0 824
105	0.026	239 429	81	255	1,128	0.255	0 299	100	0,182	0 028	0 003
106	0 192	244 471	64	255	2 535	0.376	0 752	100	0 494	0.081	0.063
107	0.02	246 455	111	255	0.655	0 595	0 272	100	0 160	0 023	0,000
102	3 NR	250,400	63	255	21 226	0,000	0,212 115	100	1 080	0,020	4 066
100	3.00	200.101	00	200	Z 1.ZJU	0.000	4.140	100	1.300	U.Z.JI	4.000

109	0,233	248,694	63	255	2,303	0,552	0,774	100	0,545	0,096	0,085
110	10,182	251,375	63	255	45,575	0,062	6,012	100	3,601	0,539	24,441
111	0,036	233,385	64	255	1,432	0,221	0,414	100	0,214	0,028	0,005
112	0,06	223,892	63	255	1,708	0,259	0,472	100	0,276	0,040	0,011
113	0,026	213,714	63	255	1,06	0,289	0,299	100	0,182	0,028	0,003
114	0,043	216,447	64	255	2,368	0,097	0,548	100	0,234	0,025	0,007
115	0.052	245.661	79	255	1.25	0.416	0.371	100	0.257	0.045	0.009
116	1.731	251.221	64	255	10.607	0.193	1.971	100	1,485	0.280	1.713
117	0.022	237,417	64	255	0.87	0.368	0.304	100	0.167	0.023	0.002
118	0.658	252 656	80	255	3 659	0.618	1 062	100	0.915	0 197	0 402
119	0.02	218 864	64	255	0,000	0.26	0.366	100	0 160	0.017	0.002
120	0.031	246 303	81	255	0,002	0 684	0.287	100	0,199	0.034	0,002
121	0.028	242 267	81	255	0 741	0.634	0.275	100	0 189	0.032	0 004
122	0,020	245 772	80	255	1 Q11	0,004	1 333	100	0,100	0,002	0,004
122	0,070	236 017	81	255	0 734	0,134	0.304	100	0,005	0,005	0,171
120	2 3 1 6	250,317	80	255	12 323	0,770	2 674	100	0,203	0,035	2 651
124	2,510	201,022	80	255	1 0 2 5	0,132	2,074	100	0.250	0,270	2,001
120	0,043	241,412	110	255	0.030	0,575	0,423	100	0,205	0,037	0,000
120	0,033	244,300	119	255	1 470	0,475	0,327	100	0,203	0,032	0,005
127	0,030	234,795	00	200	7 402	0,209	0,499	100	0,214	0,023	0,005
120	0,710	240,070	00	200	1,402	0,104	1,703	100	0,955	0,129	0,400
129	0,023	240,52	00	255	1,140	0,221	0,37	100	0,171	0,020	0,003
130	0,289	247,99	62	255	3,484	0,299	0,904	100	0,607	0,102	0,117
131	0,035	215,684	81	255	1,594	0,174	0,37	100	0,211	0,030	0,005
132	0,033	235,417	63	255	0,81	0,638	0,287	100	0,205	0,037	0,005
133	0,055	245,167	81	255	1,386	0,363	0,389	100	0,265	0,045	0,010
134	0,114	239,26	64	255	2,421	0,244	0,548	100	0,381	0,066	0,029
135	0,098	247,434	64	255	1,478	0,563	0,499	100	0,353	0,063	0,023
136	0,043	244,935	82	255	1,035	0,499	0,329	100	0,234	0,042	0,007
137	0,021	229,87	112	255	0,749	0,477	0,237	100	0,164	0,028	0,002
138	0,03	244,281	81	255	0,999	0,372	0,34	100	0,195	0,028	0,004
139	0,166	249,478	81	255	1,701	0,723	0,581	100	0,460	0,091	0,051
140	0,61	250,782	81	255	5,271	0,276	1,336	100	0,881	0,145	0,358
141	0,043	244,915	81	255	1,189	0,386	0,355	100	0,234	0,039	0,007
142	0,023	237,16	112	255	0,888	0,368	0,34	100	0,171	0,022	0,003
143	0,055	245,917	81	255	1,06	0,62	0,371	100	0,265	0,047	0,010
144	0,046	236,08	80	255	1,655	0,212	0,523	100	0,242	0,028	0,007
145	0,179	246,665	64	255	2,897	0,268	0,723	100	0,477	0,079	0,057
146	0,107	235,621	64	255	3,636	0,102	0,841	100	0,369	0,040	0,026
147	0,05	247,444	81	255	1,01	0,615	0,385	100	0,252	0,041	0,008
148	0,111	243,175	80	255	1,776	0,442	0,7	100	0,376	0,050	0,028
149	3,572	246,952	63	255	35,396	0,036	4,637	100	2,133	0,245	5,078
150	0,048	243,327	64	255	1,257	0,382	0,385	100	0,247	0,040	0,008
151	0,041	241,545	82	255	1,164	0,377	0,432	100	0,228	0,030	0,006
152	7,129	248,514	62	255	55,748	0,029	8,148	100	3,013	0,279	14,319
153	0,032	240,457	112	255	1,655	0,148	0,408	100	0,202	0,025	0,004
154	0,033	225,361	64	255	1,336	0,234	0,366	100	0,205	0,029	0,005
155	0.502	250.645	63	255	4.752	0.279	1.2	100	0.799	0.133	0.268
156	0.229	252.379	91	255	2.045	0.689	0.641	100	0.540	0.114	0.082
157	1,117	247,213	63	255	13.041	0.083	2,311	100	1,193	0.154	0.888
158	0.02	219.045	81	255	0.992	0.26	0.288	100	0,160	0.022	0.002
159	0.058	232 317	63	255	1,637	0.273	0,408	100	0.272	0.045	0.011
160	0.032	249.8	169	255	0.931	0.469	0,304	100	0 202	0 034	0 004
161	0 022	270,0	111	255	0 999	0 279	0,004	100	0 167	0.018	0 007
162	0 004	244 197	64	255	1 810	0.358	0,550	100	0.346	0.052	0,002
162	0 12	277,121	62	255	2 702	0 10/	0.656	100	0,040	0,002	0,022
164	0,12	200	82	255	2,133	0,134	0,000	100	0,001	0,000	0.051
165	0,107	230 262	111	255	1 069	0,428	0,010	100	0,401	0,000	0,001
100	0,000	200,202	111	200	1,000	0,+∠0	0,04	100	0,220	0,007	0,000

