

Gasbildning i aska

Maria Arm och Johanna Lindeberg,
Åsa Rodin och Anna Öhrström,
Rainer Backman, Marcus Öhman och Dan Boström

Gasbildning i aska

Gas generation in incinerator ash

Maria Arm och Johanna Lindeberg,
Åsa Rodin och Anna Öhrström,
Rainer Backman, Marcus Öhman och Dan Boström

Projekt nr Q4-291

VÄRMEFORSK Service AB
101 53 STOCKHOLM · Tel 08-677 25 80
Februari 2006
ISSN 1653-1248

Förord

”Gasutveckling i aska” är ett projekt som finansierats av Värmeforsks delprogram ”Miljöriktig användning av askor” samt Renhållningsverksföreningen (RVF).

Projektet har genomförts av Statens geotekniska institut (SGI) i samarbete med ÅF-Process AB. Termodynamiska beräkningar har utförts av Rainer Backman, Umeå Universitet och SEM-analyser samt XRD-analyser av Marcus Öhman och Dan Boström, Umeå Universitet. Susanne Jonsson på TEMA Vatten, Linköpings Universitet, har anlitats för gasscreeningar.

De askor som provtagits och analyserats i projektet har även använts i Askprogrammets projekt nr Q4-251 Lakning av antimon från energiaskor.

Denna rapport har kompletterats med resultaten från en tidigare studie av gasutveckling i askor, vilka med vänligt tillstånd från OLAB¹ återges i Bilaga E.

Ett stort tack riktas till referensgruppen för projektet som har bestått av:

Henrik Bristav (Umeå Energi),
Cecilia Johansson (Tekniska Verken i Kiruna AB),
Sara Lind (Söderenergi AB),
Margareta Lundberg (Kvaerner Power AB),
Romel Makdessi (E.ON Värme Sverige AB),
Jens Nerén (Mälarenergi AB),
Juha Palonen (Foster Wheeler Energia Oy) och
Stig-Olov Taberman (Tekniska Verken Linköping).

Tack också till Claes Ribbing (Sv Energiaskor AB) som varit Värmeforsks programansvarige och som deltagit aktivt i referensgruppsmötena, liksom till Pascal Suër (SGI) och Magnus Berg (Vattenfall Utveckling AB) som initierat projektet och granskat slutrapporten.

Linköping, november 2005

Maria Arm, SGI
projektledare

¹ OLAB = ett av Oxelösunds Hamn, Söderenergi, Fortum, Eskilstuna Energi & Miljö och Vattenfall Värme gemensamt ägt oljelagringsföretag med verksamhet i Oxelösund.

Abstract

Denna studie av gasbildning i förbränningsaska, och dess inverkan på parametrar, ger vägledning för lämplig hantering av askorna så att risken för explosioner minskar. Resultaten visar att en regelbunden analys av gasbildningspotentialen eller halten metalliskt aluminium – inte total aluminiumhalt – bör eftersträvas för avfallsaskor. Vidare är metallavskiljning av bränslet till avfallseldade pannor – inklusive separering av omagnetiska metaller – nödvändig, liksom god ventilerings runt askan efter att den befuktats.

Sammanfattning

Under senare år har flera explosioner inträffat i samband med askhantering på några svenska förbränningsanläggningar. Skadeundersökningarna har visat att vätgas kan ha funnits med i samtliga fall. Vätgasen utvecklas troligen vid kemiska reaktioner när aluminium och andra metaller i askan kommer i kontakt med vatten.

Syftet med denna studie är att ta fram kunskap om gasbildning i förbränningsaska. På så sätt kan en vägledning för lämplig hantering av askorna tas fram och risken för explosioner undvikas i framtiden.

Projektet har omfattat analyser av egenskaper, såsom kemisk och fysikalisk sammansättning och pH, hos askor från 14 pannor (med tonvikt på avfallsförbränning). För att klarlägga inflytandet på vätgasbildning från var i processen askan tas ut, har olika fraktioner av aska från varje anläggning undersökts. Vidare har bränslet och tekniska olikheter mellan anläggningarna analyserats. En metod för mätning av gasutveckling hos aska har tagits fram och gasutvecklingen i de olika askorna vid naturligt och vid förhöjt pH (s.k. gasbildningspotential) har mätts. Analyser av uppkomna gaser samt termodynamiska beräkningar har också utförts.

Resultaten visar att

- för anläggningarna med fluidbäddar var gasbildningspotentialen i bottenaskan mycket liten medan vändschakt-, cyklon- och filteraskorna hade en betydligt större gasbildningspotential,
- för rosterpannorna var gasbildningspotentialen störst i bottenaskorna, med undantag för Linköping,
- samtliga biobränsleeldade pannor gav aska med liten gasbildningspotential,
- samtliga flygaskor med gasbildningspotential över 10 l/kg kom från avfallseldade pannor,
- gasbildningen från en filteraska som lagrats vid god syretillgång var betydligt mindre än gasbildningen från samma filteraska i färskt tillstånd,
- förutom vätgas kunde endast mycket små mängder av aceton, furan och bensen samt sannolikt metan detekteras i några av de undersökta askorna,
- av de undersökta metallerna (järn, koppar, bly och aluminium) var det huvudsakligen aluminium som gav upphov till gas,
- en aska kan ha hög total aluminiumhalt men liten gasutveckling, eftersom totalhaltsanalyser omfattar både metalliskt och ickemetalliskt aluminium och det är endast det metalliska aluminiumet som ger upphov till gas,
- aluminiumpartiklar kan passera genom förbränningen utan att smälta och utan kraftig oxidering av ytskiktet,
- fast aluminiumoxid (Al_2O_3) är den stabila formen av aluminium för de förhållanden som kan råda i en panna.

Med ledning av projektresultaten kan följande rekommendationer ges för askhantering för att minska gasbildningen och förhindra explosion: En regelbunden analys av halten metalliskt aluminium eller mätning av gasbildningspotentialen bör eftersträvas för avfallsaskor; Metallavskiljning av bränslet till avfallseldade pannor – inklusive separering av omagnetiska metaller – är nödvändigt; God ventilation runt askan efter att den befuktats samt lagring av askan i en miljö med god syretillgång bör eftersträvas.

Nyckelord: aska, vätgas, aluminium, explosion, förbränning

Summary

In recent years, explosions have occurred in certain phases of ash handling in Sweden. Investigations have revealed that hydrogen may have been present in all cases. The hydrogen is believed to be generated by chemical reactions of aluminium and other metals within the ash in the presence of water.

The purpose with this study is to increase the knowledge of gas generation of incinerator ash. Thereby, guides for appropriate ash management can be introduced and the risk for further explosions prevented.

The study has comprised analyses of the ash properties, such as chemical and physical composition and the pH, of ash from 14 incineration plants (mostly waste incineration plants). Different fractions of ash materials representing different parts of the process in each plant have been analysed. Furthermore, the fuel and the technical differences between the plants have been analysed. A tool for measuring the gas generation in the laboratory has been developed and the gas generation of the different ash materials at natural and increased pH was measured. Gas analyses and thermodynamic calculations have also been performed.

The results showed that:

- bottom ash from fluidised bed boilers generated small amounts of gas at increased pH, much smaller amounts than the idle pass, cyclone and filter ash did,
- bottom ash from grate fired boilers generated more gas at increased pH than their cyclone ash and filter ash, with exception of the Linköping plant,
- all bio waste incineration plants generated ash with low gas generation potential,
- all fly ash materials with a gas generation potential of more than 10 l/kg originated from municipal waste incineration plants,
- filter ash that had been stored in oxygen rich environment generated significant less gas than fresh filter ash of the same origin,
- hardly any other gases were generated apart from hydrogen (very small amounts of acetone, furane, benzene and most likely methane were detected in some of the ash materials),
- there were no other reactive metals in addition to aluminium (iron, copper and lead were tested),
- the combination of high total aluminium content of an ash material and low volume of gas generation is possible, since the total aluminium content comprises both the elemental and the non-elemental aluminium and it is only the elemental aluminium that generates gas,
- aluminium particles can survive incineration without melting and without substantial oxidation of the particle surface,
- solid aluminium oxide (Al_2O_3) is the stable form of aluminium in a boiler.

Based on the results in this project the following recommendations for handling the ash can be given to decrease the gas generation and to prevent the risk for explosion: The content of elemental aluminium or the potential of gas generation should be analysed regularly for ash materials from municipal waste incineration plants; Metal separation – including non-magnetic metals – of the fuel for waste incineration plants is necessary; Good ventilation of the ash after wetting, together with storage in oxygen rich environment is desirable.

Key words: ash, hydrogen, aluminium, explosion, incineration

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	1
1.1	BAKGRUND	1
1.2	PROBLEM	3
1.3	SYFTE	3
1.4	BEGREPP OCH DEFINITIONER	4
2	METODIK	5
2.1	PROVTAGNING OCH BEREDNING AV ASKORNA	5
2.2	MÄTNING AV GASUTVECKLING	10
2.3	ANALYS AV KEMISK SAMMANSÄTTNING OCH PH FÖR ASKORNA	12
2.4	SVEPELEKTRONMIKROSKOPI (SEM/EDS) OCH PULVERRÖNTGENDIFFRAKTION (XRD) AV ASKORNA	13
2.5	ANALYS AV METALLISKT ALUMINIUM I BRÄNSLET	13
2.6	TERMODYNAMISKA BERÄKNINGAR	13
3	RESULTAT	16
3.1	ASKORNAS GASUTVECKLING	16
3.2	ASKORNAS KEMISKA SAMMANSÄTTNING OCH PH	19
3.3	RESULTAT FRÅN SVEPELEKTRONMIKROSKOPI (SEM/EDS) OCH PULVERRÖNTGEN-DIFFRAKTION (XRD)	22
3.4	BRÄNSLETS KEMISKA SAMMANSÄTTNING	26
3.5	RESULTAT FRÅN TERMODYNAMISKA BERÄKNINGAR	27
4	RESULTATANALYS	31
4.1	GASBILDNING (ANALYSMETODEN, EFFEKT AV OXIDATION, BILDADE GASER, REAGERANDE METALLER)	31
4.2	SAMBAND MELLAN ASKANS KEMISKA SAMMANSÄTTNING OCH DESS GASUTVECKLING	36
4.3	SAMBAND MELLAN ASKTYP OCH ASKANS GASBILDNINGSPOTENTIAL SAMT MELLAN PANNTYP OCH ASKANS GASBILDNINGSPOTENTIAL	40
4.4	SAMBAND MELLAN BRÄNSLETS SAMMANSÄTTNING OCH ASKANS GASUTVECKLING	42
4.5	SAMBAND MELLAN RÖKGASTEMPERATUR OCH FLYGASKANS GASUTVECKLING	44
4.6	MÖJLIGA REAKTIONSVÄGAR FÖR ALUMINIUM SAMT TERMODYNAMISKA BERÄKNINGAR	45
4.7	HUR KAN METALLISKT ALUMINIUM ÖVERLEVA FÖRBRÄNNINGEN?	49
5	SLUTSATSER	51
6	REKOMMENDATIONER	52
7	FÖRSLAG TILL FORTSATT FORSKNINGSARBETE	53
8	LITTERATURREFERENSER	54
BILAGOR		
A	BESKRIVNING AV ANLÄGGNINGARNA	
B	DATA FRÅN TOTALHALTSANALYSER AV ASKOR	
C	INSAMLADE BRÄNSLEANALYSER	
D	DATA FRÅN SEM-ANALYSER	
E	GASUTVECKLING HOS ASKOR FRÅN HÖGDALEN, UPPSALA OCH SÖDERENERGI – SLUTRAPPORT 2004-11-23	

1 Inledning

1.1 Bakgrund

När vissa askor kommer i kontakt med vatten utvecklas gas vilket kan leda till problem om gasbildningen är okontrollerad. Bildning av vätgas är speciellt problematiskt, eftersom vätgas är explosivt i koncentrationer mellan 4 och 75% i luft vid 20°C och 101,3 kPa tryck. Självantändningstemperaturen är 400°C [1].

Gasbildning i aska har rapporterats vid ett flertal tillfällen och en del undersökningar har gjorts på aska från avfallsförbränning därför att gasbildningen har lett till problem. Den har t.ex. gett upphov till explosioner i deponier [2] [3] och rökgasreningssystem [4]. Vid användning av aska i vägar har gasbildning i utlagda asklager förstört ovanförliggande asfalt [5] och sprickbildning i betong och stabiliserade lager har rapporterats bero på gasbildning i aska [6] [7] [8].

Å andra sidan utnyttjas vätgasbildningen när flygaska används i cementtillverkning för produktion av gasbetong [7].

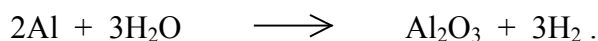
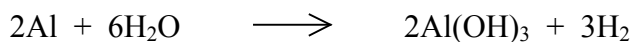
Under senare år har flera explosioner inträffat i samband med askhantering på några svenska förbränningsanläggningar:

- Den 19 januari 2004 inträffade en explosion i ett bergrum vid Händelöverkets avfallsförbränningsanläggning i Norrköping. Inom något dygn följdes den av ytterligare två explosioner. Bergrummet användes för förvaring av flygaska. Olyckan orsakades troligen av vätgasbildning i flygaskan från avfallsförbränningen i panna 14. Mycket fina metalliska aluminiumpartiklar i askan tros ha orsakat vätgasbildningen vid kontakt med vatten [9].
- I januari 2003 inträffade vid Dävamyran Kraftvärmeverk i Umeå ett antal gasexplosioner inom loppet av några månader i de utrymmen där slaggprodukterna transporteras bort från vattentråget under pannan. Explosionerna ägde troligen rum i det transportband som för askan från vattentråget under pannan till en intilliggande byggnad där askan mellanlagras. Vid utredningen visade det sig att utrymmet med transportbandet innehöll höga halter brännbara gaser. Metangas konstaterades, men det kunde inte uteslutas att även andra gaser, såsom vätgas och kolmonoxid, fanns närvarande [10].
- Linköping drabbades 2001 av två explosioner i askcontainrarna för grov cyklonaska från panna 3 vid Kraftvärmeverket. I containrarna lagras finfraktionen av askan innan den transporteras bort. Vid båda explosionstillfällena var containrarna i det närmaste fulla. Vid utredningen av explosionerna konstaterades att brännbara gaser kan bildas ur askan om den innehåller mycket oförbränt material och om den inte blivit tillräckligt släckt. Kolmonoxid, CO, kan bildas i torr aska och kan explodera i luft. Även vattengas, som är en blandning av vätgas och CO, kan bildas ur vatten vid kontakt med kol. Denna reaktion kan dock bara äga rum djupt ned i askan eftersom den kräver en syrefri miljö [11].

De inträffade explosionerna visar att det råder en uppenbar brist på kunskap i landet om gasutveckling från askor.

En mindre litteraturstudie av Suèr et al, föranledd av explosionen i Norrköping 2004, visade att också kunskapen internationellt är bristfällig [12].

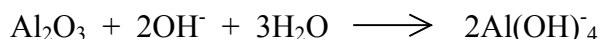
I litteraturstudien sammanfattas att det huvudsakligen är vätgas som bildas från aska i basisk miljö. Den bildas när metaller, främst aluminium, i sin metalliska form reagerar med vatten. Reaktionen mellan metalliskt aluminium och vatten kan skrivas



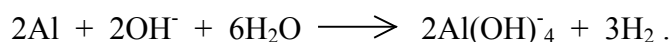
Även en studie som undersökte gasutvecklingen i askor från Högdalen, Uppsala och Södertälje visade att huvuddelen av den gas som bildas från förbränningsaska i kontakt med natriumhydroxidlösning är vätgas [13]. (Slutrapporten från den studien ingår som Bilaga E i denna rapport).

Mängden metalliskt aluminium är styrande för hur mycket vätgas som kan bildas, men pH är också en viktig faktor. I kontakt med syre och/eller vatten bildas skyddande skikt, av t.ex. aluminiumoxid, runt metalliskt aluminium [12]. Skikten hindrar vatten att komma åt och reagera med aluminiumet, men vid högt pH löses de skyddande skikten upp. Det kan ske enligt följande reaktioner:

Reaktion mellan aluminiumoxid och hydroxidjoner



och efterföljande reaktion mellan metalliskt aluminium och hydroxidjoner



Ett fartyg lastat med aluminiumoxid råkade i december 2002 ut för en explosion i lastutrymmet. Skadeutredningen visade att aluminiumoxiden innehöll små mängder metalliskt aluminium och aluminiumnitrid. Aluminiumnitriden reagerade tillsammans med vatten och bildade ammoniak som gjorde att lasten fick ett högt pH. Vid detta pH förstördes det skyddande skiktet av aluminiumoxid/hydroxid som fanns på bitarna av metalliskt aluminium, vilket gjorde att aluminiumet kunde reagera och bilda vätgas som förorsakade explosionen [14].

När aska får reagera med vatten i obegränsad mängd vid högt pH fås ett mått på den maximala potential, ”gasbildningspotential”, som finns i askan för utveckling av vätgas. Vid lägre pH bestäms gasutvecklingen av hastigheten varmed vattenmolekyler kan diffundera genom de skyddande skikten [12], vilket ger en långsam gasutveckling.

Hög kloridhalt ökar också vätgasbildningen genom att kloridjoner kan hjälpa till att exponera metalliskt aluminium. Magel rapporterar att dubbelt så mycket vätgas bildades när aska blandades med 1 M natriumkloridlösning i stället för med vatten [2].

Andra metaller som nämnts i samband med vätgasutveckling är zink, järn, koppar och krom (dessutom kisel) [12]. Enligt en tysk studie var det endast aluminium som reagerade med vätgasutveckling vid pH 9,3–11,4, men vid pH 13,5 reagerade även järn och

koppar [2]. Vid försök där vardera bottenaska, aluminium, bly, magnesium och zink blandades med natriumhydroxidlösning utvecklade endast bottenaska och aluminium någon vätgas [8].

Förutom vätgas bildas ofta mindre mängder metan i aska [3] [6]. Metan kan bildas när aluminiumkarbid reagerar med vatten [6]. Den tidigare nämnda litteraturstudien rapporterar dessutom om förekomst av kolmonoxid [7], vätesulfid [3], etylen och etan [6] i gas bildad ur förbränningsaska.

1.2 Problem

Okontrollerad gasbildning i förbränningsaskor är både ett säkerhetsproblem och ett arbetsmiljöproblem i samband med hantering av askorna, speciellt när gasen är vätgas, eftersom den är explosiv vid halter över 4%. Det är också ett tekniskt problem vid användning av askorna som anläggningsmaterial. Den kunskap som behövs för att hantera gasbildningen bättre är dock gemensam för dessa områden.

1.3 Syfte

Projektet avser att ta fram kunskap om gasbildning från förbränningsaska, för att ge ett underlag för en bättre hantering av askor med hänsyn till gasbildning. Eftersom både baskunskap och verktyg saknas inkluderas följande delmål:

1. Ta fram verktyg för att analysera gasbildning, inte bara som den maximala gasbildningen utan också som gasbildning i kontakt med vatten.
2. Klargöra vilka gaser förutom vätgas, som bildas i aska.
3. Undersöka om andra ämnen än aluminium orsakar gasbildning.
4. Undersöka kopplingen mellan gasutveckling i aska och bränslesort, anläggningstyp, och asktyp.
5. Undersöka kopplingen mellan gasutveckling i aska och askans övriga kemiska egenskaper.
6. Klargöra orsaken till att elementärt aluminium ”överlever” förbränningen och hamnar i t.ex. flygaska.

1.4 Begrepp och definitioner

BA	Bottenaska
BFB	Bubblande fluidiserande bädd
CA	Cyklonaska
CFB	Cirkulerande fluidiserande bädd
DIP	De-inked pulp
DIP-reject	Skräp som avskiljs från returpapper innan pappret behandlas ytterligare. Innehåller mycket plast
DIP-slam	Som en del i processen vid hantering av returpapper läggs pappret i blöt. DIP-slam är slam som avskiljs från vattnet. Innehåller mest trycksvärta och lera.
FiA	Filteraska
Flygaska	Samlingsbegrepp för filter-, vändschakt- och cyklonaska
Gasbildningspotential	Gasbildning vid högt pH enligt metod i Avsnitt 2.2.1 i denna rapport
GROT	Grenar och toppar
λ	Luftfaktor
LOI	Loss on ignition, glödgningsförlust
NID	Novel Integration Desulfurization
RT-flis	Returträflis
SEM	Svepelektronmikroskopi
TS	Torrsubstans
VA	Vändschaktaska
XRD	X-Ray Diffraction, pulverröntgendiffraktion
XRF	X-Ray Fluorescence

2 Metodik

Hypotesen för denna studie var att vissa askor innehåller en viss mängd metalliskt aluminium som har potential för vätgasbildande reaktioner. Vidare antogs att gasbildningens storlek beror av bränsle, panntyp, asktyp, samt askans aluminiumhalt, kloridhalt och pH. Därför användes följande metodik i projektet:

- Botten- och flygaskor från totalt 14 pannor samt information om pannorna samlades in från 13 olika anläggningar.
- Gasbildningspotentialen, dvs. gasbildningen vid högt pH, undersöktes på samtliga askprov med hjälp av en egenutvecklad metod.
- För de askor som hade stor gasbildningspotential undersöktes även gasbildningen vid askans naturliga pH.
- För två askor undersöktes effekten av oxidation i luft genom att mäta gasbildningen före och efter lagring.
- Vilka gaser som bildades undersöktes närmare med hjälp av gasscreening på sex askprov.
- En begränsad undersökning gjordes för att kontrollera om koppar, järn och bly också (förutom aluminium) bidrar till gasutvecklingen.
- På samtliga askprov analyserades även sammansättningen (totalhalter av oorganiska ämnen, framför allt metaller) samt pH.
- För att undersöka i vilken form aluminium finns och om olika former av aluminium återfinns på olika djup i en enskild aluminiuminnehållande partikel analyserades ett fåtal askprov med hjälp av svepelektronmikroskop (SEM/EDS) och pulverröntgendiffraktion (XRD).
- För att kunna jämföra sammansättningen hos olika bränslen och askor samlades tidigare utförda analyser in från anläggningarna.
- På några utvalda homogena bränslen gjordes analys med avseende på totalhalt aluminium och halt metalliskt aluminium. Detta gjordes för att bränsle vanligtvis analyseras med avseende på totalhalt av aluminium medan det från gasbildningssynpunkt är den metalliska andelen som är intressant.
- För att undersöka vilka möjligheter det finns för metalliskt aluminium att överleva förbränningen gjordes termodynamiska jämviktsberäkningar där olika förbränningsförhållanden undersöktes.

2.1 Provtagning och beredning av askorna

De deltagande anläggningarna valdes så att både fluidbäddpannor och rosterpannor skulle vara representerade i studien. Använt bränsle i anläggningarna varierade från rent biobränsle till rent avfall. I Tabell 1 visas vilka anläggningar och pannor som medverkat i projektet samt vilka bränslen, vilken torr rökgasrening och vilka tillsatser de använde sig av vid provtagningen. I Bilaga A finns mer ingående beskrivningar av alla medverkande anläggningar.