166	0,932	249,16	64	255	12,065	0,08	1,973	100	1,089	0,150	0,677
167	0,03	233,844	81	255	1,017	0,359	0,347	100	0,195	0,028	0,004
168	0,106	239,93	64	255	3,163	0,134	0,731	100	0,367	0,046	0,026
169	0,033	220,028	65	255	1,594	0,165	0,432	100	0,205	0,024	0,005
170	0,029	236,774	81	255	1,518	0,156	0,323	100	0,192	0,029	0,004
171	0,027	205	64	255	1,068	0,296	0,287	100	0,185	0,030	0,003
172	0,027	214,793	63	255	1,318	0,194	0,347	100	0,185	0,025	0,003
173	0,03	227,938	63	255	1,282	0,226	0,347	100	0,195	0,028	0,004
174	0,155	243,387	63	255	1,744	0,642	0,603	100	0,444	0,082	0,046
175	0,087	235,372	64	255	1,991	0,275	0,52	100	0,333	0,053	0,019
176	0,079	246,365	64	255	1,526	0,424	0,456	100	0,317	0,055	0,017
177	0,642	252,01	147	255	4,926	0,333	1,63	100	0,904	0,125	0,387
178	0,163	240,835	64	255	4,971	0,083	0,821	100	0,456	0,063	0,050
179	0,048	241,519	64	255	1,103	0,496	0,34	100	0,247	0,045	0,008
180	0,029	221,387	81	255	1,007	0,355	0,304	100	0,192	0,030	0,004
181	0,023	214,16	111	255	0,956	0,318	0,34	100	0,171	0,022	0,003
182	0,062	230,239	64	255	2,274	0,15	0,59	100	0,281	0,033	0,012
183	0,059	242,5	80	255	1,392	0,383	0,475	100	0,274	0,040	0,011
184	0,038	238,073	80	255	1,286	0,288	0,34	100	0,220	0,036	0,006
185	0,037	236,325	66	255	1,533	0,198	0,387	100	0,217	0,030	0,005
186	0,038	230,854	65	255	1,647	0,175	0,49	100	0,220	0,025	0,006
187	0,029	238,194	112	255	0,741	0,655	0,272	100	0,192	0,034	0,004
	112,203										195,195