Tabell 1. Sammanställning av medverkande anläggningar.

Table 1. Overview of plants in the study.

Anläggning och panna	Nominell effekt	Panntyp	Bränsle vid askprovtagning	Torr rökgasrening	Tillsatser
Braviken, P1	65 MW	Roster	DIP-slam, bark, RT-flis, DIP-rejekt, eget fallande brännbart	Elfilter, slangfilter	Ammoniak, aktivt kol, hydratkalk
Eskilstuna	110 MW	BFB	GROT, bark, spån, salix	Elfilter	Ammoniak
Händelö P13	125 MW	CFB	Skogsflis	Elfilter	Kalk till bädden, ammoniak
Händelö P14	75 MW	CFB	Hushållsavfall, industriavfall	Slangfilter	Ammoniak, kalk, aktivt kol
Högdalen, P6	91,2 MW	CFB	Industriavfall	Slangfilter	Ammoniak, kalk, aktivt kol
Kiruna, P3	27 MW	Roster	Hushållsavfall	Elfilter	-
Lidköping, P5	20 MW	BFB	Hushållsavfall, industriavfall	Cyklon, slangfilter	Ammoniak, släckt kalk, aktivt kol
Linköping, Kraftvärmeverket, P3	65 MW	Roster	RT-flis, plastrejekt, bark	Cyklon, elfilter	Urea
Munksund	98 MW	CFB	Bark, spån och torrflis, wellrejekt	Elfilter	
Nynäshamn	24 MW	BFB	RT-flis	Cyklon innan ekonomiser, slangfilter	Ammoniak, aktivt kol, kalk
Sundsvall, F1	18 MW	CFB	Hushållsavfall, verksamhetsavfall, spån	Slangfilter	Dolomit i eldstad, ammoniak, kalk
Södertälje, Igelsta, P1	85 MW	Roster	Utsorterat avfall, bränslekrosspellets	Elfilter, halvtorr skrubber, slangfilter	Urea
Umeå, Dåva, P8	65 MW	Roster	Hushållsavfall, verksamhetsavfall	Slangfilter	Aktivt kol, CaCO ₃
Västerås, P5	157 MW	CFB	Bark, torv, träspån, stamved, RT-flis	Slangfilter	Ammoniak

I Tabell 2 visas vilken bränsleblandning som användes av de deltagande anläggningarna vid tidpunkten för askprovtagningen.

Askproverna togs ut under senvintern/våren 2005 av personal på anläggningarna. De togs vid fyra olika tillfällen under två dygn för att få så representativa prover som möjligt. Under provtagningsperioden skulle driften vara stabil med normal bränsleblandning. För en anläggning, Lidköping, undersöktes eventuella tidsberoende variationer genom provtagning under två perioder, 1–2 mars (Lidköping:2) och 30–31 mars (Lidköping:1).

Tabell 2. Bränsleblandning vid tidpunkten för askprovtagningen.

Table 2. Fuel mixture at the time for ash sampling.

Bränsle (vikts%)	Braviken	Eskilstuna	Händelö P13	Händelö P14	Högdalen	Kiruna	Lidköping	Linköping	Munksund	Nynäshamn	Sundsvall	Södertälje	Umeå	Västerås (energ%)
Torv														24
Bark	33	25						22	70					27
Stamved														16
Skogsflis			100											
Träspån		15							25		10-15			22
Salix		5												
GROT		55												
RT-flis	16							50		100				11
Wellrejekt									5					
DIP-rejekt	3													
Industriavfall				50	100		30				30-50	60	40	
Bränslekross- pellets												40		
DIP-slam	48													
Plastrejekt								28						
Hushållsavfall				50		100	70				30-50		60	

Från samtliga anläggningar togs prov på både bottenaska och filter- eller cyklonaska. Från några pannor togs även prov från vändschakt (Tabell 3). Askproverna togs torra och från fallande ström, där detta var möjligt, men på grund av slaggläckning av bottenaskorna från rosterpannorna kunde dessa askprover inte tas ut torra, med undantag av Linköping. Provtagningsburkarna fylldes med aska ända upp till kanten, för att minimera kontakten med luft som gör att askan oxideras.

Tabell 3. Provtagningsställen för askorna i de olika pannorna.

Table 3. Ash sampling places for the boilers.

Panna	Bottenaskprov	Vändschaktsaskprov	Cyklonaskprov (rökgasrening)	Filteraskprov
Braviken	Eldstadsbotten	-	-	Elfilter
Eskilstuna	Eldstadsbotten	-	-	Elfilter
Händelö P13	Eldstadsbotten	-	-	Elfilter
Händelö P14	Eldstadsbotten	Vändschakt	-	Slangfilter
Högdalen	Eldstadsbotten	Vändschakt	-	Slangfilter
Kiruna	Eldstadsbotten	-	-	Elfilter
Lidköping	Eldstadsbotten	Vändschakt	Cyklon	Slangfilter
Linköping	Eldstadsbotten	-	Cyklon	-
Munksund	Eldstadsbotten	-	-	Elfilter
Nynäshamn	Eldstadsbotten	Cyklon innan ekonomiser	-	Slangfilter
Sundsvall	Eldstadsbotten	-	-	Elfilter & slangfilter
Södertälje	Eldstadsbotten	-	-	Elfilter
Umeå	Eldstadsbotten	-	-	Slangfilter
Västerås	Eldstadsbotten	-	-	Slangfilter

2.1.1 Provhantering

De fyra delproven av varje askslag homogeniserades och ett delprov togs ut för totalhaltsanalys. Våtutmatade bottenaskor torkades i 40°C och grovkorniga askor krossades ner till mindre än 4 mm (Tabell 4). Okrossbart material (t.ex. metall) finfördelades också så långt det var möjligt. Krossningen gjordes dels för att göra materialet hanterligt, dels för att få det något mer homogent. Askorna förvarades i plastburkar med tättslutande lock (Figur 1).



Figur 1. Förvaring av askmaterial i plastburkar med tättslutande lock.

Figure 1. Storage of ash materials in plastic buckets.

Tabell 4. Askornas utseende och provberedning.

Table 4. Visual observation of ash and sample preparation.

Anläggning	Asktyp	Askans utseende	Provberedning
Braviken	bottenaska	Våtutmatad. Grå och ganska fin med små till medelstora klumpar.	Torkad, krossad.
	filteraska	Mörkgrå med små kolbitar.	
Eskilstuna	bottenaska	Mörk pannsand med få och lite större gruskorn (< 10 mm). Någon burk med många små kolbitar	Krossad
	filteraska	Brun filteraska med små kolbitar (< 5 mm).	
Händelö P13	bottenaska	Tegelbrun pannsand med få stora bitar.	Krossad
	filteraska	Gråbrun	
Händelö P14	bottenaska	Grov bottenaska med glasflingor (5–10 mm). Lite metall och stora bitar.	Krossad
	vändschakt-aska	Brun, fin sand med en del klumpar (upp till 30 mm stora).	
	filteraska	Brun	
Högdalen	bottenaska	Fin till grov sand med större bitar (5–10 mm). Lite metall. Mtrl i två av burkarna något sintrat.	Krossad
	vändschakt-aska	Brungrå fin sand.	
	filteraska	Beige, fin.	
Kiruna	bottenaska	Våtutmatad. Grå, små till stora klumpar med få stora bitar. Lite metall.	Torkad, krossad.
	filteraska	Grå med få sotflingor.	
Lidköping:1	bottenaska	Grov pannsand med en del stora bitar (10 mm) och en del metall.	Krossad
	vändschakt-aska	Som fin pannsand.	
	cyklonaska	Brun, fin.	
	filteraska	Ljusgrå, fin.	
Lidköping:2	bottenaska	Som Lidköping:1	Krossad
	filteraska	Som Lidköping:1	
Linköping	bottenaska	Stora sintrade klumpar med lite metall.	Krossad
	cyklonaska	Mörkgrå sand med många små kolbitar.	
Munksund	bottenaska	Brun pannsand med mycket få större bitar.	Krossad
	cyklonaska	Brun, fin.	
Nynäshamn	bottenaska	Grov bottenaska med många stora bitar (15–20 mm) och en del metall.	Krossad
	vändschakt-aska	Fin sand med ganska mycket små kolbitar.	
	filteraska	Grå med få sotflingor.	
Sundsvall	bottenaska	Pannsand med stor andel 2–5 mm bitar, men även större bitar och lite metall.	Krossad
	filteraska	Beige	
Södertälje	bottenaska	Våtutmatad. Små till stora klumpar med mycket lite metall.	Torkad, krossad.
	filteraska	Mörkgrå med små kolbitar.	
Umeå	bottenaska	Våtutmatad. Små till medelstora klumpar.	Torkad, krossad.
	filteraska	Grå med få sotpartiklar.	
Västerås	bottenaska	Brun pannsand med en del bitar (5–10 mm).	Krossad
	filteraska	Brun	

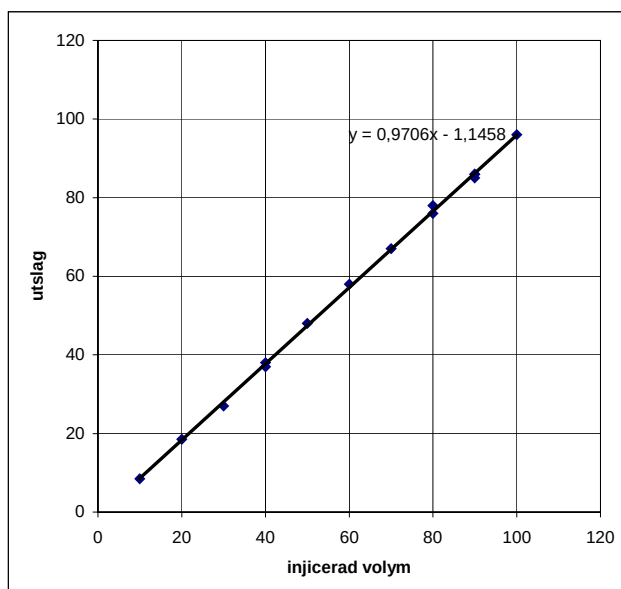
2.2 Mätning av gasutveckling

2.2.1 Gasbildning i aska – metodutveckling och mätning

Metodutveckling

Metoden för att mäta gasbildning i aska baseras på uppgifter från litteraturen [4] och på en av SGI tidigare använd metod [13].

I försöken användes 120 ml glasflaskor (serumflaskor) med massiva korkar i brombutylgummi, kompletterade med aluminiumförslutning. För att testa om förseglingen var gastät sänktes en flaska ned i vatten samtidigt som luft injicerades. Då inga luftbubblor kunde iakttas antogs systemet vara tätt. Den producerade gasvolymen mättes med en 100 ml graderad glasspruta. För att kontrollera dess tillförlitlighet, injicerades olika volymer luft med en engångsplastspruta (med större gastäthet men också större tröghet) och volymen överskottsluft (idealt samma volym som injicerades) mättes därefter med glassprutan (Figur 2).



Figur 2. Volymutslag med glasspruta efter luftinsprutning.

Figure 2. Volume measured with glass syringe after air injection.

För att bestämma försökstiden för mätningarna i projektet uppskattades tiden som krävs för att alla gasbildande reaktioner ska hinna äga rum. Det gjordes genom att aska vägdes upp i en flaska innehållande en omrörarmagnet. Flaskan förslöts så att den blev gastät och 5 M natriumhydroxidlösning injicerades med en spruta så att kvoten mellan vätska och aska var minst 2 l/kg. Provet blandades med hjälp av magnetomrörning och bildad gas mättes med en glasspruta efter olika tidsintervall (vid atmosfärstryck). Gasutvecklingen nådde maximalt värde efter ca 70 timmar varför försökstiden bestämdes till tre dygn (72 timmar). Efter så lång tid kan temperaturhöjningen och medföljande tryckökning (volymökning) orsakad av de kemiska reaktionerna anses försumbara.

Mätning av gasbildningspotential och gasbildning vid askans naturliga pH

Gasbildningspotentialen, dvs. gasbildningen i 5 M NaOH-lösning, mättes på samtliga askprov med hjälp av ovanstående försöksuppställning. Invägd mängd aska varierades mellan 1 och 15 g beroende på förväntad gasbildning och uppnådda resultat för tidigare replikat. Dubbelprov utfördes, men för de bottenaskor som hade någon gasutveckling mättes tre replikat eftersom bottenaskorna var mer inhomogena än flygaskorna.



Figur 3. Gasbildning under magnetomrörning. Fyra parallella försök.

Figure 3. Gas generation during magnetic stirring. Four simultaneous tests.

För de askor som hade hög gasbildningspotential mättes även gasbildningen vid askans naturliga pH. Askan blandades då med avjoniserat vatten men i övrigt användes samma metod som vid bestämning av gasbildningspotentialen.

2.2.2 Oxidation i luft

Vid lagring utsätts vanligtvis askorna för luft som gör att ytan på aluminiumpartiklar oxiderar. Det bildade aluminiumoxidskiktet minskar eller försenar den gasutveckling som äger rum när askan kommer i kontakt med vätska.

Genom att mäta gasutvecklingen i helt färsk aska och i aska som haft kontakt med luft en tid kunde betydelsen av lagring kvantifieras. Mätningarna gjordes på vändschaktaska och filteraska från Händelöverket panna 14, enligt metoden som beskrivs i Avsnitt 2.2.1. Den första mätningen startades på Händelöverket direkt efter provtagning ur fallande aska. Sedan hölldes askan upp i öppna tråg och rördes om med jämna mellanrum.

2.2.3 Gasscreening

Det bildas framför allt vätgas då aska reagerar med vatten i basisk miljö [12], men även mindre mängder metan och spår av några andra gaser har rapporterats.

Gasprov från sex olika askor analyserades förutsättningslöst med hjälp av gasscreening med cryo (= kylning ned till -10°C). Denna metod kan detektera gaser som har kokpunkt mellan -60°C och $+120^{\circ}\text{C}$, t.ex. ammoniak, svaveldioxid, propan och etanol [15]. Tyvärr kan inte vätgas, kvävgas, syrgas, kolmonoxid och koldioxid detekteras eftersom de har för låg kokpunkt. Även metan, etan och etylen har för låg kokpunkt för denna metod. Gasscreeningen kompletterades därför med analys i gaskromatograf som detekterar kolväten med kokpunkt även under -60°C .

Gasproverna erhöles med hjälp av metoden för gasbildningspotential (Avsnitt 2.2.1). Vid valet av askor för gasscreeningen var önskemålet att täcka in olika panntyper (BFB, CFB och roster), olika bränslen (avfall och icke avfall) samt olika asktyper (bottenaska, cyklonaska och filteraska). Därför valdes följande askor (jfr Tabell 1):

- Eskilstuna bottenaska
- Händelö P14 filteraska
- Kiruna bottenaska
- Lidköping:1 cyklonaska
- Linköping cyklonaska
- Munksund filteraska

2.2.4 Mätning av gasbildning från andra metaller än aluminium

Även andra metaller i aska, än aluminium, kan bilda vätgas om rätt förhållanden råder. Med utgångspunkt i olika metallers elektropotential valdes metallerna koppar, järn och bly ut för att mäta gasbildning. Metallbitar finfördelades till fint ”sågspån” med hjälp av bågfil. Gasbildningspotentialen mättes med samma metod som för askorna.

2.3 Analys av kemisk sammansättning och pH för askorna

På samtliga askprov analyserades totalhalter av oorganiska ämnen, framför allt metaller. Totalhaltsbestämningen gjordes av Analytica AB enligt analyspaket MG-2 med tillägg av antimon och klorid. As, Cd, Co, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb och S upplöstes i syra enligt ASTM D3683 [16] (modifierad) före analys. För övriga grundämnena gjordes upplösning enligt ASTM D3682 (LiBO_2 -smälta) [17]. Totalhalten av klorid bestämdes med XRF (X-Ray Fluorescence).

För de askor där gasutvecklingen vid askans naturliga pH bestämdes, mättes även pH. Mätningen gjordes enligt SGI-metoden för pH i aska [18] med det avsteget att vatten och aska blandades så att kvoten var minst 2 l/kg istället för att en volymdel aska blandades med fem volymdelar vatten. Ask-vattenblandningarna skakades på skakbord i en timme, varefter proven fick stå och sedimentera i två timmar. Proven skakades om och pH mättes i sedimenterande prov. SGI-metoden för bestämning av pH i aska bygger på SS-ISO 10390 [19].

2.4 Svepelektronmikroskopi (SEM/EDS) och pulverröntgendiffraktion (XRD) av askorna

För att få kunskap om den kemiska sammansättningen hos olika askor, speciellt aluminiums förekomstform, analyserades tre askprov med hjälp av svepelektronmikroskopi (SEM) med tillhörande energidispersiv röntgenanalys (EDS) och pulverröntgendiffraktion (XRD). De utvalda askorna var:

- Händelö P14 vändschaktaska
- Lidköping:1 vändschaktaska
- Munksund filteraska

Proverna fixerades i epoxi och slipades med kiselkarbid-papper innan tvärsnitten analyserades. Med hjälp av SEM och EDS bestämdes såväl morfologi som grundämnessammansättning hos de i provet dominerande partikelfraktionerna, med fokus på aluminiums förekomstform. Med EDS kan man analysera punktvis och få reda på om olika aluminiumformer återfinns på olika djup i en enskild aluminiuminnehållande partikel.

För att bestämma förekomstform (kemiska föreningar) av dominerande kristallina föreningar i provet analyserades proverna kvalitativt med hjälp av XRD. Dominerande innehåller här mer än ca fem viktprocent av provet. Smälta eller amorfa partiklar kan inte analyseras.

2.5 Analys av metalliskt aluminium i bränslet

Tre bränsleprover analyserades för att undersöka dels hur stor andel av bränslet som består av metalliskt aluminium, dels förhållandet mellan halterna metalliskt och icke metalliskt aluminium i bränslet. Proverna togs på de mer homogena bränslena; well-rejekt, plast-rejekt och bränslekrosspellets för att undvika större metallbitar. Totalhaltsanalys och bestämning av halten metalliskt aluminium i bränsleproverna utfördes av Sveriges provnings- och forskningsinstitut (SP). Totalhalterna bestämdes enligt metod SP 0510 [20]. Proverna för bestämning av metalliskt aluminium lakades först med salpetersyra och därefter med natriumhydroxid enligt metod SP 2573 [21]. Aluminiumhalten bestämdes sedan med Inductively coupled plasma optical emission spectroscopy (ICP-OES).

2.6 Termodynamiska beräkningar

De termodynamiska beräkningarna gjordes enligt metoden för global jämviktsanalys. Eldstaden betraktas som en isotermisk reaktor med inströmmar av fuktigt bränsle och luft samt utströmmar av rökgas och ”aska”, vilken utgörs av de kondenserade faserna. Denna metod är speciellt lämpad för att ge information om vilka kemiska föreningar som kan bildas inom olika temperatur- och sammansättningszoner i pannan. Blandningsbegränsningar och kemisk kinetik beaktas inte. Resultaten beskriver alltså vilka föreningar som skulle kunna bildas om omblandningen i reaktorn vore perfekt och alla kemiska reaktioner mycket snabba, eller i zoner i pannan där uppehållstiden är lång, t.ex. i beläggningar på värmeytor eller filter eller stora partiklar i bädden.

Beräkningarna är baserade på en termodynamisk databas för förbränningsberäkningar. Data är plockade från flera tillgängliga databaser, bl.a. FACT [22], HSC [23], SGTE [24] och Ivtanthermo [25]. Data för aluminiumföreningar är ganska väl bestämda, så några större osäkerheter finns inte i detta fall.

De oberoende variablerna valdes mycket brett. Temperaturen varierades mellan 200 och 1400°C och luftfaktorn, λ , mellan 0 och 1,4 (Tabell 5). På så sätt täcktes alla lokala förhållanden in som kan råda i pannan.

Tabell 5. Varierade parametrar i termodynamiska beräkningar.

Table 5. Varied parameters in thermodynamic calculations.

Temperatur (°C)	Luftfaktor (λ)
200–1400	0,0
200–1400	0,6
200–1400	1,4
200	0,0–1,4
800	0,0–1,4
1400	0,0–1,4

För att undersöka vilka möjligheter som finns för aluminium att bilda någon annan förening än aluminiumoxid undersöktes aluminiums reaktionsvägar tillsammans med kol, väte, syre, klor och svavel. Om exempelvis aluminiumklorid bildas finns möjligheten att elementärt aluminium kan återbildas under rätt förhållanden. En fullständig lista över beaktade kemiska ämnen finns i Tabell 6. I de föreliggande beräkningarna har reaktioner mellan aluminium och andra askkomponenter (Ca, K, Mg, Si, Fe) inte beaktats. Man kan tolka detta som ett ”värsta fall”, dvs. all tillförd aluminium är reaktiv och kan reagera med all tillgänglig C, H, O, Cl och S.

Det fuktiga bränslets organiska sammansättning har antagits vara 50% C, 5% H och 45% O, motsvarande ett biobränsle med fukthalt på 20%. Rökgasen vid förbränning har sammansättningen 16% CO₂, 10% H₂O och 3% O₂.

Halterna Al, Cl och S i bränslet har antagits vara mycket höga för att få största möjliga effekt. De har valts till 5% Al, 10% Cl och 1% S beräknade på fuktigt bränsle. På detta sätt kommer aluminiummängden inte att påverka Cl, dvs. klor finns alltid i överskott.

Tabell 6. Kemiska ämnen som ingår i de termodynamiska jämviktsberäkningarna.

Table 6. Different species involved in the thermodynamic calculations.

Gasformiga						
N ₂	AlH ₂	C ₂	C ₂ H	Cl ₃	HO ₂	S ₆
Al	AlH ₃	C ₃	C ₂ H ₂	Cl ₄	H ₂ O	S ₇
Al ₂	AlHO	C ₄	C ₂ H ₃	ClClO	H ₂ O ₂	S ₈
AlC	AlHO ₂	C ₅	C ₂ H ₄	ClClO ₂	HOCl	SCl
AlC ₂	AlO	C ₆₀	C ₂ H ₅	ClO	HS	SCl ₂
Al ₂ C ₂	AlO ₂	CCl	C ₂ H ₆	ClO ₂	H ₂ S	S ₂ Cl
AlC ₃ H ₉	Al ₂ O	CCl ₂	CO	ClO ₃	H ₂ S ₂	S ₂ Cl ₂
AlCl	Al ₂ O ₂	CCl ₃	CO ₂	Cl ₂ O	H ₂ SO ₄	SO
AlCl ₂	Al ₂ O ₃	CCl ₄	C ₂ O	ClOCl	HSO ₃ Cl	SO ₂
AlCl ₃	AlOCl	C ₂ Cl	C ₃ O ₂	ClOClO	O	SO ₃
Al ₂ Cl ₄	AlOCl ₂	C ₂ Cl ₂	COCl	ClOO	O ₂	S ₂ O
Al ₂ Cl ₆	AlOH	C ₂ Cl ₃	COCl ₂	H	O ₃	SOCI
AlClH	Al(OH) ₂	C ₂ Cl ₄	C ₂ O ₂ Cl ₂	H ₂	OAlOH	SOCl ₂
AlClH ₂	Al(OH) ₃	C ₂ Cl ₅	COOH	HCO	OCIO	SO ₂ Cl ₂
AlCl ₂ H	AlO(OH)	C ₂ Cl ₆	COS	HCOOH	OH	
AlClO	AlS	C ₆ Cl ₆	CS	HCl	S	
AlCl(OH)	AlS ₂	CH	CS ₂	HCICO	S ₂	
AlCl(OH) ₂	Al ₂ S	CH ₂	CSCl ₂	HClO	S ₃	
AlCl ₂ (OH)	(AlS) ₂	CH ₃	Cl	HClO ₄	S ₄	
AlH	C	CH ₄	Cl ₂	HO	S ₅	
Kondenserade						
AlCl ₃	AlOCl	AlO	Al ₂ (SO ₄) ₃	AlC ₃ H ₉	Al	
Al ₂ Cl ₆	Al ₂ CO	Al ₂ O ₃	Al ₂ S ₃	AlC ₆ H ₁₅	AlH ₃	
AlClO	Al ₄ CO ₄	Al(OH) ₃	Al ₄ C ₃	AlC ₈ H ₁₉	C	

3 Resultat

3.1 Askornas gasutveckling

3.1.1 Gasbildningspotential

Askornas gasbildningspotential, dvs. gasbildningen i 5M NaOH-lösning, varierade mellan 0 och 75 l gas per kg aska (Tabell 7). I några fall erhöles negativa värden. Det beror på att vätskevolymen som tillsatts askan dras bort från den avlästa gasvolymen innan värdet för gasutveckling per kg aska räknas ut. Om ingen gasvolym avläses blir gasbildningsvärdet negativt och även om en liten gasvolym avläses kan gasbildningsvärdet bli negativt, beroende på hur stor vätskevolym som tillsatts. Negativa gasbildningsvärden och positiva värden nära noll kan betraktas som obefintlig gasutveckling.

Tabell 7. Gasbildningspotential (l gas/kg aska).

Table 7. Potential for gas generation (l gas/kg ash.)

Anläggning	Asktyp	Gasbildningspotential					
		medel	replikat 1	replikat 2	replikat 3	replikat 4	replikat 5
Braviken	BA	-0,1	0,0	-0,1			
	FiA	-0,6	-0,1	-1,1			
Eskilstuna	BA	0,1	0,2	0,2	0,0		
	FiA	-0,2	0,2	-0,4	-0,3		
Händelö P13	BA	0,1	0,0	0,1			
	FiA	2,1	2,3	1,9			
Händelö P14	BA	-0,4	-0,6	-0,1			
	VA	9,0	9,2	8,8			
	FiA	42,8	45,3	43,5	45,1	37,4	
Högdalen	BA	-0,4	-0,9	0,2			
	VA	11,1	10,3	11,8			
	FiA	24,9	25,8	24,1			
Kiruna	BA	28,8	22,0	18,0	14,1	48,1	41,9
	FiA	1,3	1,7	0,5	1,5		
Lidköping:1	BA	0,0	0,1	-0,1			
	VA	43,7	47,9	41,9	41,4		
	CA	72,0	74,0	75,2	66,7		
	FiA	-0,2	0,2	-0,6			
Lidköping:2	BA	0,1	0,1	0,1			
	FiA	1,3	2,3	0,2			
Linköping	BA	3,0	4,7	1,3	3,0	3,0	
	CA	40,3	42,6	35,5	40,7	42,6	40,0
Munksund	BA	0,2	0,2	0,2			
	FiA	3,3	3,8	3,0	3,8	3,1	2,7
Nynäshamn	BA	0,2	1,3	-1,0			
	VA	8,3	4,4	10,5	9,9		
	FiA	2,1	3,5	1,4	1,4		
Sundsvall	BA	-0,6	-0,1	-1,1			
	FiA	23,3	23,5	23,2			
Södertälje	BA	20,2	16,6	19,5	24,5		
	FiA	-1,0	-1,2	-0,8			
Umeå	BA	18,7	17,6	21,9	16,5		
	FiA	4,9	2,4	5,6	5,8	5,8	
Västerås	BA	-0,1	0,0	-0,1			
	FiA	2,1	2,0	2,1			

Anledningen till att ibland upp till fem replikat mättes är att gasprov som analyserades med avseende på specifika gaser även användes som replikat för gasvolymmätning.

Det kan noteras att värdena för Lidköping:1 och Lidköping:2, som hade olika provtagningsperioder, inte skiljde sig nämnvärt från varandra.

3.1.2 Gasbildning vid askans naturliga pH

När askan blandats med avjoniserat vatten, dvs. vid askans naturliga pH, bildades i de flesta fall betydligt mindre volym gas än vid reaktion i natriumhydroxidlösning (Tabell 8). För ett par askor var skillnaden inte så stor och för en aska (Högdalen VA) bildades till och med mer gas i vatten än i natriumhydroxidlösning.

Tabell 8. Gasbildning vid askans naturliga pH (l gas / kg aska). pH-värden avser en blandning av aska och vatten. Värden för gasbildningspotential visas som jämförelse.

Table 8. Gas generation at natural pH of the ash (l gas / kg ash). pH values apply to a mix of ash and water. Values of gas generation at high pH are shown for comparison.

Anläggning	Asktyp	pH i aska	Gasbildning				Gasbildningspotential
			medel	replikat 1	replikat 2	replikat 3	
Händelö P14	VA	11,9	1,4	1,5	1,3		9,0
	FiA	11,6	2,3	1,3	3,3		42,8
Högdalen	VA	12,3	12,2	12,6	11,8		11,1
	FiA	12,0	7,0	7,7	6,3		24,9
Kiruna	BA	10,5	-2,7	-3,5	-1,9		28,8
Lidköping:1	VA	11,3	25,5	29,7	21,3		43,7
	CA	10,6	37,0	41,1	34,5		72,0
Linköping	CA	11,7	31,3	29,0	37,8	27,1	40,3
Nynäshamn	VA	12,4	6,8	6,6	7,0		8,3
Sundsvall	FiA	11,8	13,5	15,6	11,5		23,3
Södertälje	BA	10,7	1,6	-0,2	3,4		20,2
Umeå	BA	11,7	2,0	3,3	0,7		18,7

3.1.3 Effekt av oxidation i luft

Effekten av oxidation blev olika för de två askor som undersöktes. Gasbildningspotentialen i filteraskan var betydligt lägre efter lagring i 42 och 60 dagar än i helt färskt tillstånd (Tabell 9). Gasbildningspotentialen i vändschaktaskan var mycket lägre än i filteraska och påverkades inte lika mycket av oxidationen.

Tabell 9. Gasbildningspotential i färsk och lagrad aska (l gas / kg aska). Askorna kommer från Händelöverket, panna 14. Medelvärde av två replikat vid varje provtagningstillfälle.

Table 9. Gas generation in fresh ash and in aged ash at high pH (l gas / kg ash). Ash material from Händelö, boiler 14. Mean value of two samples at each sampling.

Anläggning	Asktyp	Gasbildningspotential			
			Färsk aska	Lagrad aska efter 42 dagar	Lagrad aska efter 60 dagar
Händelö P14	FiA	medel	45,9	12,7	15,8
			46,3	10,6	15,7
			45,5	14,7	15,9
	VA	medel	3,1	1,7	2,3
			3,0	1,9	2,3
			3,1	1,4	2,3

Mätning av gasutveckling vid askans naturliga pH gjordes endast för filteraskan. Tyvärr erhöles inget korrekt mätvärde för helt färsk aska. På grund av för stor askmängd bildades så mycket gas att volymen inte gick att mäta. Efter fyra dagar varierade gasbildningen mycket i de fyra replikaten (Tabell 10). Med ökad lagringstid blev gasutvecklingen lägre och spridningen mindre.

Tabell 10 Gasbildning i färsk och lagrad filteraska vid askans naturliga pH (l gas / kg aska). Askan kommer från Händelöverket, panna 14. Två, tre eller fyra replikat vid varje provtagningstillfälle.

Table 10. Gas generation in fresh and aged filter ash at natural pH of the ash (l gas / kg ash). Ash material from Händelö, boiler 14. Two, three or four samples respectively at each sampling.

Anläggning	Asktyp	Gasbildning			
		Färsk aska	Lagrad aska	Lagrad aska	Lagrad aska
		2 replikat	efter 4 dagar 4 replikat	efter 42 dagar 4 replikat	efter 60 dagar 3 replikat
Händelö P14	FiA	>11,4	23,8	5,8	1,3
		>11,1	4,3	0,1	3,1
			-1,0	4,4	3,7
			10,1	7,8	

3.1.4 Bildning av andra gaser än vätgas

Vid gasscreeningen av de sex utvalda askorna detekterades ingen gas förutom små mängder av aceton, furan och bensen i provet med Kiruna bottenaska (Tabell 11). Vid sökningen efter kolväten i gaskromatograf hittades låga koncentrationer av korta kolväten. Tyvärr går det inte att separera kolväten som är gasformiga i rumstemperatur (de med upp till fyra kolatomer), men det är troligt att den dominerande gasen är metan.

Tabell 11. Bildade gaser, resultat från gasscreening och kolväteanalys (%).

Table 11. Gases generated, results from gas screening and analysis of carbohydrates (%).

Anläggning	Asktyp	Gaser enligt gasscreeningen	Kolväten enligt gaskromatografen
Eskilstuna	BA	Ingen mätbar gasbildning	0 (ingen mätbar gasbildning)
Händelö P14	FiA	Ingen detekterbar gas	0,005
Kiruna	BA	Aceton, furan och bensen i storleksordningen 0,0006	0,01
Lidköping:1	CA	Ingen detekterbar gas	0,005
Linköping	CA	Ingen detekterbar gas	0,06
Munksund	FiA	Ingen detekterbar gas	0,006

3.1.5 Gasbildning från andra metaller än aluminium

Av de tre metaller som undersöktes visade det sig att enbart järn utvecklade gas vid reaktion med natriumhydroxidlösning (Tabell 12). För jämförelse undersöktes även gasbildningen från aluminiumpulver. Gasbildningspotentialen blev då nära det teoretiskt möjliga (1354 l gas/kg metall). Observera också att aluminium utvecklade gas även i rent, avjoniserat vatten.

Tabell 12. Gasbildning från några metaller i natriumhydroxidlösning (och vatten för aluminium) (l gas / kg metall).

Table 12. Gas generation from some metals in sodium hydroxide solution (and water for aluminium) (l gas / kg metal).

Metall	Vätska	Gasbildning		Utseende vid försökstidens slut
		replik 1	replik 2	
aluminium	NaOH-lösning	1174,5		Metallen helt upplöst. Rostfärgad lösning.
aluminium	vatten	13,9		Metallkorn kvar. Färglös lösning.
koppar	NaOH-lösning	-20,9	-8,0	Metallen upplöst? Brunsvart lösning.
järn	NaOH-lösning	9,3	1,2	Metallkorn kvar. Rostfärgad lösning.
bly	NaOH-lösning	-6,3		Metallkorn kvar. Färglös lösning.

3.2 Askornas kemiska sammansättning och pH

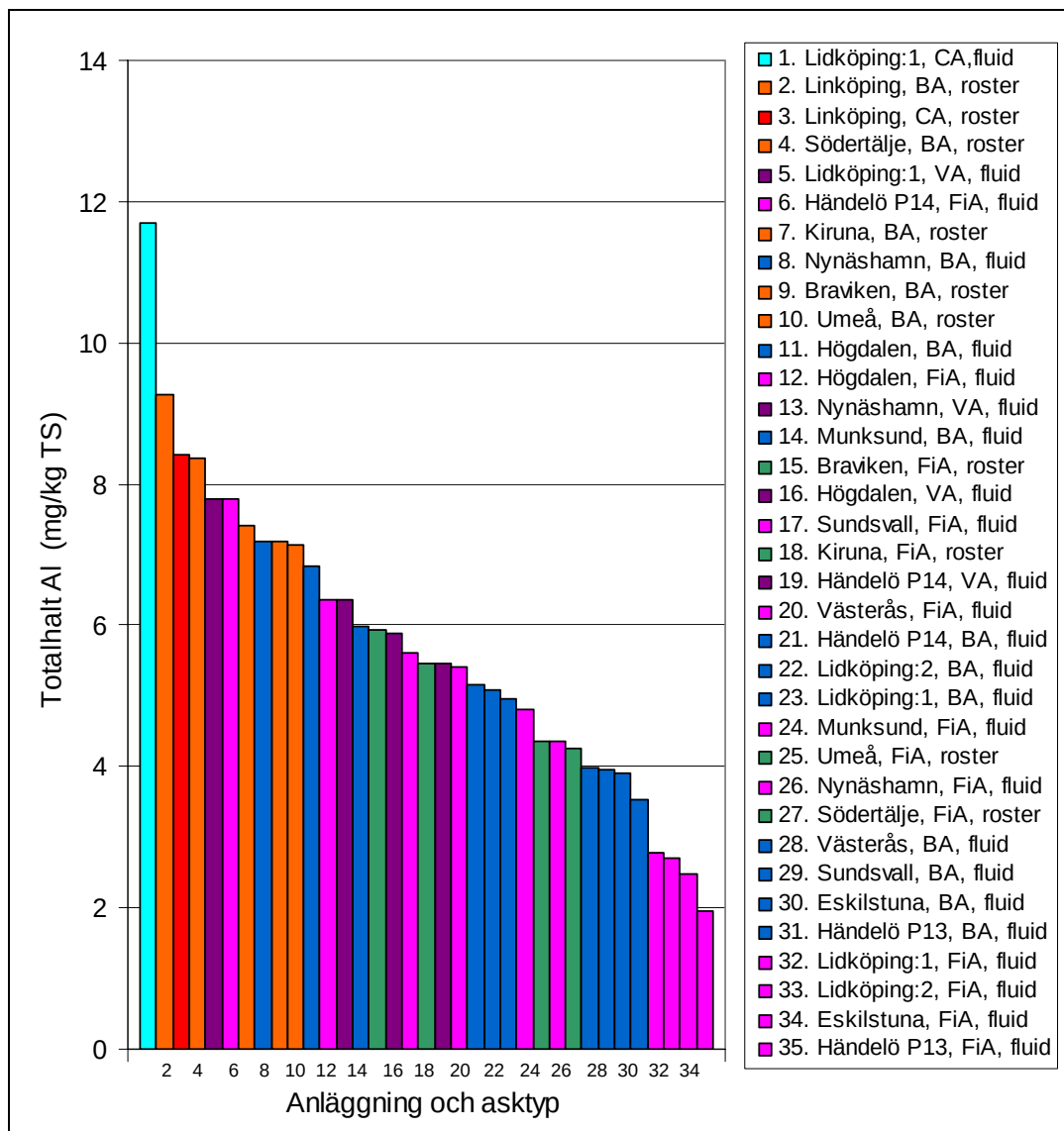
Totalt analyserades 34 olika grundämnen i askorna. Halterna av de för studien mest intressanta ämnena samt pH är redovisade i Tabell 13. Fullständiga laboratorieresultat inklusive angivelser av mätosäkerheter redovisas i Bilaga B.

Tabell 13. Kemisk sammansättning av studerade askor, utdrag ur resultat från totalhaltsanalys.

Table 13. Chemical composition of ash studied, part of the total content analysis results.

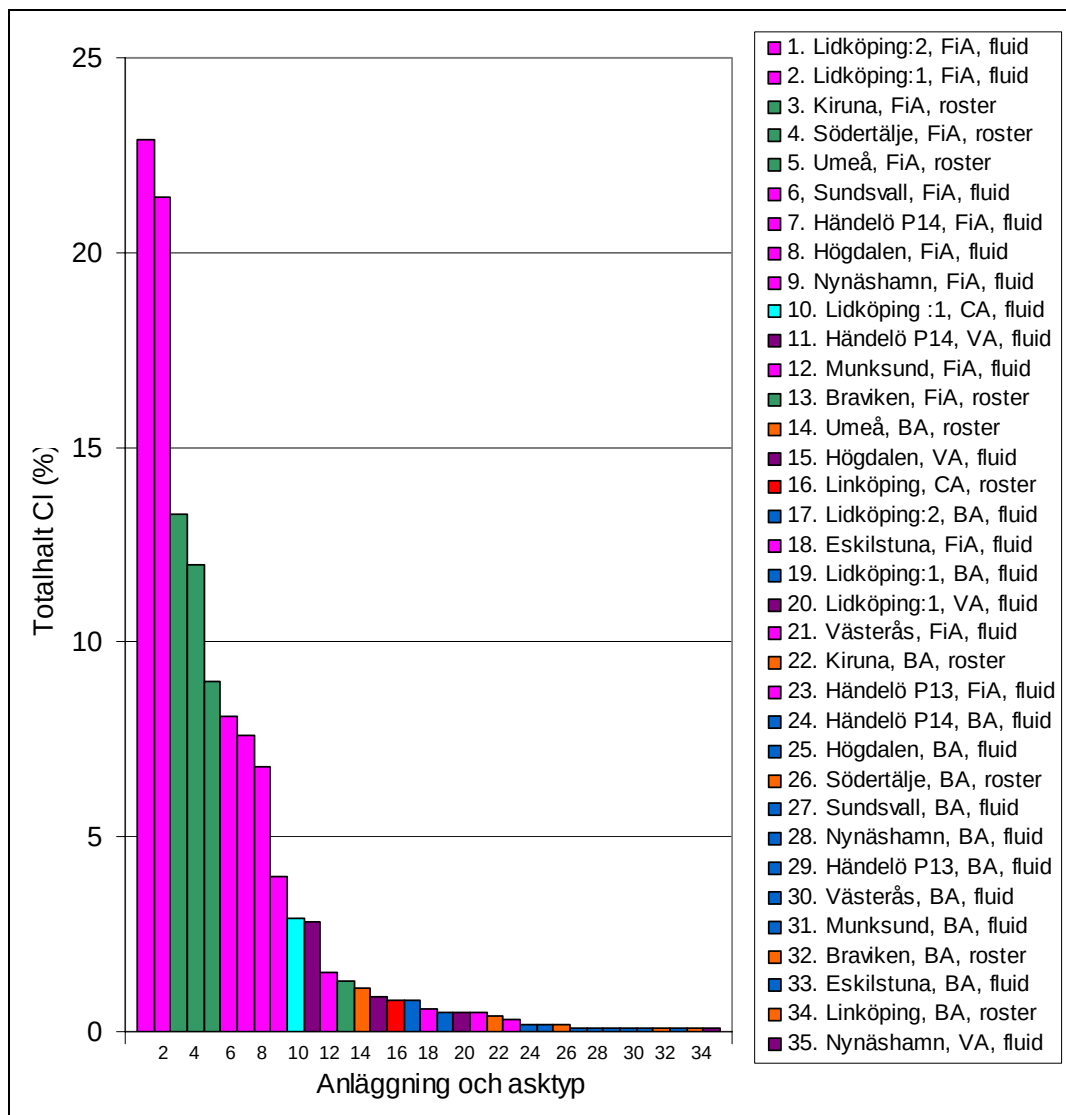
Anläggning, panntyp	Asktyp	Totalhalt (% TS)			Totalhalt (%)	pH
		aluminium	kalcium	järn	klor	
Braviken, roster	BA	7,2	29,5	0,92	<0,1	
	FiA	5,9	26,7	1,20	1,3	
Eskilstuna, fluid	BA	3,9	6,28	0,94	<0,1	
	FiA	2,5	23,1	1,29	0,6	
Händelö P13, fluid	BA	3,5	16,7	2,24	<0,1	
	FiA	2,0	30,2	6,78	0,3	
Händelö P14, fluid	BA	5,2	6,55	3,27	0,2	
	VA	5,5	13,9	6,66	2,8	11,9
	FiA	7,8	19,7	5,35	7,6	11,6
Högdalen, fluid	BA	6,8	7,50	2,76	0,2	
	VA	5,9	15,9	3,31	0,9	12,3
	FiA	6,4	23,3	2,48	6,8	12,0
Kiruna, roster	BA	7,4	9,43	8,81	0,4	10,5
	FiA	5,5	17,3	3,88	13,3	
Lidköping:1, fluid	BA	5,0	6,99	4,48	0,5	
	VA	7,8	6,68	3,85	0,5	11,3
	CA	11,7	15,2	3,71	2,9	10,6
	FiA	2,8	27,4	0,84	21,4	
Lidköping:2, fluid	BA	5,1	7,43	4,51	0,8	
	FiA	2,7	29,2	0,85	22,9	
Linköping, roster	BA	9,3	9,51	4,90	0,1	
	CA	8,4	8,43	2,71	0,8	11,7
Munksund, fluid	BA	6,0	7,65	1,93	<0,1	
	FiA	4,8	19,4	1,84	1,5	
Nynäshamn, fluid	BA	7,2	3,75	2,69	<0,1	
	VA	6,4	6,44	2,37	0,1	12,4
	FiA	4,3	15,9	2,20	4,0	
Sundsvall, fluid	BA	4,0	8,36	2,02	<0,1	
	FiA	5,6	24,1	2,25	8,1	11,8
Södertälje, roster	BA	8,4	17,2	3,31	0,2	10,7
	FiA	4,3	17,8	2,76	12	
Umeå, roster	BA	7,1	10,1	7,34	1,1	11,7
	FiA	4,4	19,0	2,83	9,0	
Västerås, fluid	BA	4,0	4,64	1,59	<0,1	
	FiA	5,4	9,86	3,68	0,5	

I Figur 4 och 5 har askorna rangordnats efter total aluminiumhalt respektive klorhalt.



Figur 4. Total aluminiumhalt i samtliga undersökta askor. Askorna är rangordnade efter aluminiumhalt.

Figure 4. Total content of aluminium in all ash studied. The ash materials are ranked in order of aluminium content.



Figur 5. Total klorhalt i samtliga undersökta askor. Askorna är rangordnade efter klorhalt.

Figure 5. Total content of chlorine in all ash studied. The ash materials are ranked in order of chlorine content.