Diameter *

uträcknad som om arean skulle vara en perfect cirkel

Diameter ** uträcknad som om arean skulle vara en ellips med andra som ferrets diameter

Volym *

Volym på en sfär med radien Diameter *

1,4	mm/h	sond 1	sond 2	sond 3	sond 4	MEAN	STVD
	Area (mm^2)	43,5	40,8	27,0	43,1	38,6	7,8
	Volym (mm^3)	25,4	17,5	9,4	24,4	19,2	7,4
	Area %	14,5	13,6	9,0	14,4	12,9	2,6
2,4	mm/h	sond 1	sond 2	sond 3	sond 4	MEAN	STVD
	Area (mm ²)	54,7	45,5	48,0	43,6	48,0	4,9
	Volym (mm^3)	24,3	16,5	23,6	19,1	20,9	3,7
	Area %	18,3	15,5	16,3	14,7	16,2	1,5
3,2	mm/h	sond 1	sond 2	sond 3	sond 4	MEAN	STVD
	Area (mm^2)	83,5	53,3	87,6	86,3	77,7	16,3
	Volym (mm^3)	79,4	43,7	82,1	81,2	71,6	18,7
	Area %	28,6	17,8	29,3	28,8	26,1	5,6
4,0	mm/h	sond 1	sond 2	sond 3	sond 4	MEAN	STVD
	Area (mm^2)	97,2	99,6	79,2	88,8	91,2	9,2
	Volym (mm^3)	106,8	95,2	69,8	80,3	88,0	16,3
	Area %	32,4	33,3	26,4	29,7	30,5	3,1
4,8	mm/h	sond 1	sond 2	sond 3	sond 4	MEAN	STVD
	Area (mm^2)	113,5	116,1	120,6	118,7	117,2	3,1
	Volym (mm^3)	195,2	147,6	199,1	192,0	183,5	24,1
	Area %	37,9	38,7	40,3	39,6	39,1	1,0
5,6	mm/h	sond 1	sond 2	sond 3	sond 4	MEAN	STVD
	Area (mm^2)	112,2	120,8	137,7	128,2	124,7	10,8
	Volym (mm^3)	195,2	196,2	302,7	311,0	251,3	64,3
	Area %	39,9	40,4	45,9	42,8	42,3	2,7

Bilaga H: Resultaten från de analyserade bildserierna

Bilaga I: Uträkning av g/Nm³ utgående från minutsondens täckningsgrad

Input		<u>enhet</u>
Lutinsprutning	15	l/s
Lutens densitet	1,4326	kg/dm^3
Torrhalt	80,4	%
Överlopps O ₂ i våtrökgasen (wfg)	2,28	%
Temperatur vid mätningstället (bullnose)	900	Celcius
Area vid mätningsstället (Bullnose)	81,25	m^2
partiklelträffarnas täckningsgrad på minutsondens yta	<mark>42,8</mark>	%
mätningstid	20	s