3.3 Resultat från svepelektronmikroskopi (SEM/EDS) och pulverröntgen-diffraktion (XRD)

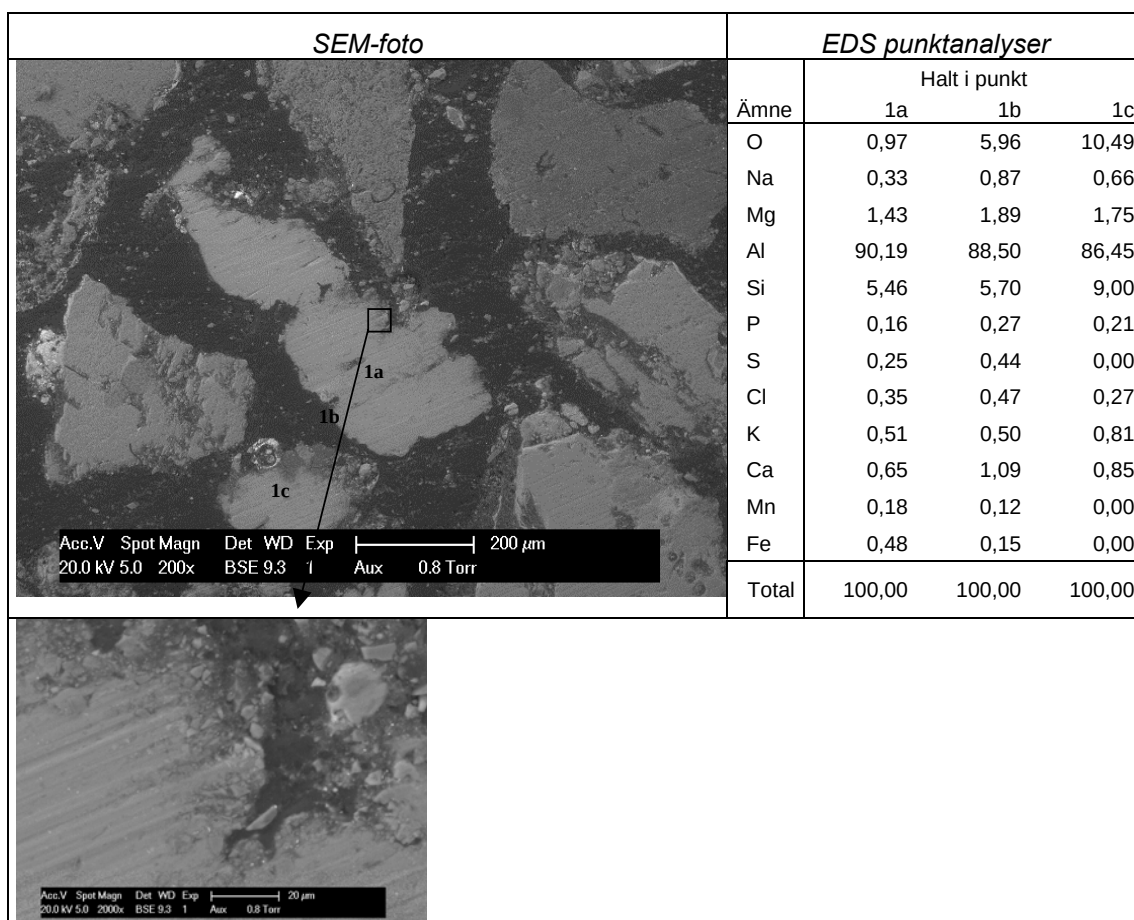
3.3.1 Lidköping:1 vändschaktaska

SEM/EDS-analysen visar på förekomst av framförallt begagnat bäddmaterial (sand), dvs. kvarts och olika fältspater. Rena aluminiumpartiklar förekommer också relativt frekvent (dock uppskattningsvis mindre än vart 20:e korn). Ett antal korn med högt innehåll av koppar återfinns också i provet.

Figur 6 och 7 visar SEM-foton på några typiska aluminiumpartiklar som hittades i provet. Av fotona framgår att de analyserade partiklarna är ca 200 µm breda och förefaller

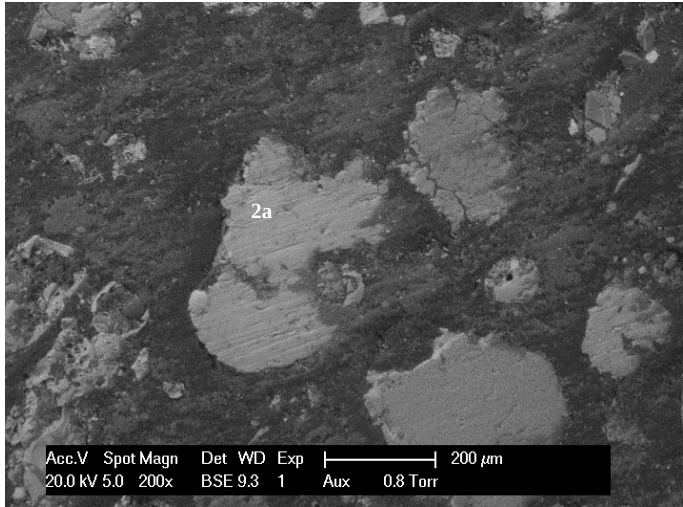
inte ha varit smälta i någon större omfattning under sin transport genom förbränningsanläggningen.

De EDS-punktanalyser som gjorts på respektive aluminiumpartikel visar inte på någon större skillnad i sammansättning mellan yta och inre delar (Figur 6 och 7), dvs. ingen nämnvärd oxidation av aluminiumpartikeln har skett under transporten genom förbränningsanläggningen. Det bör dock nämnas i sammanhanget att de punktanalyser som genomförts med SEM/EDS endast har en upplösning på ca 2–5 µm.



Figur 6. SEM-foto av typisk aluminiumpartikel i Lidköping:1 vändschaktaska. Nedre bilden är en förstoring av den markerade rutan i övre bilden. Tabellen anger halten av olika ämnen enligt EDS för analyspunkt 1a–1c (atomprocent).

Figure 6. SEM photo of typical aluminium particle in Lidköping:1 idle pass ash. The lower photo is an enlargement of the marked square in the upper photo. The table shows the amount of elements according to EDS analysis of point 1a–1c (atom percent).

SEM-foto	EDS punktanalys	
	Ämne	Halt i punkt 2a
	O	3,69
	Na	0,58
	Mg	1,61
	Al	91,24
	Si	3,28
	P	0,17
	S	0,24
	Cl	0,34
	K	0,32
	Ca	0,75
	Mn	0,79
	Fe	0,68
	Total	100,00

Figur 7. SEM-foto av typisk aluminiumpartikel i Lidköping:1 vändschaktaska med tillhörande EDS-punktanalysresultat. Halter av olika ämnen är angivna i atomprocent.

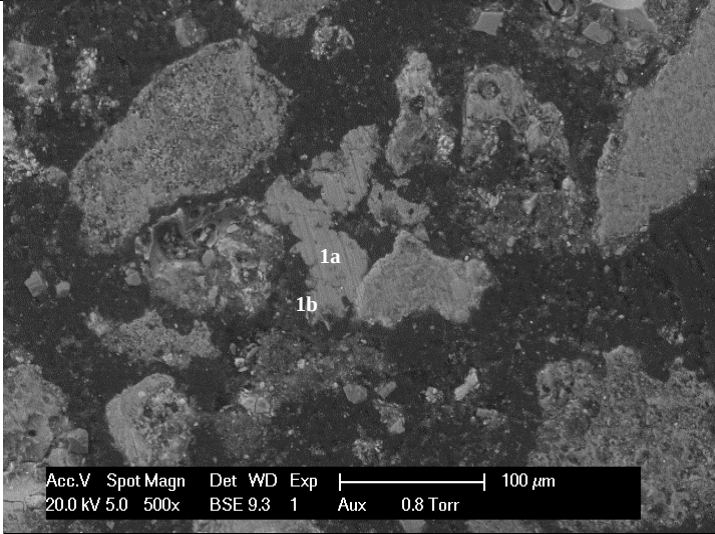
Figure 7. SEM photo of typical aluminium particle in Lidköping:1 idle pass ash together with results from EDS point analysis. Amounts of elements are given in atom percent.

Resultaten från XRD-analyserna visar på förekomst av kvarts, fältspater, anhydrit, kalcit och metalliskt aluminium i provet.

3.3.2 Händelö P14 vändschaktaska

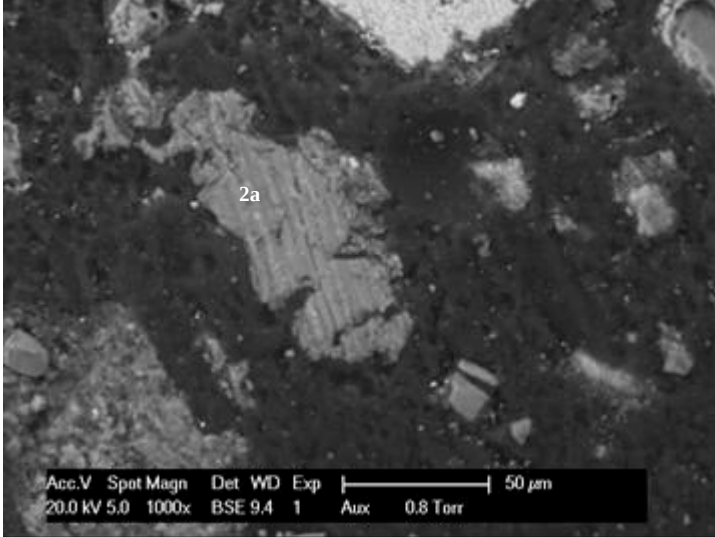
För Händelö P14 vändschaktaska visade SEM/EDS-analysen på förekomst av framförallt begagnat bäddmaterial (sand), dvs. kvarts och olika fältspater. Rena aluminiumpartiklar förekom också i provet men i betydligt mindre omfattning än i provet från Lidköping. Ett antal korn med högt innehåll av bl.a. järn återfanns också. Figur 8 och 9 visar SEM-foton på några typiska aluminiumpartiklar som hittats i provet. Av fotona framgår att de analyserade partiklarna är ca 50 µm breda och förefaller inte ha varit smälta i någon större omfattning under sin transport genom förbränningsanläggningen.

De EDS-punktanalyser som gjorts på respektive aluminiumpartikel visar på en något högre syrehalt på kornets yta i jämförelse med dess inre del (Figur 8 och 9) dvs. aluminiumkornet har delvis oxiderats under transporten genom förbränningsanläggningen.

SEM-foto	EDS punktanalyser		
	Halt i punkt		
	Ämne	1a	1b
	O	5,77	23,14
	Na	0,27	1,71
	Mg	1,41	1,97
	Al	81,64	53,04
	Si	5,58	9,87
	P	0,18	0,51
	S	0,42	1,39
	Cl	0,35	1,43
	K	0,38	0,74
	Ca	1,98	4,21
	Mn	0,88	0,38
	Fe	1,14	1,61
	Total	100,00	100,00

Figur 8. SEM-foto av typisk aluminiumpartikel i Händelö P14 vändschaktaska med tillhörande EDS-punktanalysresultat. Halter av olika ämnen är angivna i atomprocent.

Figure 8. SEM photo of typical aluminium particle in Händelö P14 idle pass ash together with results from EDS point analyses. Amounts of elements are given in atom percent.

SEM-foto	EDS punktanalyser	
	Halt i punkt	
	Ämne	2a
	O	6,05
	Na	0,80
	Mg	1,64
	Al	83,84
	Si	4,66
	P	0,36
	S	0,44
	Cl	0,42
	K	0,37
	Ca	1,43
	Mn	0
	Fe	0
	Total	100,00

Figur 9. SEM-foto på typisk aluminiumpartikel i Händelö P14 vändschaktaska med tillhörande EDS-punktanalysresultat. Halter av olika ämnen är angivna i atomprocent.

Figure 9. SEM photo of typical aluminium particle in Händelö P14 idle pass ash together with results from EDS point analysis. Amounts of elements are given in atom percent.

Resultaten från XRD-analyserna visar på förekomst av kvarts, fältspater, anhydrit och eventuellt lite metalliskt aluminium.

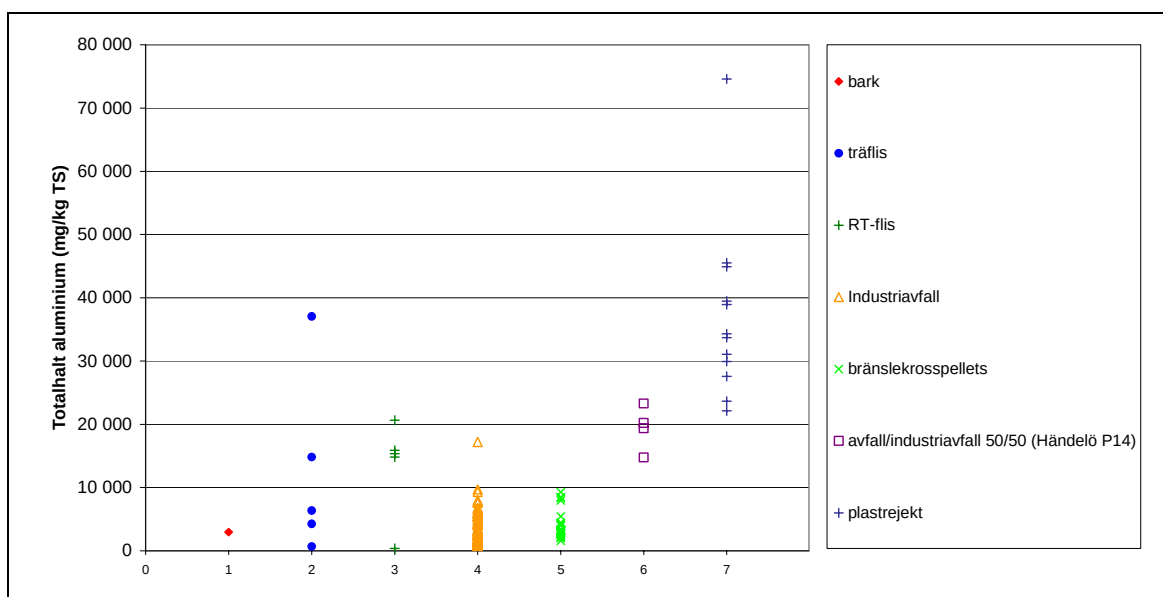
3.3.3 Munksund filteraska

Resultaten från SEM/EDS-analys av Munksund filteraska visar liksom för föregående askor på förekomst av såväl begagnat bäddmaterial (sand) som typiska filteraskpartiklar innehållande kalium, svavel, klor och kalcium. Inga andra aluminiumföreningar förutom de i bäddmaterialen förekommande fältspaterna kunde återfinnas med SEM.

Resultaten från XRD-analyserna visar på förekomst av kvarts, anhydrit, kalcit, portlandit, sylvit, fältspater och ytterligare något silikat. Inget metalliskt aluminium kunde detekteras med hjälp av XRD-analys.

3.4 Bränslets kemiska sammansättning

Aluminiumhalten i sju av de bränslen som används hos de aktuella anläggningarna framgår av Figur 10. Bränsleanalyserna är inte utförda i samband med projektets askanalys, utan kommer från tidigare bränsleprovtagningar. Alla insamlade bränsleanalys återfinns i Bilaga C. De redovisade värdena i Figur 10 är den totala aluminiumhalten, dvs. inte enbart metalliskt aluminium utan även aluminium i form av exempelvis silikater eller oxider.



Figur 10. Total aluminiumhalt i olika bränslen.

Figure 10. Total content of aluminium in different fuels.

För att få en uppfattning om hur stor andel metalliskt aluminium respektive aluminium i annan form som förekommer i bränslena, analyserades några utvalda homogena bränslen i samband med projektet. Bränsleprov togs från Södertälje (bränslekrosspellets), Linköping (plastrejekt) och Munksund (wellrejekt). Bränsleproverna togs inte i samband med askprovtagningen. Projektet fick även ta del av analyser gjorda på industriavfall från Högdalenverket, som analyserats tidigare av SP med samma metod.

Plastrejektet hade störst total aluminiumhalt och hade också en betydligt högre halt metalliskt aluminium (Tabell 14). I Figur 11–13 visas exempel på hur de olika bränslena kan se ut.

Tabell 14. Analys av total aluminiumhalt samt halt metalliskt aluminium för några olika bränslen (viktprocent).

Table 14. Analysis of the total content of aluminium and the content of elementary aluminium for different kinds of fuel (percent by mass).

	Total aluminiumhalt	Halt metalliskt aluminium	Kvot metalliskt/totalhalt
Bränslekrosspellets	6,1	0,18	0,030
Plastrejekt	11	1,0	0,091
Wellrejekt	2,1	0,05	0,024
Industriavfall 1	0,81	0,058	0,072
Industriavfall 2	0,61	0,076	0,125
Industriavfall 3	0,81	0,041	0,051



Figur 11. Bränslekrosspellets

Figure 11. Industrial refuse (pellet)



Figur 12. Plastrejekt

Figure 12. Plastic reject

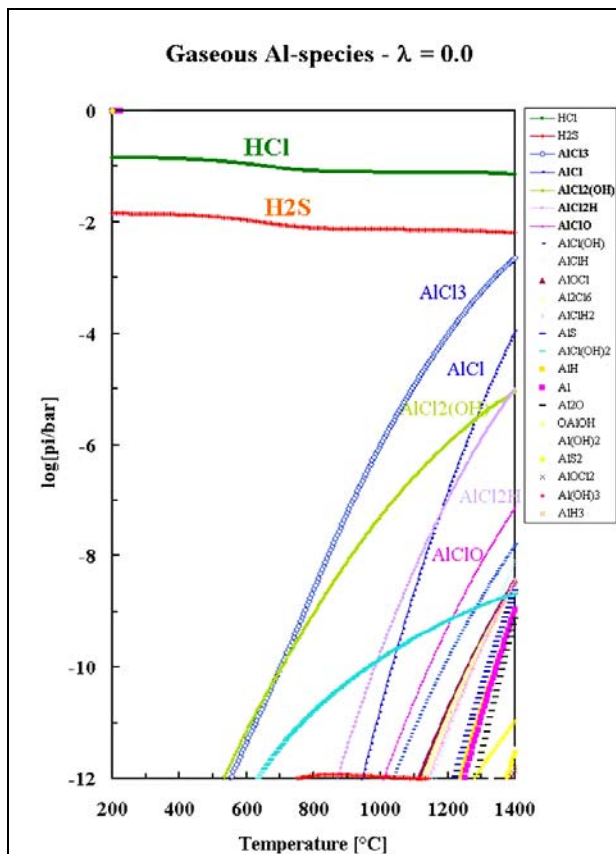


Figur 13. Wellrejekt

Figure 13. Well reject

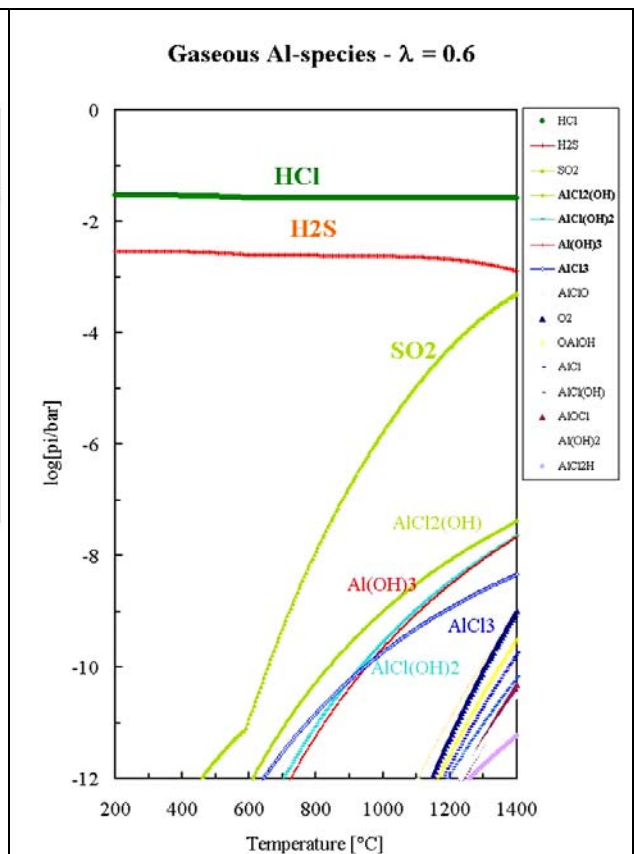
3.5 Resultat från termodynamiska beräkningar

Resultaten från de termodynamiska beräkningarna redovisas i Figur 14–19. Ämnen i fast form visas inte i diagrammen. X-axeln representerar antingen temperatur, T , eller luftfaktor, λ , medan y-axeln visar det logaritmiska partialtrycket för gasformiga föreningar. I samtliga beräkningar är fast aluminiumoxid närvarande. Vid luftfaktor under 0,2 är dessutom elementärt kol närvarande (Figur 14). Vid oxiderande förhållanden under 500°C är fast aluminiumsulfat stabilt samtidigt med Al_2O_3 (Figur 16 och 17). Jämviktsberäkningar visar att koncentrationerna av gasformiga aluminiumföreningar alltid är mycket låga, även i närvaro av klor och svavel (Figur 14–19). De gasformiga föreningar som har de högsta koncentrationerna vid normala förbränningsförhållanden är $\text{Al}(\text{OH})_3$, AlCl_2OH , $\text{AlCl}(\text{OH})_2$ och AlCl_3 (Figur 18). Halterna av dessa ämnen är dock mycket låga, mellan 10^{-12} och 10^{-10} bar i partialtryck, vilket innebär att det främst är fast aluminiumoxid som bildas.



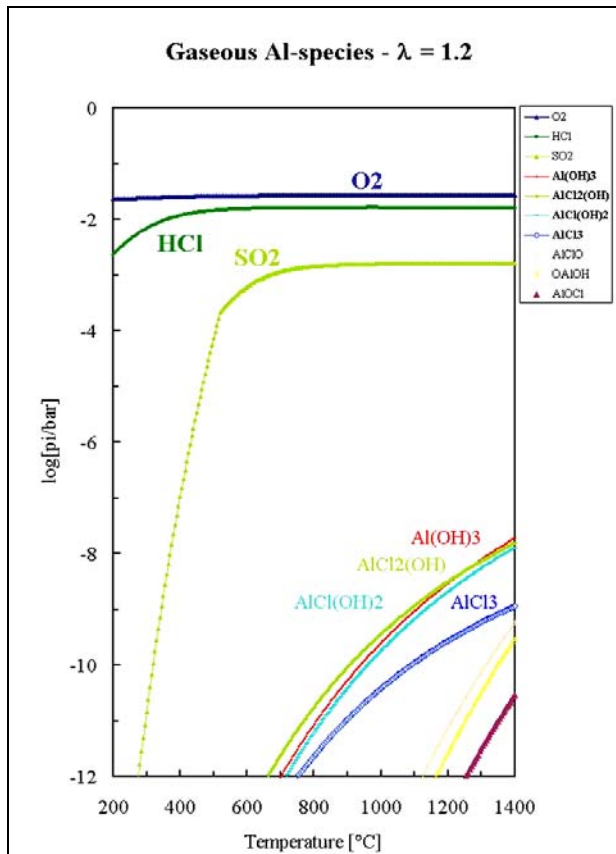
Figur 14. Jämviktsberäkningar med variation av temperaturen i syrefri miljö.

Figure 14. Equilibrium calculations for temperature dependency in oxygen free environment, $\lambda = 0$.



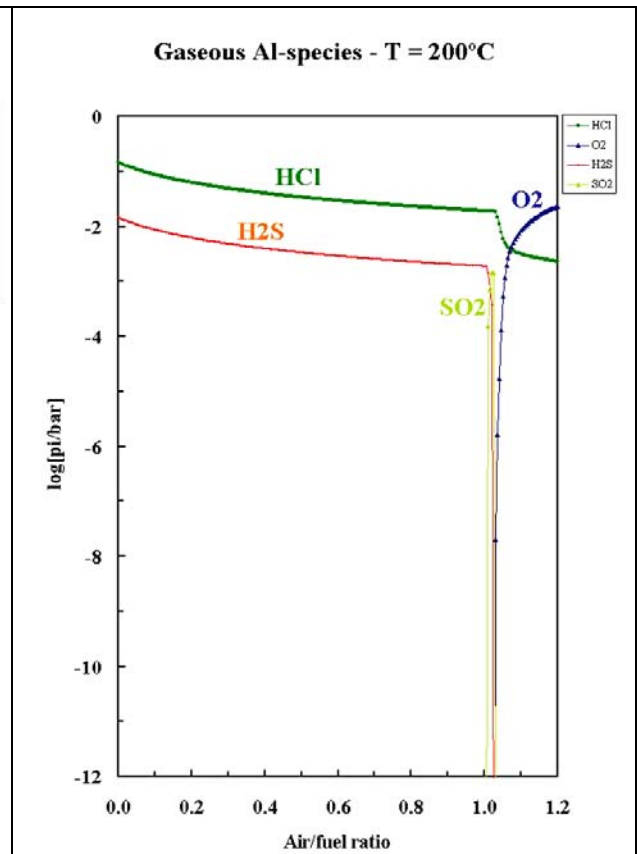
Figur 15. Jämviktsberäkningar med variation av temperaturen vid konstant luftfaktor, $\lambda = 0,6$.

Figure 15. Equilibrium calculations for temperature dependency with constant excess of air, $\lambda = 0.6$.



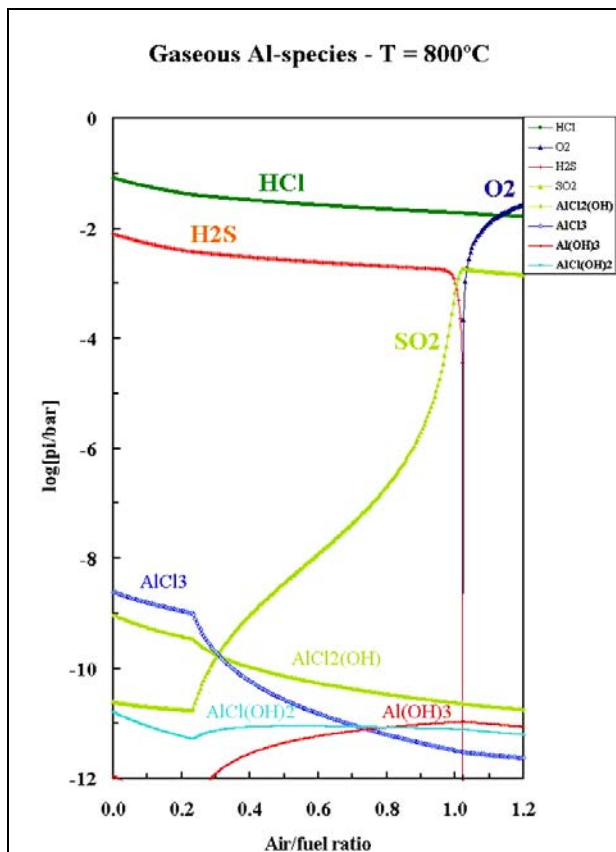
Figur 16. Jämviktsberäkningar med variation av temperaturen vid konstant luftfaktor, $\lambda = 1.2$.

Figure 16. Equilibrium calculations for temperature dependency with constant excess of air, $\lambda = 1.2$.



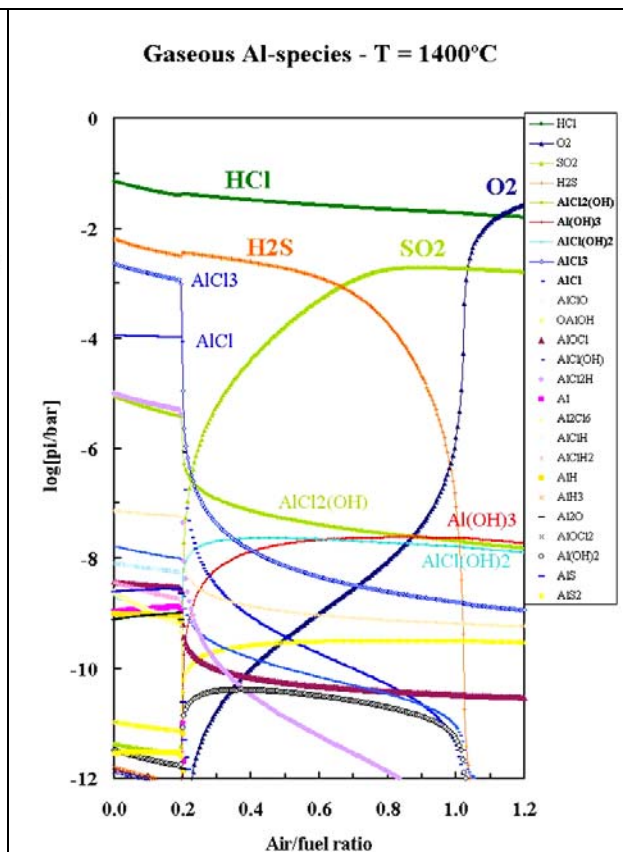
Figur 17. Jämviktsberäkningar med variation av luftfaktorn vid konstant temperatur, $T = 200^\circ\text{C}$.

Figure 17. Equilibrium calculations for dependency of excess air at constant temperature, $T = 200^\circ\text{C}$.



Figur 18. Jämviktsberäkningar med variation av luftfaktorn vid konstant temperatur, $T = 800^{\circ}\text{C}$.

Figure 18. Equilibrium calculations for dependency of excess air at constant temperature, $T = 800^{\circ}\text{C}$.



Figur 19. Jämviktsberäkningar med variation av luftfaktorn vid konstant temperatur, $T = 1400^{\circ}\text{C}$.

Figure 19. Equilibrium calculations for dependency of excess air at constant temperature, $T = 1400^{\circ}\text{C}$.

4 Resultatanalys

4.1 Gasbildning (analysmetoden, effekt av oxidation, bildade gaser och reagerande metaller)

4.1.1 Analysmetoden

Några anmärkningsvärt låga värden på gasbildning vid askans naturliga pH samt de negativa mätvärden som erhållits, satte fokus på att gasmätningsmetodens tillförlitlighet behövde undersökas.

Eftersom mätningar med en tidigare metod [13] har gett högre värden på gasbildningspotential än i detta projekt, för en handfull askor [13] [26] (dock inte med samma provtagningsdatum som här!), undersöktes en av askorna i studien även med den tidigare metoden. Händelö P14 filteraska valdes eftersom dess gasbildningsegenskaper är någorlunda väl kända. Resultatet blev att den tidigare metoden gav 33% högre värde än den nyutvecklade (Tabell 15). En felkälla för den tidigare metoden kan vara att bildad gasvolym mäts på ett indirekt sätt, genom omräkning av tryckökning.

Ett prov av Händelö P14 filteraska skickades dessutom till Sapa Technology för aluminiumhaltsbestämning. Sapa bestämmer halt metalliskt aluminium i ett prov genom att tillsätta 4 M natriumhydroxidlösning och sedan leda bort och läsa av den gasvolym som bildas. Sapas metod bygger, liksom SGI:s tidigare använda och SGI:s nyutvecklade, på reaktion mellan metalliskt aluminium och vatten i basisk miljö med vätgasutveckling. Sapas värde på gasbildningspotential blev 5% lägre än värdet med SGI:s nyutvecklade metod (Tabell 15).

Det är rimligt att olika mätmetoder ger olika värden. Det har egentligen ingen betydelse så länge som relationen mellan metodernas mätvärden är densamma både vid liten och stor gasbildning. Det är möjligt att den tidigare använda metoden gav för höga värden på grund av förhöjd temperatur under reaktionen. Ändå följer här en genomgång av möjliga felkällor i den nya metoden:

- Flaskorna läcker lite, trots att tätheten är testad.
- Reaktioner som förbrukar gas äger rum (syrgas kan förbrukas vid vätgasbildning enligt [4]).
- Lufttrycket i försökslokalen varierar så att felaktig volym läses av.

Flaskornas täthet

De glasflaskor med gummiproppar och aluminiumförslutning som använts i studien ska vara gastäta, men med tanke på att vätemolekylen är så liten skulle små mängder vätgas kunna läcka ut, speciellt vid högt tryck [27] [28].

Gasförbrukande reaktioner

När partialtrycket av H_2 ökar i provflaskan ökar koncentrationen av löst H_2 i vätskefasen och driver jämviktsreaktionen



åt höger med hjälp av en katalysator. O_2 löst i vätskefasen tar upp elektroner och de mycket reaktiva syrejoner som då bildas tar upp H^+ så att vatten bildas enligt



När koncentrationen av O_2 som är löst i vätskefasen minskar, löser sig mer O_2 från gasfasen i vätskan.

Ovanstående reaktioner har haft olika stort inflytande för de undersökta askornas gasbildningsresultat eftersom askorna är olika med avseende på gasproduktion, pH, redoxpotential, kalkhalt och övriga ingående ämnen.

En annan gasförbrukande reaktion kan vara att vätgas och syrgas bildar vatten och kondenserar vid högt tryck.

De beskrivna reaktionerna innebär att gasbildningsmätningarna i studien underskattas, inte endast för att bildad vätgas reagerar och försvinner, utan också för att syrgasen som fanns i luften i flaskan från början minskar. Som mest kan ca 24 ml syrgas försvinna. På Händelö har man erfärut att syrehalten i från början luftfyllda flaskor minskar och går mot noll vid vätgasbildning i aska [29].

För att undersöka, indirekt, om gas försvinner genom kemiska reaktioner, mättes gasutvecklingen för en aska i inert argon-atmosfär i stället för i luft. Återigen valdes Händelö P14 filteraska. Mätning vid askans naturliga pH valdes, eftersom de låga värden som erhållits i studien, stämde dåligt med de uppskattningar som gjorts i bergrummet vid Händelöverket där man förvarar filteraska i vatten [29]. I bergrummet bildas uppskattningsvis 20–30 l gas / kg aska mot 1,3–3,3 l / kg i studien, men då måste man beakta skillnaderna mellan bergrumsmiljön och laboratoriet: I bergrummet läggs askan ner i vatten med pH 10–11 i stället för i avjoniserat vatten och temperaturen är troligtvis betydligt högre än rumstemperatur.

Försöket utfördes på samma sätt som de ordinarie gasbildningsmätningarna med det undantaget att luften i flaskan ersattes med argon genom att den tyngre argongasen fick tränga undan luften innan gummiproppen sattes på plats. Resultatet blev att gasbildningen i argonatmosfär blev 3,7 gånger högre än i luft (Tabell 15).

Detta enstaka argonresultat kan troligtvis inte direkt överföras på alla gasbildningsresultat i studien, men det är onekligen intressant. Kan det vara så att den katalysator som krävs för gaskonsumerande reaktioner finns i vissa askor men inte i andra? Hur stor betydelse har temperaturen? Har vissa prover uppnått ett tillstånd då syre reagerar, beroende av provmängd eller variation i lufttemperatur eller annan okänd faktor, och andra inte?

Tabell 15. Analys av den nyutvecklade metoden. Gasbildningspotential och gasbildning för filteraska från Händelö panna 14 (l gas / kg aska).

Table 15. Investigation of the new developed method. Potential of gas generation and gas generation at natural pH of filter ash from Händelö P14 (l gas / kg ash).

		Tidigare metod	Nyutvecklad metod med luft	Sapa Technology	Nyutvecklad metod med argon
Gasbildningspotential	medel	57,2	42,8	41,0	
		57,5	45,3	41,0	
		57,0	43,5	41,2	
			45,1	40,8	
			37,4		
Gasbildning vid askans naturliga pH	medel		2,3		8,6
			1,3		7,8
			3,3		9,4

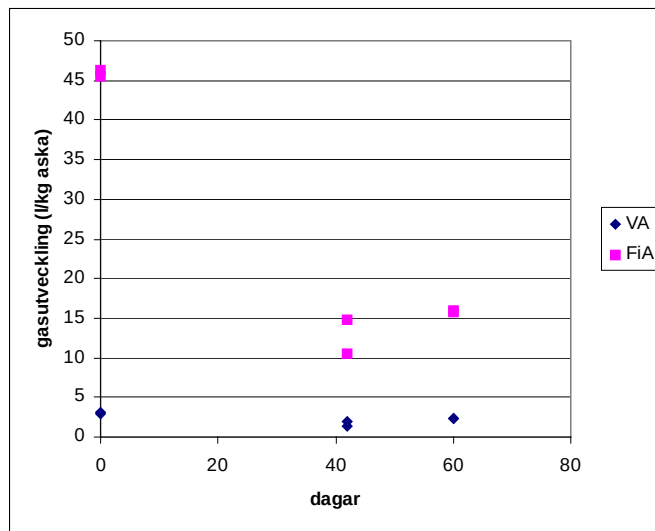
Lufttrycket i försökslokalen

Ingen lufttrycksmätning har utförts under försökens gång, men mot bakgrund av ovanstående resonemang om gasförbrukande reaktioner bedöms inverkan på gasbildningsresultaten från lufttrycksvariationer i försökslokalen som försumbar.

4.1.2 Hur påverkas gasbildningen av oxidation?

Lagrad filteraska från Händelöverkets panna 14 hade betydligt lägre gasbildningspotential än helt färsk filteraska (Figur 20). Lagringen i öppna tråg med regelbunden omrörning verkade ge en relativt snabb oxidation av aluminiummytor. Efter 1–2 månaders lagring vid god syretillgång var troligtvis alla aluminiummytor oxiderade och kvarvarande gasbildningspotential förblev stabil på en lägre nivå.

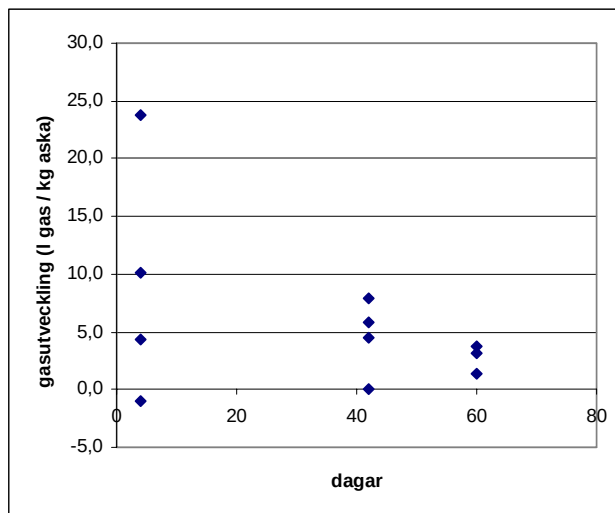
Vändschaktaskan uppvisade en låg och jämn gasbildningspotential (Figur 20). Den var lägre än i de ordinarie gasbildningsmätningarna, men eftersom askproverna var tagna vid olika tidpunkter kan förhållandena i pannorna ha varit olika. Att gasbildningspotentialen inte minskade med lagringen kan bero på att tillgängligt metalliskt aluminium hade oxiderats redan i pannan och att det inte fanns möjlighet för ytterligare oxidering.



Figur 20. Gasbildningspotential i färsk och lagrad aska (l gas/kg aska, Filteraska och vändschaktaska från Händelöverket, panna 1

Figure 20. Potential of gas generation of fresh and aged ash (l gas/kg ash). Filter ash and idle pass materials from Händelö, boiler 14.

Vid naturligt pH varierade filteraskans gasbildning mycket till en början (Figur 21). Det kan förklaras av att det varit stor skillnad i syreexponering på olika provtagningsställen i tråget, trots att proven togs en bit ner i askvolymen. Även reaktioner som har konsumerat syre/väte kan spela in. Efter 60 dagar hade både gasbildningen och spridningen minskat, vilket troligtvis berodde på att alla ytor av metallisk aluminium då var oxiderade.



Figur 21. Gasbildning i nästan färsk och lagrad aska vid askans naturliga pH (l gas/kg aska). Filteraska från Händelöverket, panna 14.

Figure 21. Gas generation of almost fresh and aged ash at natural pH of the ash (l gas/kg ash). Filter ash material from Händelö, boiler 14.

Att både gasbildningspotential och gasbildning vid filteraskans naturliga pH minskar vid lagring, betyder att riskerna med att deponera och på andra sätt slutförvara aska kan minskas genom att askorna först exponeras för luft.

I denna studie har gasbildningsmätningarnas olika replikat mätts vid olika tidpunkter, men uppvisar ändå inte sjunkande gasbildning. Troligtvis har de tättslutande lock som använts på askburkarna hindrat en kraftig oxidation.

När det gäller bottenaskorna kan torkning och krossning eventuellt ha påverkat askorna så att gasutvecklingen blivit mindre.

4.1.3 Vilka gaser bildas?

Resultaten från gasscreening och kolväteanalys bekräftar att det huvudsakligen är vätgas som bildas från aska i basisk miljö. Metan kan bildas då metallkarbider reagerar med vatten och vid nedbrytning av oförbränt material. Glödgningsförlusten eller loss on ignition (LOI) för en aska säger en del om hur stor andel oförbränt material askan innehåller. Det är dock viktigt att veta vid vilken temperatur glödgningen har gjorts. Av de sex askor som analyserades med avseende på specifika gaser utvecklade Linköping cyklonaska högst koncentration korta kolväten (metan) och hade också högst värde på LOI. För övriga askor fanns ingen korrelation. Observera att en stor del av LOI inte är ett mått på oförbränt material utan beror på kemiskt bundet vatten, avgående karbonater m.m. [30].

4.1.4 Kan andra metaller bidra till gasbildningen?

Av de undersökta metallerna var det bara järn som utvecklade någon gas och gasutvecklingen var så låg i natriumhydroxidlösning att det inte är troligt att det bildas någon betydande gasvolym i avjoniserat vatten. Resultatet visar att metalliskt järn i askan kan påverka gasbildningen åtminstone vid högt pH.

Anledningen till att koppar och bly gav så stora negativa värden är att ett negativt värde på gasvolymen blir ännu större när man dividerar värdet med en invägd metallvikt som är mindre än 1 g.

Observera att det uppnådda mätresultatet för aluminium är känsligt eftersom provmängden var så liten ($< 0,07$ g). Det räcker med enstaka korn av en annan metall för att det ska bli fel.

Eventuellt skulle några andra metaller som inte har testats (t.ex. zink) kunna bidra till gasbildning. I bottenaska kan det ofta finnas stora metallbitar, men kunskapen när det gäller totalhalten av olika metaller i aska är begränsad eftersom de stora metallbitarna siktas bort före totalhaltsanalys. I denna studie har metallbitar, så långt det varit möjligt, tagits med vid gasbildningsmätningarna. Trots det är gasbildningsbidraget från andra metaller än aluminium troligtvis ändå begränsad med tanke på den ojämförligt höga gasbildningspotentialen som uppmättes för aluminiumet.

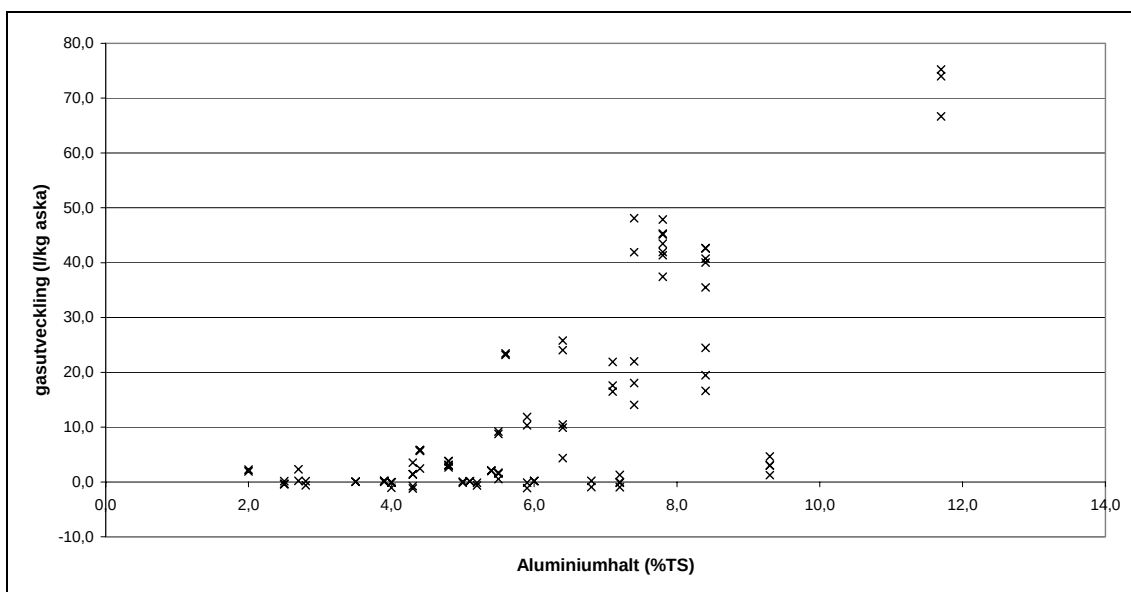
4.2 Samband mellan askans kemiska sammansättning och dess gasutveckling

De kemiska askegenskaper som bedömdes som mest intressanta för studien var askornas aluminiumhalt, klorhalt och pH. Enligt Avsnitt 1.1 är det sannolikt att mängden metalliskt aluminium är styrande för hur mycket vätgas som kan bildas, men också pH och kloridhalt anses vara viktiga faktorer på så sätt att högt pH och hög kloridhalt ökar vätgasbildningen. Därför söktes i denna studie samband mellan dessa tre parametrar och askornas gasutveckling. Dessutom användes SEM- och XRD-analysernas resultat till att jämföra förekomsten av metalliskt aluminium i några askor.