Output

motsvarande tillväxt på Luftkylda sondens yta	5,50	mm/h	(Utgående från grafen nedan)
Carryover i torrökgas (dfg)	4,5	g/Nm^3	
Carryover i våtrökgas (wfg)	3,9	g/Nm^3	
Rökgashastighet vid Bullnose (dfg)	3,70	m/s	
Rökgashastighet vid Bullnose (wfg)	4,32	m/s	



Filen var uträkningarna sker

	<u>Given data</u>					
mättid	20 s					
Area vid bullnose	81.25 m^2					
Täckningsgrad	42,8	42,8 % =		0,428	avlagringens volvm :	0,00243425 m^3
tiocklek	0.07	0.07 mm =		0.00007 m	avlagringsvolvm=arean*täck	mingsgrad*tiocklek
carrvover densitet	2600	kg/m^3		.,	8 8 9	6-6 · · · · ·
Temperature (celsius)		900	celsius			
fuel feed		15	l/s	17 277156 ka/s day Bl		
O2 in dry fa		2 28	vol-%	21 489 kg/s wet BI		
Density		1 4326	ka/dm3	21,400 Ng/0 Wol DE	- H2O entr	ering with BI: 4.211844 kg/s
Dry solids		0.80/	ligramo		1120 010	0 233784 kmol/s
2.,00		0,004				0,200704 Kilors
	Element	wt-%	kg/s	kmol/s		
	С	38,2	6,59987359	0,5495315		
	н	3,4	0,5874233	0,5827612		
	0	31,1	5,37319552	0,3358247		
	N	0.1	0.01727716	0.0012332		
	s	5.2	0.89841211	0.0280141		
	Na	19.8	3 42087689	0 1487985		
	ĸ	19	0 32826596	0.0083955		
	CI	0.1	0.01727716	0.0004874		
	Rest	0,1	0.03455431	0,0004014		
	1 COL	0,2	17,277156			
Uträkning av syrebehov till CO2 o	ch CO3					
	kmol/s					
Kvar av Na Efter Na2S	0,09277					
Kvar av C efter Na2CO3	0,503146					
Resten C -> CO2	0,503146					
Behovet av O till CO3	0,139155					
Behovet av O till CO2	1,006293					
Behovet av O till H20	0,291381					
Totala behovet av O	1,436829					
Combustion air (CA) (Uträknad frå	in syre över	skottet)		Uträkning av förbränni	ngslufts tillförseln	
Air feed:				kg/s		
20% O2 +80% N2 molar mass				28,816 kg/kmol	Antar att luft består av 2	0 % O2 och 80 % N2
02				0 kmol/s		
0				0 kmol/s	kontroll	
N2				0 kmol/s	0	
Combustion air	kmol/s					
CO2	0,503146					
H2O	0,525164					
N2 (känt)	0,000617		(inkommande	kväve från svartlut)		
O2 (känt)	-0,550502		(inkommande syremängden från svartlut - syrebehovet)			
vol-% syre wet fluegas	2,28	=	0,0228			
CA (calculated):	91,295679	kg/s	(räknar ut utgående från överskotts syret behovet av förbränningsluft)			

Combustion air (CA)	kontroll för i	förbränningslufts behove	t				
Guessed comb air feed:			91,2956786 kg/s	(värdet har lösts ut	t från övre Combustion air räkningarna)		
20% O2 +80% N2 molar mass			28,816 kg/kmo	Antar att luft best	år av 20 % O2 och 80 % N2		
02			0,6336457 kmol/s				
0			1,2672915 kmol/s	kontroll			
N2			2,534583 kmol/s	91,2956786	kg/s		
Combustion air	kmol/s	kg/s					
CO2	0,503146	22,1434724					
H2O	0,525164	9,46135702					
N2	2,5352	71,036292	kväve	från förbränningsluft+lute	en		
02	0,083144	2,66059861	syre fr	syre från förbränningsluft+lut-syrebehovet			
SUMMA	3,646654	105,30172	summ	summan av rökgaser+luftillförseln			
vol-% syre wet fluegas	2,28						
vol-% svre dry fluegas	2 663591						
	2,000001						
			räknat utgående frår	n idealgaslagen vid	900 celcius		
Calculation	wfg	3,64665 kmol/s	351,04	9313 m^3/s			
volvmström. idealgaslag	dfa	3.12149 kmol/s	300.49	3785 m^3/s			
,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,	5	·, · · · ·					
			Volym-ändring				
				NTP	0.022 m^3		
			vid ten	an [.] 900	0,022 m 0		
Area vid bullnose	81.25	m^2	Vid ten	ip. 500	0,000 m 0		
Täckningsgrad	0 4 2 9	11 2	volumi	indring:	4 205		
tiaaklak	0,420		VOIyina (huur area	anunny. 			
	0,00007 1	n	(nur m	ycket volymet andras i ja	imoreise med givan temp och NTP)		
matningstid	20 9	6					
carryover densitet	2600 1	<g m^3<="" td=""><td></td><td></td><td></td></g>					
carryover:	316,4525 (g/s					
				räknas m.h.a. Volu	rmändrings faktorn		
Carryover load dfg		1,1 g/m^3	Omräk	mat till Nm^3	4,5 g/Nm^3		
Carryover load wfg		0,9 g/m^3	Omräk	mat till Nm ³	3,9 g/Nm^3		

SUOMEN SOODAKATTILAYHDISTYS RY RAPORTTISARJA

- 1/2008 Suomen Soodakattilayhdistys ry Konemestaripäivä 24.1.2008, esitelmät Radisson SAS Roayl Hotel, Vaasa/ Oy Metsä-Botnia Ab, Kaskisten tehdas (16A0913-E0093) 24.1.2008
- 2/2008 Suomen Soodakattilayhdistys ry Soodakattila-alan yhteistoiminta Vuosikertomus 2007 (16A0913-E0094) 10.4.2008
- 3/2008 Suomen Soodakattilayhdistys ry Soodakattila-alan yhteistoiminta Pöytäkirja. Vuosikokous 10.4.2008 Pohjola Vakuutus Oy, Helsinki (16A0913-E0095)
- 4/2008 Suomen Soodakattilayhdistys ry Soodakattilan pidentyneet keskeytymättömät ajoajat. Antti Koski, Savonia-ammattikorkeakoulu. (16A0913-E0096). 9.6.2008.
- 5/2008 Suomen Soodakattilayhdistys ry Soodakattilan savukaasujen päästörajoitukset Merja Strengell, Pöyry Forest Industry Oy Soodakattilayhdistyksen Ympäristötyöryhmän kanssa. (16A0913-E0097) 18.9.2008
- 6/2008 Suomen Soodakattilayhdistys ry Soodakattilapäivä 29.10.2008 Scandic Rosendahl, Tampere (16A0913-E0098)

SUOMEN SOODAKATTILAYHDISTYS RY RAPORTTISARJA

- 1/2009 Suomen Soodakattilayhdistys ry Konemestaripäivä 22.1.2009, esitelmät Sokos Hotel Vaakuna, Kouvola/UPM Kymmene Oyj, Kymin tehdas, Kuusankoski (16A0913-E0099) 22.1.2009
- 2/2009 Suomen Soodakattilayhdistys ry Soodakattila-alan yhteistoiminta Vuosikertomus 2008 (16A0913-E0100) 2.4.2009
- 3/2009 Suomen Soodakattilayhdistys ry Pöytäkirja. Vuosikokous 2.4.2009, Pöyry Industry Oy, Vantaa (16A0913-E0101) 16.4.2009
- 4/2009 Suomen Soodakattilayhdistys ry Soodakattilan keon lämmönsiirto-ominaisuudet – Kirjallisuuskatsaus Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Professori Esa Vakkilainen (16A0913-E0102) 30.6.2009
- 5a/2009 Suomen Soodakattilayhdistys ry Utveckling och användning av en korttidssond vid mätningar av överbäring i sodapannor Åbo Akademi, Niklas Vähä-Savo (16A0913-E0103) 25.9.2009