4.2.1 Samband mellan aluminiumhalt och gasutveckling

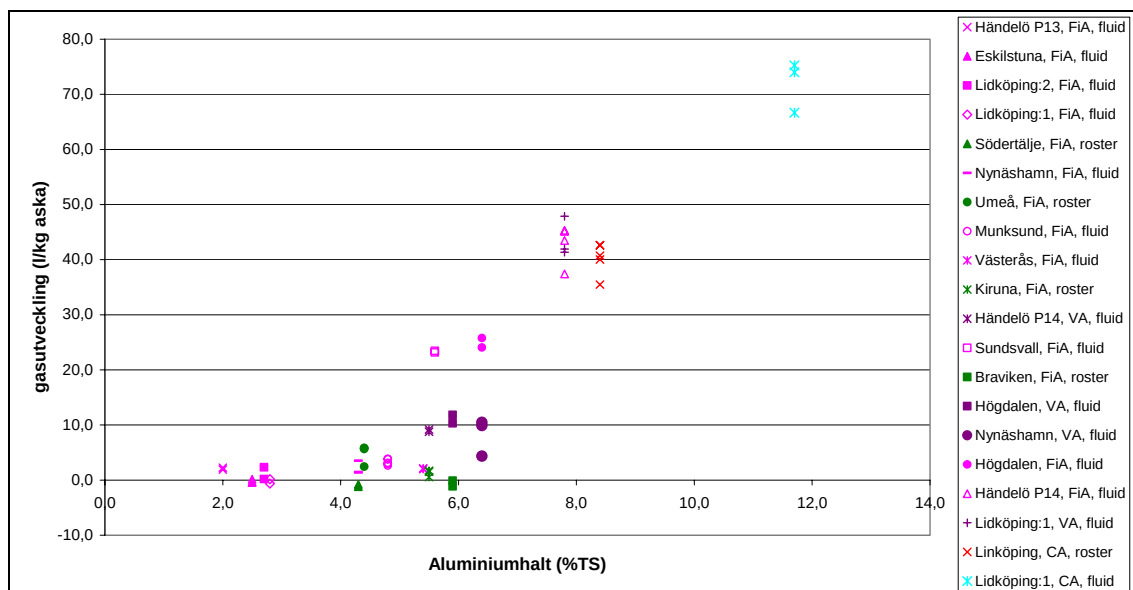
I Figur 22 visas hur gasutvecklingspotentialen för samtliga askor beror av analyserad total aluminiumhalt för respektive prov. I diagrammet kan man urskilja en tendens till samband mellan total aluminiumhalt och gasutveckling. Om enbart flygaskorna studeras blir sambandet tydligare (Figur 23).

I totalhaltsanalysen ingår såväl metalliskt som icke metalliskt aluminium. Det innebär att en del askor, som innehåller lite metalliskt aluminium, kan ha en ganska hög aluminiumhalt men inte särskilt stor gasutveckling. Den totala aluminiumhalten ger alltså inte någon fullständig bild av gasutvecklingspotentialen för askan.



Figur 22. Gasutvecklingspotential som funktion av total aluminiumhalt för samtliga askprover.

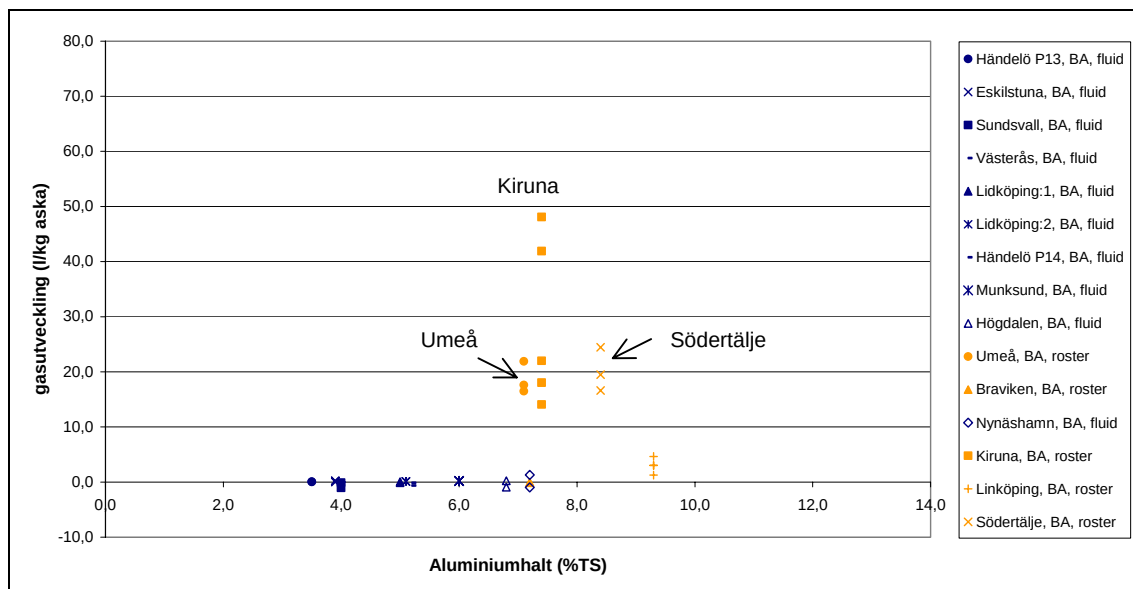
Figure 22. Potential for gas generation as a function of total aluminium content for all ash samples.



Figur 23. Gasutvecklingspotential som funktion av total aluminiumhalt för flygaskor.

Figure 23. Potential for gas generation as a function of total aluminium content for fly ash.

Om enbart bottenaskornas gasutvecklingspotential plottas mot total aluminiumhalt går det däremot inte att urskilja något samband (Figur 24). Det kan förklaras med att bottenaskor generellt sett är betydligt mer inhomogena än flygaskor. En annan förklaring kan vara att malning och preparering av bottenaskorna har gått till på olika sätt vid totalhaltsanalysen och gasbildningsmätningen. För fluidbäddpannor gäller dessutom att en stor del av bottenaskan består av sand som har en aluminiumhalt på omkring 5% [31]. Aluminiumet i sand förekommer i form av olika aluminiumsilikater, dvs. icke metalliskt aluminium. Bottenaskan från en fluidbäddpanna kan därför ha hög total aluminiumhalt och samtidigt låg gasutvecklingspotential, vilket gör det svårt att urskilja något samband mellan total aluminiumhalt och gasutvecklingspotential.



Figur 24. Gasutvecklingspotential som funktion av total aluminiumhalt för bottenaskor.

Figure 24. Potential for gas generation as a function of total aluminium content for bottom ash.

4.2.2 Samband mellan SEM- och XRD-resultat och gasutveckling

SEM-analysen av Lidköping:1 vändschaktaska visade att de flesta aluminiumpartiklarna i provet var ca 200 µm breda. Mizutani et al separerade partiklar i flygaska genom siktnings på 125 µm-sikten och fann att den grövre fraktionen hade åtminstone dubbelt så hög gasbildningspotential som den fina fraktionen i fem av sex fall [4]. Det stämmer med aluminiumpartikelstorleken i Lidköping.

Enligt EDS-punktanalysen verkar Lidköpings partiklar dessutom ha passerat förbränningsanläggningen utan att ytan oxiderats och utan att smälta. Det leder till följande frågor: Har partiklarna samma ursprung, t.ex. spärrskiktet i juiceförpackningar? Bränslet till Lidköping bestod av 70% hushållsavfall och 30% industriavfall. Varför smälter inte partiklarna i pannan? Smältpunkten för aluminium är ju 660°C.

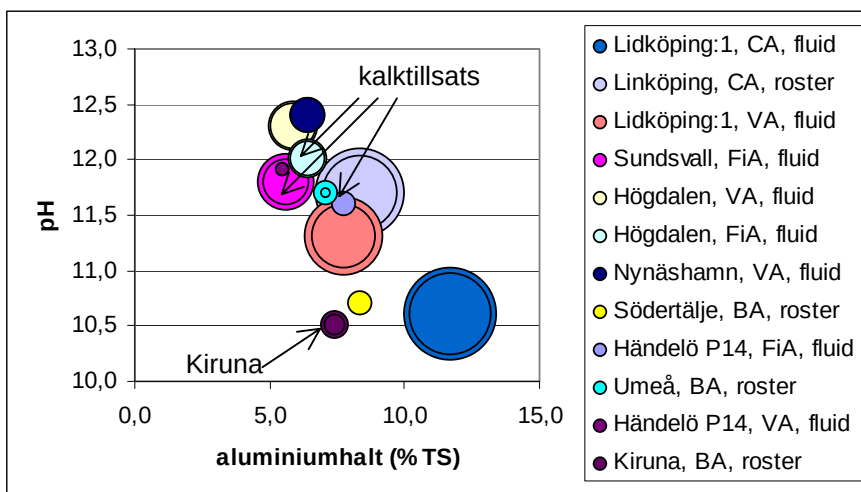
Lidköping:1 vändschaktaska hade den tredje högsta gasbildningen av alla askor vid askans naturliga pH. Enligt ovan kan det förklaras av att den askan innehåller mycket metalliskt aluminium som dessutom inte har oxiderade ytor. (De två askor som har högre gasbildning är Lidköping:1 cyklonaska och Linköping cyklonaska.)

Händelö P14 vändschaktaska hade få rena aluminiumpartiklar enligt SEM-analysen och partiklarna var inte stora, vilket överensstämmer med den medelhöga gasbildningspotentialen.

Munksund filteraska som inte uppvisade något metalliskt aluminium i SEM/EDS- eller XRD-analysen hade en låg, men inte obefintlig, gasbildningspotential. Metalliskt aluminium skulle kunna finnas i halter som är för låga för att synas i SEM/EDS. Alternativt kan någon annan källa, såsom järn eller zink, bidra till gasbildningen (Avsnitt 4.1.4).

4.2.3 Samband mellan pH och gasutveckling

Näst efter halten metalliskt aluminium, antas askans pH ha störst betydelse för gasutvecklingens storlek. För att undersöka om askans naturliga pH kan förklara gasbildningens storlek vid olika total aluminiumhalt, specialstuderades de tolv askor som hade högst gasbildningspotential. De studerades med avseende på total aluminiumhalt, pH i askan och gasbildning vid askans naturliga pH. För att kunna jämföra dessa tre faktorer fick storleken på olikfärgade bubblor representera gasbildningens storlek (Figur 25). Något samband mellan parametrarna framgår dock inte av diagrammet.



Figur 25. Gasbildning vid askans naturliga pH som funktion av total aluminiumhalt och pH. Storleken på bubblorna representerar gasbildningens storlek. Bubblorna för Kiruna, BA, roster står för negativa värden på gasbildning. Kalk tillsätts i rökgasreningen i Händelö P14, Högdalen och Sundsvall och hamnar i filteraskan.

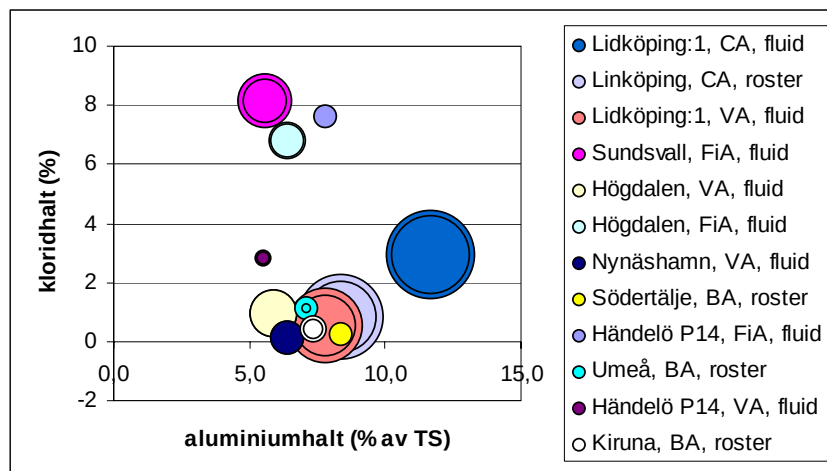
Figure 25. Gas generation as a function of total aluminium content and pH. The size of the bubbles represents the gas generation. For Kiruna, BA, roster the bubbles stand for negative values on gas generation. Lime is added to the flue dust separation in Händelö P14, Högdalen and Sundsvall and ends up in the filter ash.

Bristen på samband beror troligtvis på att den totala aluminiumhalten inte säger så mycket om en askas gasbildande egenskaper. Vid totalhaltsanalysen siktas dessutom metallbitar bort före analys. Ett försök att dela upp och endast visa en sorts aska per diagram gav inte heller något samband. Det kan dock konstateras att Kiruna som hade mycket liten gasbildning vid naturligt pH och relativt lågt pH (Figur 25) hade högst gasbildningspotential av de tre bottenaskorna. Det kan betyda att det låga naturliga pH-värdet har bidragit till liten gasbildning i vatten trots att en hög potential finns för gasbildning.

4.2.4 Samband mellan kloridhalt och gasutveckling

Kloridjoner kan verka på samma sätt som hydroxidjoner, dvs. lösa upp skyddande skikt runt aluminiumpartiklar så att vatten kan komma åt att reagera. Det har dock bara betydelse när pH är så lågt att skikten inte löses upp av hydroxidjoner. För att undersöka hur total aluminiumhalt och kloridhalt påverkar gasbildningen gjordes bubbeldiagram på

samma sätt som för aluminium och pH, men inte heller de uppvisade något samband (Figur 26).



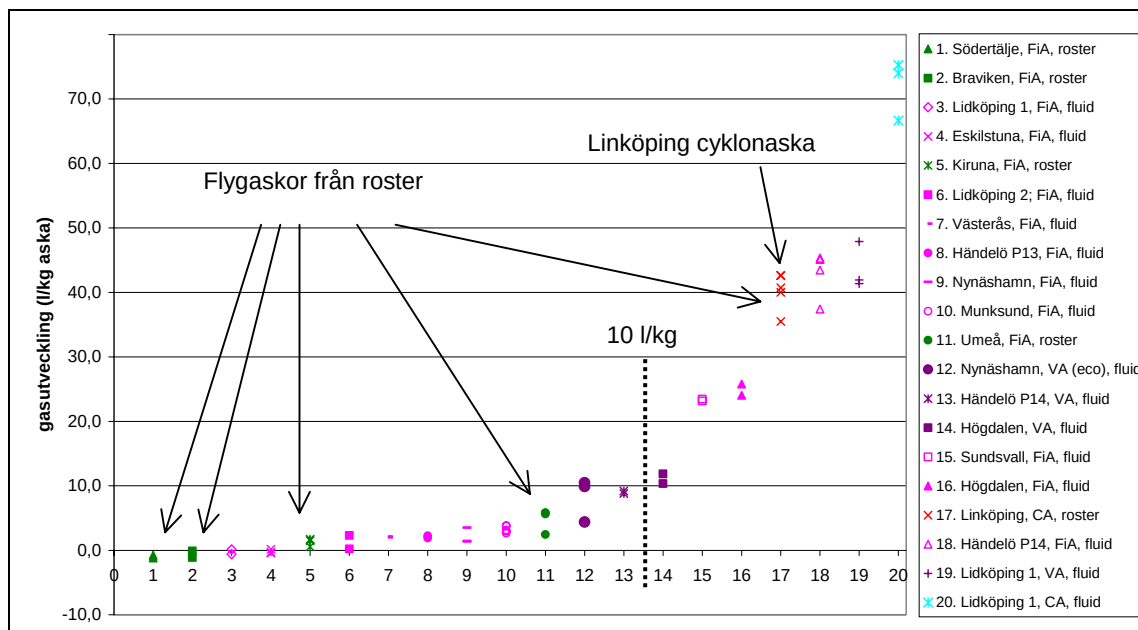
Figur 26. Gasbildning vid askans naturliga pH som funktion av total aluminiumhalt och kloridhalt. Storleken på bubblorna representerar gasbildningens storlek. Bubblorna för Kiruna, BA, roster står för negativa värden på gasbildning.

Figure 26. Gas generation as a function of total aluminium content and chloride content. The size of the bubbles represents gas generation. For Kiruna, BA, roster the bubbles stand for negative values on gas generation.

4.3 Samband mellan asktyp och askans gasbildningspotential samt mellan panntyp och askans gasbildningspotential

När gasbildningspotentialerna för alla flygaskor plottades i storleksordning framgick det att alla prover som avgett mer än 10 liter gas per kg aska kom från fluidpannor, med undantag för Linköpings cyklonaska (Figur 27). Det innebär emellertid inte att flygaskor från fluidpannor alltid har stor gasavgivning eftersom flera fluidpannor finns med bland de askprover som avgett mindre än 10 l gas/kg aska.

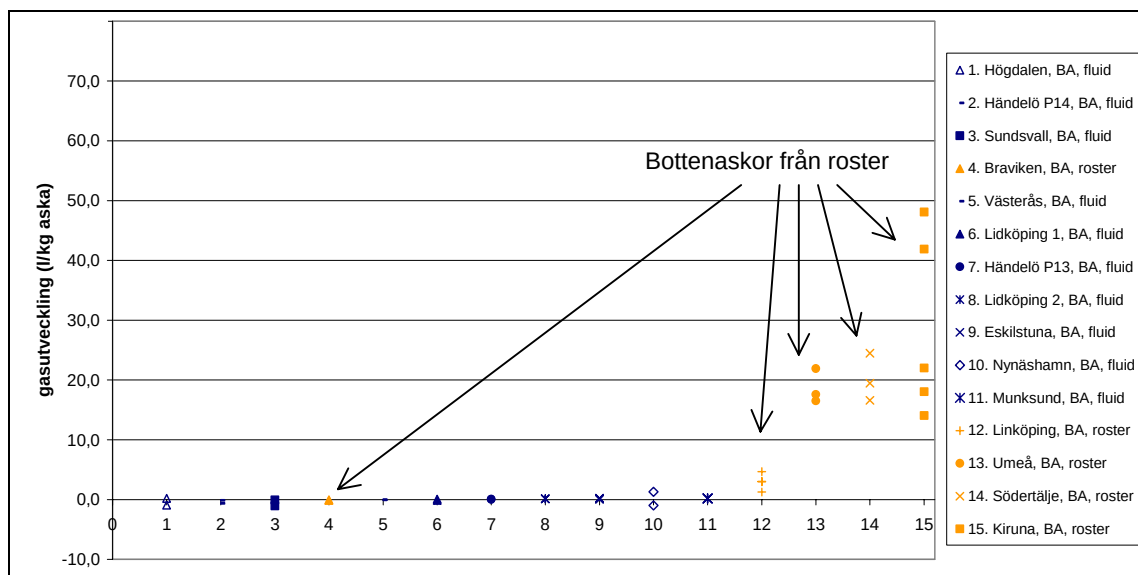
Anledningen till att Linköpings cyklonaskprov fått stor gasutveckling kan bero på att man eldar plastrejekt som har en förhållandevis hög halt av metalliskt aluminium (Avsnitt 4.4).



Figur 27. Panntypens inverkan på gasutvecklingspotentialen för flygaskor. Askproverna är rangordnade efter mängd avgiven gas. Ej utpekade askprov härrör från fluidbäddpannor.

Figure 27. Impact of boiler type on potential of gas generation from fly ash. The ash samples are arranged in order of generated gas. Not highlighted ash samples originate from fluidised bed boilers.

När bottenaskornas gasbildningspotentialer rangordnades på samma sätt, gällde det omvända förhållandet (Figur 28). Bottenaskorna från rosterpannorna hade högre gasbildningspotential än fluidpannornas askor, som alla hade mycket låg gasutvecklingspotential.



Figur 28. Panntypens inverkan på gasutvecklingspotentialen för bottenaskor. Askproverna är rangordnade efter mängd avgiven gas. Ej utpekade askprov härrör från fluidbäddpannor.

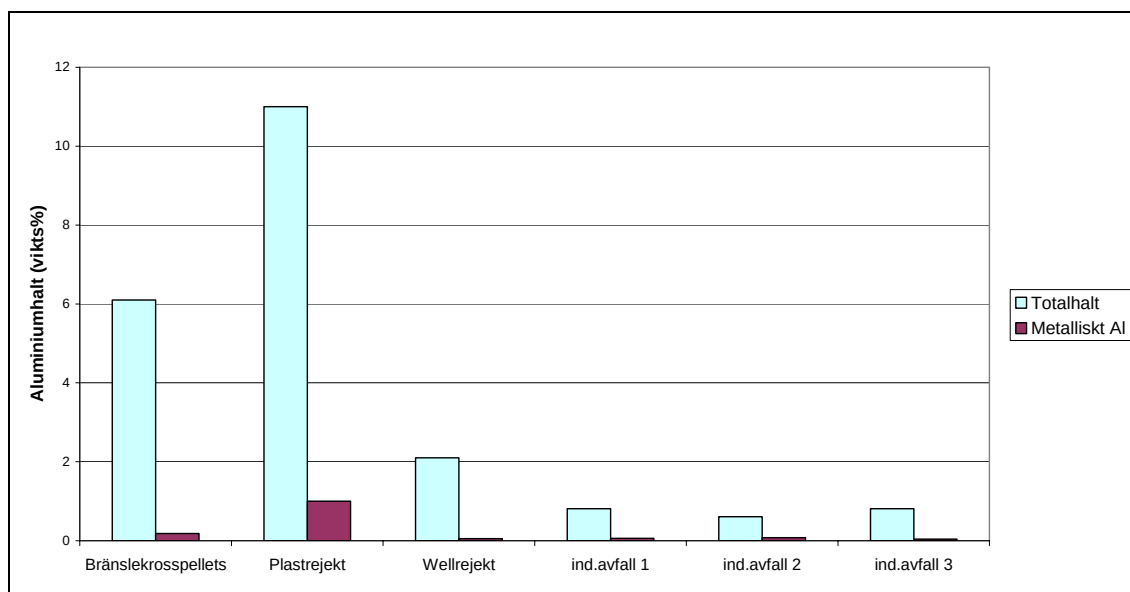
Figure 28. Impact of boiler type on potential of gas generation from bottom ash. The ash samples are arranged in order of generated gas. Not highlighted ash samples originate from fluidised bed boilers.

Det finns även andra faktorer som kan påverka askornas potential att bilda vätgas. För fluidpannorna kan andelen pannsand relativt mängden bränsle ha betydelse. En stor andel pannsand ger en utspädningseffekt av askan och kan därmed påverka gasbildningspotentialen. Även sotningsintervallen och möjligheten att rökaskanalerna sotats vid provtagningstillfällena skulle kunna påverka resultaten. Vid sotningen kan stora sjok av beläggningar lossna från värmeöverföringsytorna vilket tillfälligt kan ge filteraskan en avvikande sammansättning.

4.4 Samband mellan bränslets sammansättning och askans gasutveckling

Bränsleanalyserna visade att plastrejekt som består av avskiljd vätskebarriär från vätskekartonger hade högst total aluminiumhalt och högst halt metalliskt aluminium, 1%, (Figur 29). Det beror sannolikt på att ett tunt lager aluminium ofta används i plastfilmen på kartongen. För samtliga analyserade bränslen utgjorde det metalliska aluminiumet mellan 2 och 13% av den totala aluminiumhalten.

Bränslekrosspellets och industriavfall ska vara likartade bränslen, men resultaten från bränsleanalyserna skiljer sig markant från varandra (Figur 29). Den troliga förklaringen är att bränslekrosspellets är ett finare krossat och mer homogent material än industriavfallet som är mycket inhomogent. Det betyder att provtagningen av industriavfall blir helt avgörande för analysresultatet, dock överensstämmer de tre replikaten i Figur 29 bra med varandra.

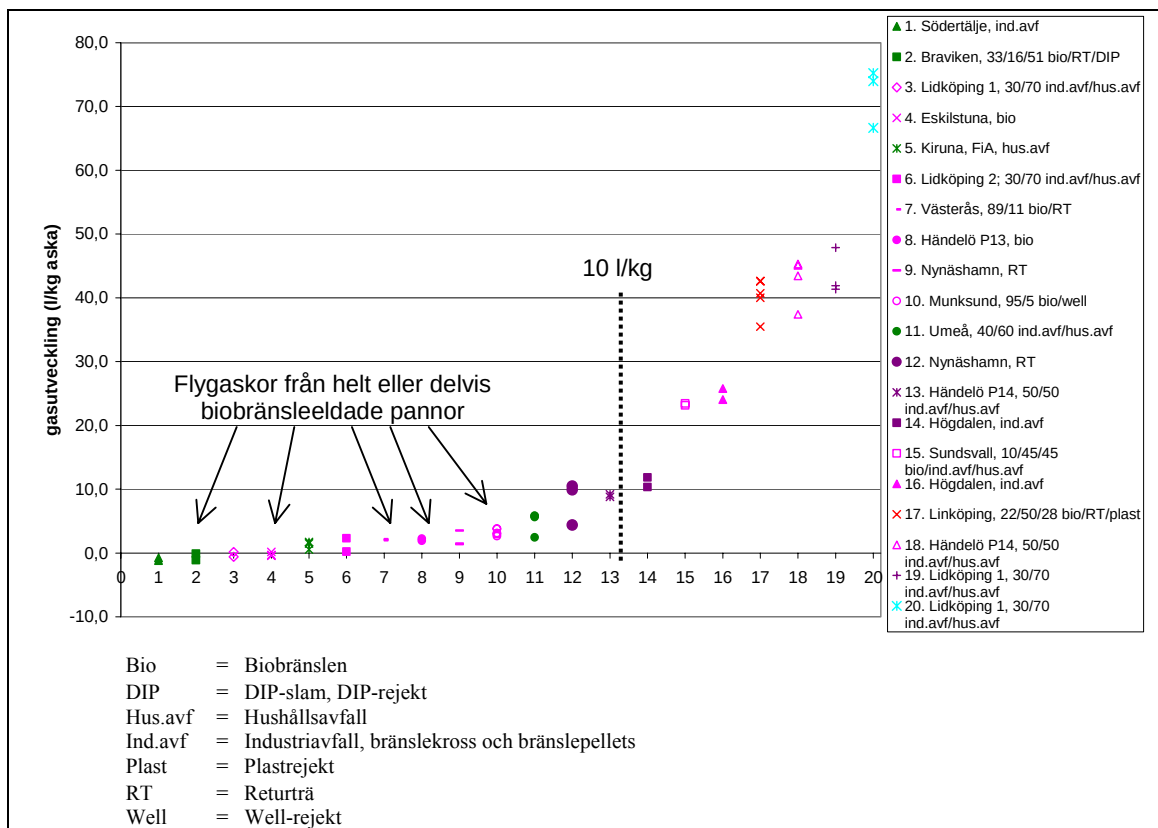


Figur 29. Totalhalt och halt metalliskt aluminium i olika bränslen.

Figure 29. Total content and content of elementary aluminium in different fuels.

När bränslet ställs i relation till gasutvecklingspotentialen visar det sig att de flygaskor vars gasutvecklingspotential överstigit 10 l/kg härrör samtliga från avfallsbränslen (Figur 30). Avfallsbränsleeldade anläggningar återfinns emellertid också bland de ask-

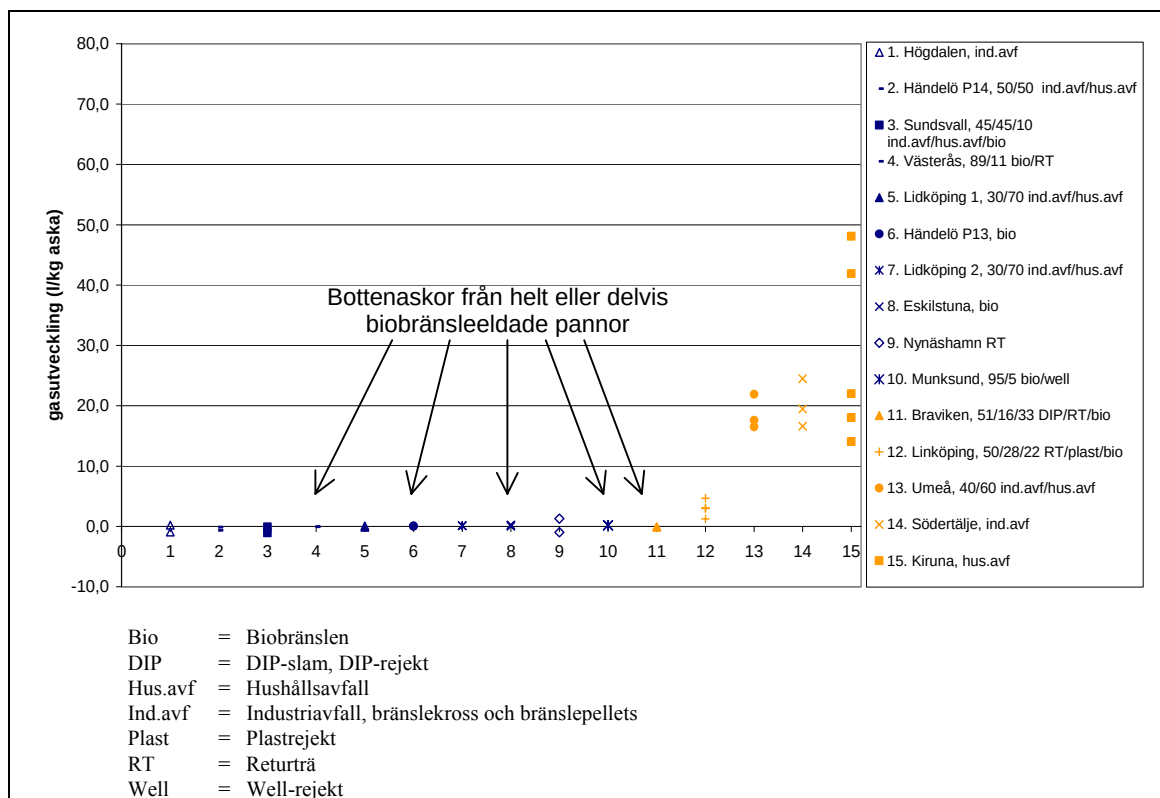
prover som gett låg gasutvecklingspotential. Däremot genererade samtliga bioeldade pannor flygaskor med låg gasutvecklingspotential.



Figur 30. Bränslets inverkan på gasutvecklingspotentialen för flygaskor. Askproverna är rangordnade efter mängd avgiven gas. Ej utpekade askprov härrör från avfallseldade pannor (minst 67% avfall).

Figure 30. Impact of fuel on potential of gas generation from fly ash. The ash samples are arranged in order of generated gas. Not highlighted ash samples originate from waste incinerated boilers (at least 67% waste).

En likadan redovisning för bottenaskorna visar att samtliga bottenaskprover som avgett mer än 10 liter gas per kg aska kommer från avfallseldade pannor (Figur 31). Det är svårt att avgöra om den höga gasutvecklingspotentialen hos rosterpannornas bottenaskor beror på bränslet eller panntypen, eftersom samtliga rosterpannor som deltagit i projektet eldar delvis eller helt och hållet avfall. För fluidbäddpannorna är gasutvecklingspotentialen från bottenaskan liten oavsett om det är biobränsle eller avfall som eldas.

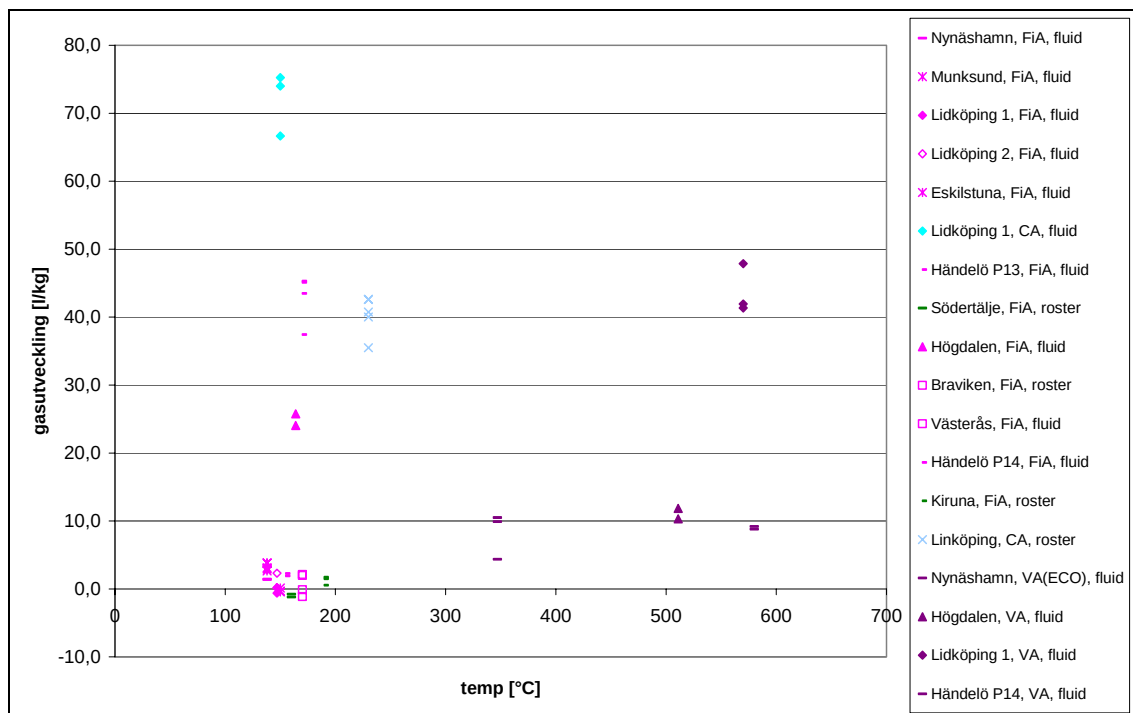


Figur 31. Bränslets inverkan på gasutvecklingspotentialen för bottenaskor. Askproverna är rangordnade efter mängd avgiven gas. Ej utpekade askprov härrör från avfallseldade pannor (minst 67% avfall).

Figure 31. Impact of fuel on potential of gas generation from bottom ash. The ash samples are arranged in order of generated gas. Not highlighted ash samples originate from waste incinerated boilers (at least 67% waste).

4.5 Samband mellan rökgastemperatur och flygaskans gasutveckling

Eftersom alla gasformiga ämnen har olika temperaturer där de kondenserar ut, fanns det anledning att undersöka om gasutvecklingspotentialen var större för flygaskprover uttagna vid något särskilt temperaturintervall. Därför plottades gasutvecklingspotentialen som funktion av rökgastemperaturen i närheten av askprovernas uttag, men något samband kunde inte urskiljas (Figur 32).



Figur 32. Gasutvecklingspotential för vändschakts-, cyklon- och filteraskor som funktion av rökgastemperaturen vid uttaget askprov.

Figure 32. Potential of gas generation from idle pass, cyclone and filter ash as a function of flue gas temperature.

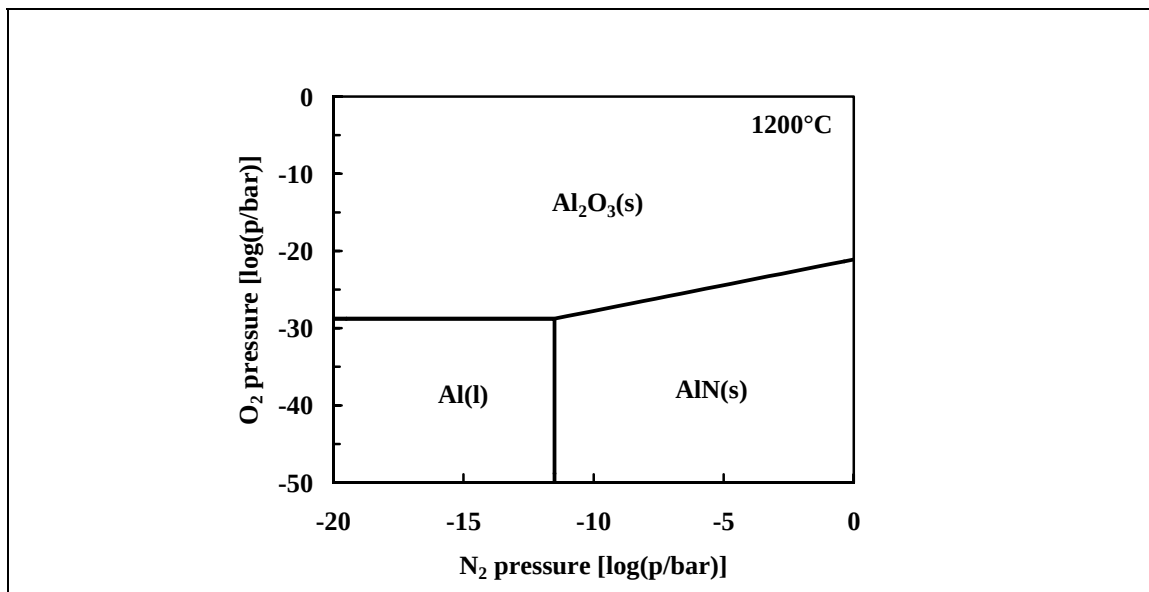
Det vore också intressant att undersöka om temperaturen i eldstaden, där merparten av förbränningen sker, påverkar oxidationen av aluminium och därmed också påverkar gasutvecklingspotentialen i den bildade flygaskan. En sådan analys är dock svår att genomföra på grund av flera faktorer; mätpunkterna i eldstäderna varierar mellan olika pannor och temperaturen svänger kraftigt över tiden. Temperaturgivarna i eldstäder är ofta igensatta och mätfel är därför inte ovanliga. I stora drag har de anläggningar med rosterpannor som deltagit i projektet angett att eldstadstemperaturen under askprovtagningen varit mellan 900 och 1100°C, medan anläggningarna med fluidpannor angett ca 800–900°C.

4.6 Möjliga reaktionsvägar för aluminium samt termodynamiska beräkningar

4.6.1 Nitridbildning

I en miljö med mycket låg syrehalt finns det en möjlighet att aluminiumnitrid skulle kunna bildas. Aluminiumnitrid framställs genom direktreaktion mellan små aluminiumpartiklar (nanometerstorlek) och kvävgas eller genom reduktion av likaså små Al_2O_3 -partiklar med elementärt kol i kvävgas. I båda fallen krävs ytterst låga O_2 -deltryck. Figur 33 visar ett stabilitetsdiagram vid 1200°C för Al_2O_3 –AlN-systemet. Man ser att det smälta aluminiumet är instabilt i förhållande till både O_2 och N_2 om partialtrycken överskrider 10^{-29} respektive 10^{-12} bar. I förbränningsanläggningar är kvävehalten relativt

hög, medan syrehalten varierar kraftigt i olika zoner vilket gör att det finns en liten möjlighet att aluminiumnitrid kan bildas.

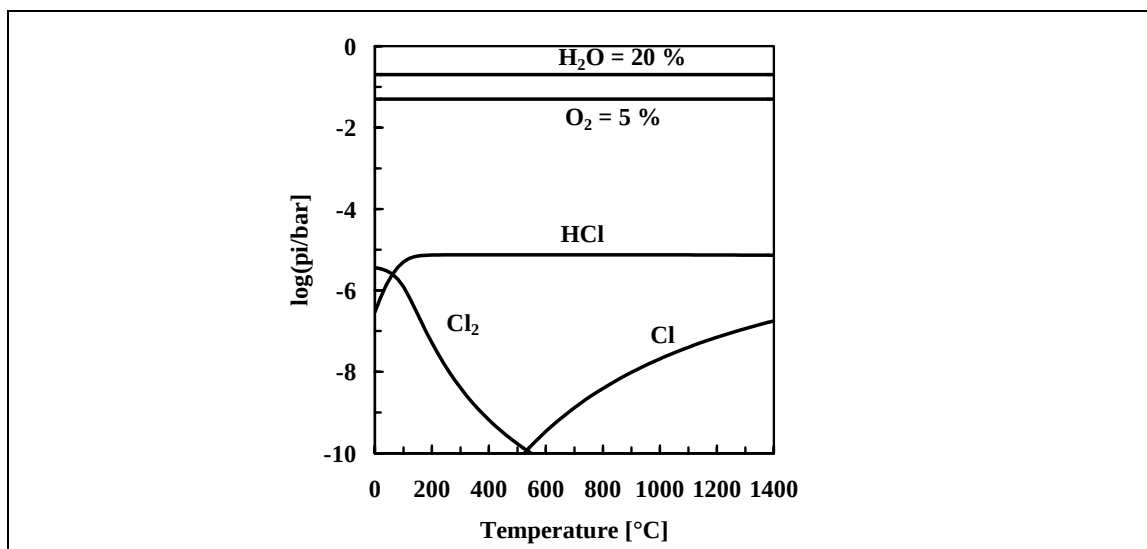


Figur 33. Stabilitetsdiagram Al–Al₂O₃–AlN vid 1200°C.

Figure 33. Phase diagram Al–Al₂O₃–AlN at 1200°C.

4.6.2 Klorets reaktioner samt inverkan av fukthalt

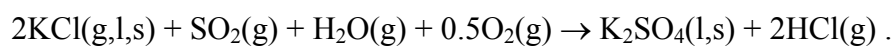
Eftersom olika typer av gasformiga aluminiumklorider är de som kan finnas i högst koncentration, enligt jämviktsberäkningarna, diskuteras klorets reaktioner här lite närmare. Vid förbränning av klorhaltiga bränslen med låg alkalihalt finns huvudparten av kloreten i form av gasformig väteklorid, HCl. Figur 34 visar beräknade halter av klor-species som funktion av temperaturen vid typiska förbränningsförhållanden med 20% H₂O och 5% O₂ i rökgaserna. Man ser tydligt att HCl dominerar inom hela temperaturområdet utom vid mycket låga temperaturer.



Figur 34. Partialtryck för gasformiga klorföreningar vid förbränning.

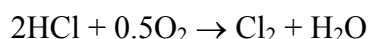
Figure 34. Partial pressure for gaseous chlorine compounds at combustion.

Om halterna alkali (K eller Na) är höga kommer kloreten att vara bundet som gasformig KCl eller NaCl. Däremot, om halten svavel också är hög, kommer en del av alkali-kloriden att omvandlas till HCl genom reaktionen

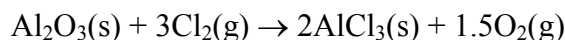


Man vet att denna reaktion är aktiv vid biobränsleförbränning, dvs. att för vissa bränslen ger en ökning av SO_2 -halten en ökad HCl-halt [32].

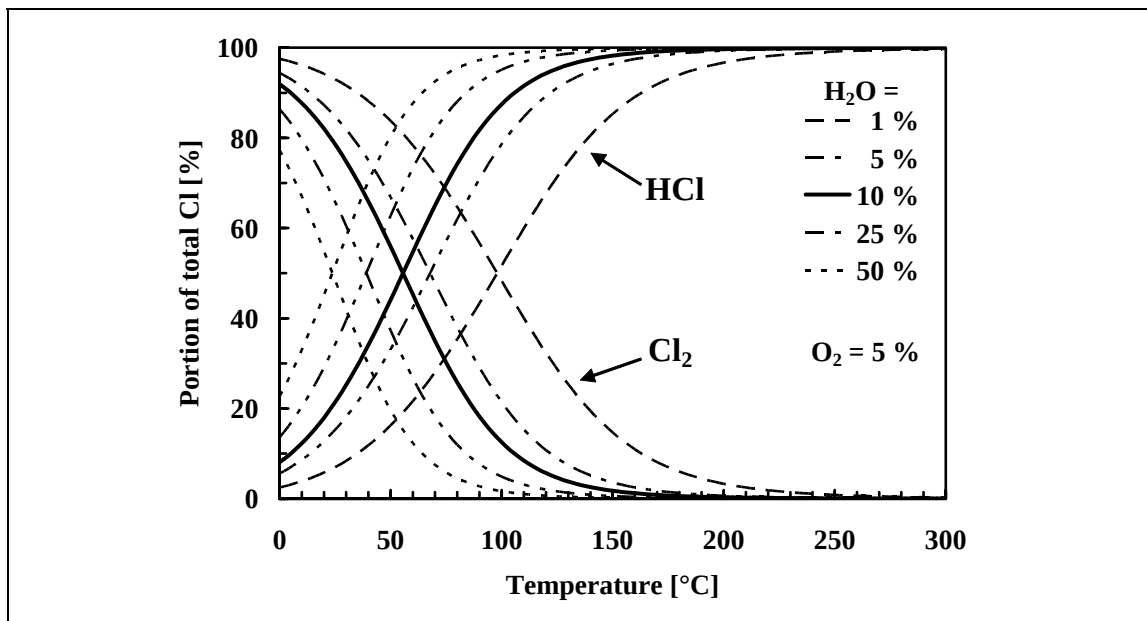
Variationerna av vatten- och syrehalt inom normala gränser (1–50% H_2O och 0–20% O_2) kommer inte att påverka bildningen av HCl vid temperaturer över 200°C eftersom dessa alltid är mycket högre än klorkoncentrationen. Vid låga temperaturer kommer Cl_2 att börja dominera över HCl enligt den s.k. Deacon-reaktionen,



som är relativt snabb också vid temperaturer under 400°C. Denna reaktion är beroende av O_2 - resp. H_2O -partialtrycket, som framgår av Figur 35 och 36 där fördelningen av klor mellan HCl och Cl_2 har beräknats som funktion av temperaturen med olika värden på O_2 och H_2O . Cl_2 kan alltså frigöras vid lägre temperaturer. För aluminiums del gäller att aluminiumoxid fortfarande är stabil i detta temperaturområde. Någon aluminiumkloridbildning är därför inte att vänta, dvs. reaktionen av typen

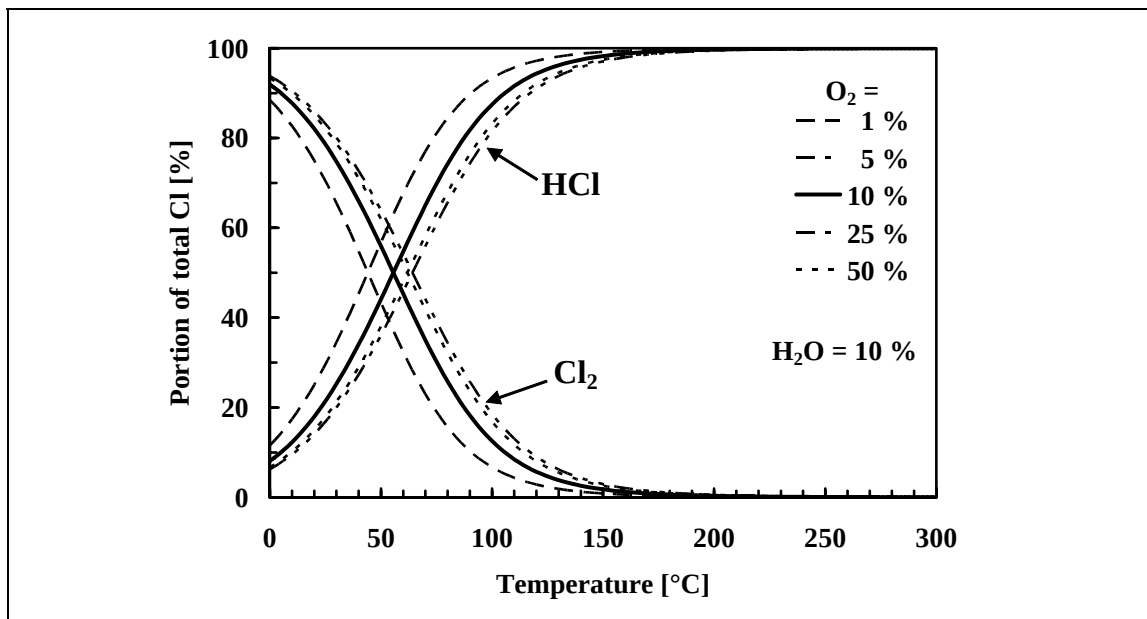


är fortfarande förskjutet långt åt vänster vid dessa temperaturer. Under dessa förhållanden påverkar alltså inte fukthalten bildningen av aluminiumklorid från aluminiumoxid.



Figur 35. Fördelning av klor i förbränningsgas vid konstant O_2 och varierade fukthalter.

Figure 35. Distribution of chlorine in flue gas at constant oxygen content and varied humidity.



Figur 36. Fördelning av klor i förbränningsgas vid konstant fukthalt och varierade O_2 -halter.

Figure 36. Distribution of chlorine in flue gas at constant humidity and varied oxygen contents.

4.6.3 Termodynamiska beräkningar

Vid förbränning av bränsle som innehåller metalliskt aluminium kommer de smälta aluminiumpartiklarna att vara mycket reaktiva. Den momentana och lokala tillgången på syre, klor och kväve kommer att bestämma vilka föreningar som bildas. Den termodynamiskt stabila formen för aluminium i förbrännings- och förgasningsförhållanden är fast aluminiumoxid, Al_2O_3 . Detta gäller under förbränningsförhållanden med överskott

av luft liksom under pyrolys där koks (elementärt kol) är närvarande samt under förgasningsförhållanden med luftfaktor 0,4–0,8. Jämviktsberäkningar visar att koncentrationerna av gasformiga aluminiumföreningar alltid är mycket låga, även i närvaro av klor och svavel. De gasformiga föreningar som har de högsta koncentrationerna är $\text{Al}(\text{OH})_3$, AlCl_2OH , $\text{AlCl}(\text{OH})_2$ och AlCl_3 . Koncentrationerna är så låga att de knappast har någon praktiskt betydelse för transport av aluminium till askhanteringen. Inverkan av andra askkomponenter är inte avgörande för aluminiumets reaktioner.

4.7 Hur kan metalliskt aluminium överleva förbränningen?

En möjlig förklaring till att metalliskt aluminium trots allt återfinns i askorna kan vara att metalliskt aluminium mycket snabbt får ett skikt med fast aluminiumoxid på ytan av smält metalliskt aluminium (smältpunkt 660°C). Skiktet skyddar aluminiumet från vidare oxidation. Storleken av de bildade aluminiumdropparna är beroende av ursprungsmaterialets partikelstorlek, specifika yta, ytspänningsfenomen samt pannförhållanden. De oxidbelagda partiklarna kan transporteras vidare med askan och förorsaka gasbildningsreaktioner om oxidskiktet förstörs av t.ex. mekanisk åverkan.

En annan teori bakom kvarvarande metalliskt aluminium i askan kan vara att i jämviktsberäkningarna har inte mekaniska blandningsförlopp beaktats. Om en smält aluminiumpartikel hamnar i ett område där det inte finns syre närvarande kan det naturligtvis inte bildas aluminiumoxid. Då skulle både aluminiumklorid och aluminiumnitrid kunna bildas. Sådana totalt syrefria områden måste identifieras experimentellt eller med hjälp av strömningsberäkningar. Hur långt in i rökgasdraget sådana ”metastabila” föreningar överlever beror i sin tur på vilka gas- och temperaturzoner de går igenom. När temperaturen sjunker under 700°C blir de flesta kemiska reaktioner långsamma även i en ”reaktiv” miljö. Det betyder att det finns en möjlighet att gasformiga aluminiumföreningar kan bildas.

Kinetiken kan också vara en bidragande orsak till att aluminium inte oxideras, dvs. att oxideringen av aluminium inte sker tillräckligt snabbt. Närvaro av koks vid aluminiumpartikeln kan påverka oxidationen. Koks kan då konsumera allt syre genom förgasnings- och förbränningsreaktioner eftersom oxidation av kol är en snabbare reaktion än oxidation av aluminium. Detta skulle i sin tur kunna resultera i att det metalliska aluminiumet inte oxideras eftersom tillgång på oxidationsmedel saknas.

SEM-analyserna visade att det metalliska aluminiumet som återfanns i cyklonaskan från Lidköping och vändschaktsaskan från Händelö P14 inte hade oxiderats nämnvärt. Det såg inte heller ut som om aluminiumpartiklarna hade varit smälta. Detta innebär att aluminiumet troligtvis har passerat pannan mycket snabbt så att det inte har hunnit oxidera eller smälta nämnvärt.

Resultat från Värmeforskprojektet ”Förbränning av utsorterade avfallsfraktioner” [32] talar också emot att aluminium skulle ha förekommit i gasfas. I det projektet undersöktes bl.a. submikrona partiklar i flygaska från förbränning av utsorterat avfall. Det är känt att submikrona partiklar ($< 1\mu\text{m}$) en gång har varit i gasfas. Man kunde vid dessa mät-

ningar se att aluminium främst förekommer i de större partiklarna ($> 1\mu\text{m}$), vilket tyder på att aluminium inte har förekommit i gasfas.

Filter-, cyklon- och vändschaktsaskor från fluidpannor hade betydligt högre gasbildningspotential än motsvarande askor från rosterpannor (med undantag av Linköping). En trolig orsak till detta är dels att bränslet till fluidbäddar är mer finfördelat och har större lyftkraft (förhållande yta/vikt), dels att gashastigheten är större i en fluidpanna. Dessa parametrar kan göra att bränslet lättare rycks med rökgasflödet och att exempelvis tunn aluminiumfolie kan passera förbränningsrummet snabbt utan att hinna oxideras så mycket. I rosterpannorna kan bränslet inte ryckas med lika lätt och aluminium smälter då ihop till klumpar som följer med bottenlaggen ut. Att Linköpings rosterpanna har en hög gasbildningspotential i cyklonaskan kan förklaras med att bränsleblandningen till stor del består av plastrejekt som har både stor lyftkraft och hög halt metalliskt aluminium.

5 Slutsatser

Hypotesen för studien var att askor innehåller en viss mängd metalliskt aluminium som har potential för vätgasbildande reaktioner. Vidare antogs att gasbildningens storlek beror av bränsle, panntyp, asktyp, samt askans aluminiumhalt, kloridhalt och pH. Resultaten från studien visar att

- gasbildningspotentialen avspeglar inte alltid den verkliga gasbildningen vid askans naturliga pH,
- den verkliga gasbildningen kan underskattas eftersom gas kan försvinna i kemiska reaktioner vid laboratorieförsök,
- för anläggningarna med fluidbäddar var gasbildningspotentialen i bottenaskan mycket liten medan flygaskorna hade en betydligt större gasbildningspotential,
- för rosterpannorna var gasbildningspotentialen störst i bottenaskorna, med undantag för Linköping,
- samtliga biobränsleeldade pannor gav aska med liten gasbildningspotential,
- samtliga flygaskor med gasbildningspotential över 10 l/kg kom från avfallseldade pannor,
- gasbildningen från en filteraska som lagrats vid god syretillgång var betydligt mindre än gasbildningen från samma filteraska i färskt tillstånd,
- förutom vätgas kunde endast mycket små mängder av aceton, furan och bensen samt sannolikt metan detekteras i några av de undersökta askorna,
- av de undersökta metallerna (järn, koppar, bly och aluminium) var det huvudsakligen aluminium som gav upphov till gas,
- en aska kan ha hög total aluminiumhalt men liten gasutveckling, eftersom totalhaltsanalyser omfattar både metalliskt och ickemetalliskt aluminium och det är endast det metalliska aluminiumet som ger upphov till gas,
- aluminiumpartiklar kan passera genom förbränningen utan att smälta och utan kraftig oxidering av ytskiktet,
- fast aluminiumoxid (Al_2O_3) är den stabila formen av aluminium för de förhållanden som kan råda i en panna.

6 Rekommendationer

Med ledning av projektresultaten kan följande rekommendationer ges för askhantering, för att minska gasbildningen och förhindra explosion:

Total aluminiumhalt i askan ger inte en fullständig bild av gasbildningspotentialen. Därför bör en regelbunden analys av halten metalliskt aluminium eller mätning av gasbildningspotentialen eftersträvas för avfallsaskor. Eftersom inte alla mekanismer bakom gasbildningsprocessen är kartlagda är det svårt att ange gränsvärden för ”acceptabel” gasbildningspotential. Resultaten i denna rapport kan tjäna som jämförelsevärden.

En låg halt av metalliskt aluminium i askor är gynnsamt för begränsning av gasbildningspotentialen. Därför är metallavskiljning av bränslet till avfallseldade pannor – inklusive separering av omagnetiska metaller – nödvändigt.

Lagring av askan i en miljö med god syretillgång är gynnsamt för begränsning av gasbildningen.

För att minska explosionsrisken bör god ventilation runt askan eftersträvas efter att den befuktats, t.ex. vid utmatning av rosterbottenaska från vattenbad, vid utmatning av befuktad flygaska till transportfordon, vid transport till deponi och inte minst på deponi efter sluttäckning.

En tänkbar behandling före deponering är att låta gasbildningen äga rum under kontrollerade former med god ventilering.

7 Förslag till fortsatt forskningsarbete

I samband med projektrapporteringen har nedanstående fortsatta forskningsbehov identifierats:

Ytterligare förbättring av mätmetoden för gasbildning, t.ex. fortsatta undersökningar i argon-atmosfär. Detta ger ett säkrare underlag för att från gasbildningspotentialen kunna förutsäga gasbildningen vid verkliga förhållanden.

Ytterligare studier om mekanismerna bakom gasbildning: Kan det vara så att den katalysator som krävs för gaskonsumerande reaktioner finns i vissa askor men inte i andra? Hur stor betydelse har temperaturen? Har vissa prover, beroende av provmängd, variation i lufttemperatur eller annan okänd faktor, uppnått ett tillstånd då syre reagerar, och andra inte? Varför blir lagringseffekten olika för olika askor? Detta har betydelse för deponeringsrekommendationer.

Studier av metalliskt aluminium i flygaskor bl.a. med hjälp av SEM för att ta reda på varför fluidbäddpannor och rosterpannor har olika fördelning av metalliskt aluminium i filteraska och bottenaska. Detta ger underlag för eventuella processförbättringar.

Studier av förändringen i gasbildningspotential/gasbildning vid askans naturliga pH, efter befuktning.

Studier av aska med hjälp av SEM/EDS efter att ha utsatt askan för lagring, befuktning, högt pH och hög kloridhalt.

8 Litteraturreferenser

- [1] "Naturgashandboken", Sydgas AB, 1981
- [2] Magel G; "Mineralogische und chemische Untersuchungen zur abiotischen Wasserstoffentwicklung in Müllverbrennungsrückständen", PhD Thesis, Ludwig-Maximilians Universität, 2003
- [3] Musselman C, Straub W, Bidwell J, Carpenter J and Presher J; "Gas generation at a municipal waste combustor ash monofill-Franklin, New Hampshire", In Sustainable construction: Use of incinerator ash, R.K. Dhir, T.D. Dyer och K.A. Paine, editors, Thomas Telford, Dundee 2000
- [4] Mizutani S, Sakai S and Takatsuki H; "Investigations of hydrogen generation from municipal solid waste incineration fly ash". Journal of Material Cycles and Waste Management 2, 16–23, 2000
- [5] Alkemade AMC, Eymael MMT, Mulder E, and de Wijs W; "How to prevent expansion of MSWI bottom ash in road construction?" In Environmental aspects of construction with waste materials (WASCON 1994)
- [6] Husain A and Krasznai J; "Compaction of radioactive incinerator ash: Gas generation effects", Waste management 14, 521–530, 1994
- [7] Oberste-Padtberg R och Schweden K; "Zur Freisetzung von Wasserstoff aus Mörteln mit MVA-Reststoffen", Wasser, Luft und Boden 6, 61–62, 1990
- [8] Péra J, Coutaz L, Ambroise J and Chabannet M; "Problems encountered with the use of municipal solid waste incinerator bottom ash in concrete", In proceedings of the twenty-second international conference on cement microscopy, Montreal 2000
- [9] Sydkraft Östvärme AB; "Pressmeddelande 2004-01-19", Norrköping 2004
- [10] Rittfeldt L och Hägglund L; "Mätning av brännbara gaser vid Dåva Kraftvärmeverk, Umeå Energi AB", FOI, feb 2003
- [11] Landtblom M och Zintl F; "Utredning av orsaker till explosion i askcontainer", TPS, nov 2001
- [12] Suèr P, Håkansson K och Rogbeck J; "Gasbildning i aska – litteraturstudie", Statens geotekniska institut, Linköping 2004
- [13] Håkansson P, Suèr P och Lindeberg J; "Gasutveckling hos askor från Högdalen, Uppsala och Söderenergi, Slutrapport", Statens geotekniska institut, Linköping 2004 (ingår som Bilaga E i denna rapport)
- [14] Maahn E; "Explosion and loss in the Port of Aalborg on 2 December, 2002", Sierksdorf jan 2003
- [15] Aylward G and Findlay T; "SI Chemical data", Jacaranda Wiley LTD, Milton 1994
- [16] ASTM D3683. "Standard Test Method for Trace Elements in Coal and Coke Ash by Atomic Absorption"

-
- [17] ASTM D3682. Standard Test Method for Major and Minor Elements in Combustion Residues from Coal Utilization Processes
 - [18] SGI-metod ”Bestämning av pH i aska”, Statens geotekniska institut, Linköping
 - [19] SS-ISO 10390 ”Markundersökningar – Bestämning av pH”.
 - [20] SP metod 0510 ”Huvudelement: –Al, Si, Fe, Mn, Ti, Ca, Mg, Ba, Na, K, P”, Statens provnings och forskningsinstitut, Borås
 - [21] SP metod 2573 ”Methods for the determination of metallic aluminium”, Statens provnings- och forskningsinstitut, Borås
 - [22] ”FACT – Facility for the Analysis of Chemical Thermodynamics, Version 5.3”, CRCT, École Polytechnique de Montréal, Montréal Canada 2005
 - [23] ”HSC Chemistry, Version 5.11”, Outokumpu Research Oy, Björneborg Finland 2004
 - [24] ”SGTE – Scientific Group Thermodata Europe”, Pure Substance Database 2004
 - [25] Gurvich LV, Yungman VS, Bergman GA, Veitz IV, Gusarov AV, Iorish VS, Leonidov VYa and Medvedev VA; ”Ivtanthermo for Windows Version 3.0, Thermodynamic properties of individual substances”, Moscow, 1992–2000.
 - [26] Suèr P; ”Gasbildning i aska. Mätningar på aska från Lidköping”, Statens geotekniska institut, Linköping 2004
 - [27] Andersson Roger, AGA, personlig kommunikation, 2005
 - [28] Svensson Roland, Air Liquid, personlig kommunikation, 2005
 - [29] Makdessi Romel, E.ON Värme Sverige AB, Händelöverket, personlig kommunikation, 2005
 - [30] Bjurström H och Suèr P; Vad är oförbränt?” pågående projekt Q4-260, Värmeforsks askprogram, 2005
 - [31] De Geyter S, Eriksson M, Öhman M, Nordin A, Boström D och Berg M; ”Skillnader i bäddagglomereringstendenser mellan alternativa bäddmaterial och olika mineraler i natursand”, Värmeforsk Service AB, Vol. 920, 2005
 - [32] Berg M, Andersson C, Ekvall A, Eskilsson D, de Geyter S, Helgesson A, Myringer Å, Wikman K och Öhman M; ”Förbränning av utsorterade avfallsfraktioner”, Värmeforsk Service AB, Vol. 917, 2005

BILAGOR

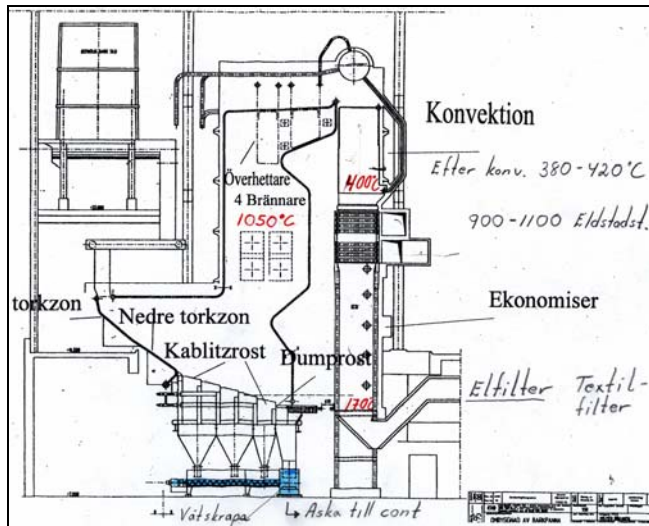
A BESKRIVNING AV ANLÄGGNINGARNA

A.1	BRAVIKEN P1	4
A.2	ESKILSTUNA	5
A.3	HÄNDELÖ P13	6
A.4	HÄNDELÖ P14	7
A.5	HÖGDALEN P6	8
A.6	KIRUNA P3	9
A.7	LIDKÖPING P5	10
A.8	LINKÖPING P3	12
A.9	MUNKSUND	13
A.10	NYNÄSHAMN	14
A.11	SUNDSVALL F1	15
A.12	SÖDERTÄLJE P1	16
A.13	UMEÅ P8	18
A.14	VÄSTERÅS P5	19

A.1 Braviken P1

A.1.1 Allmän beskrivning

Panna
65 MW, Rörl. kabltzroster, Svenska Maskinverken, 1977 Ombyggd 1995 av Kvaerner
Bränslen
DIP-slam 48% Bark 32% RT-flis 16% DIP reject 3% Eget fallande brännbart
Tillsatser
Ammoniak 25 kg/h ammoniaklösning I textilfilter: Aktivt kol 70 kg/dygn Hydratkalk 1400 kg/dygn
Torr rökgasrening
Elfilter Textilfilter med tillsatser
Askor
Bottenaska: 71 ton/dygn (60% TS) Flygaska: Elfilter 35 ton/dygn (70% TS) Textilfilter 1,4 ton/dygn (100% TS)



Figur A1. Rosterpanna, Braviken

Figure A1. Grate fired boiler, Braviken

A.1.2 Beskrivning av bränslehantering

Det finns magnetiska avskiljare till bränslet innan dagfickan för barken, RT-fliset, rejektet samt det eget fallande brännbara bränslet.

A.1.3 Beskrivning av askhantering

Bottenaskan från rostern faller ned i släckvatten och förs sedan vidare till container.

Den torra rökgasreningen efter pannan består både av ett elfilter och ett slangfilter. Rökgasen håller en temperatur om 170°C i elfiltret. Temperaturen på flygaskan vid elfiltrets utmatning är ca 40°C.

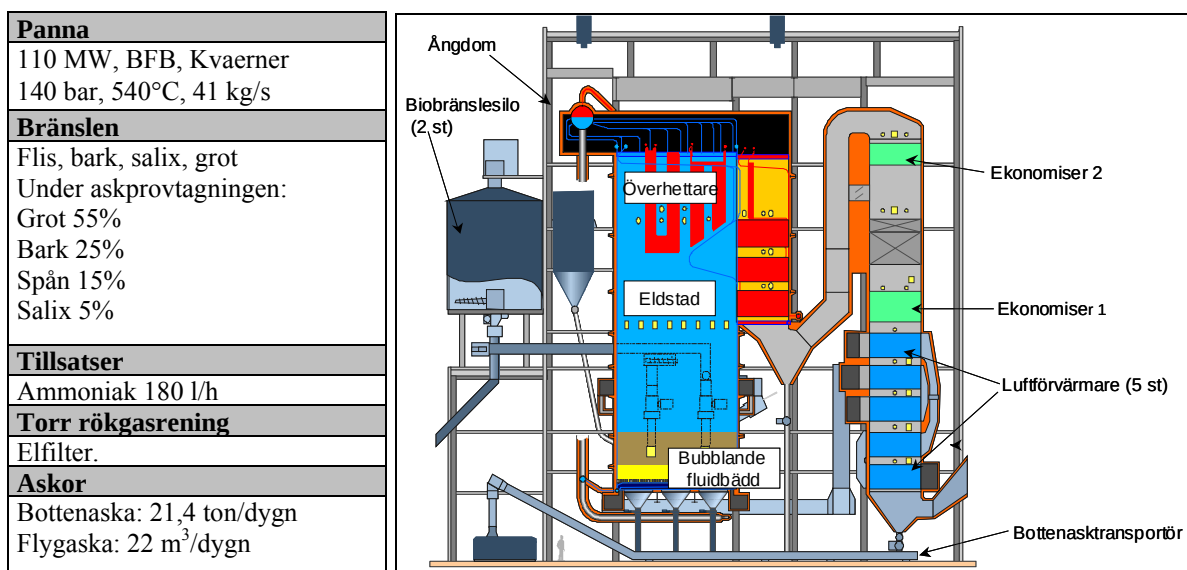
Även i slangfiltren är temperaturen på rökgasen ca 170°C. Aktivt kol tillsätts samt hydratkalk. Avskild flygaska, kol och kalk matas ut ur botten på filtren och transporteras via bandtransportörer till en uppsamlingscontainer.

Flygaskorna transporteras torrt till asksilos. I samband med utmatningen från silos till container befuktas askan. Det görs ingen metallavskiljning från askan.

Askkan går nu till deponi, men försök att fylla igen gruvgångar med flygaskan skall inledas.

A.2 Eskilstuna

A.2.1 Allmän beskrivning



Figur A2. BFB, Eskilstuna

Figure A2. BFB, Eskilstuna

A.2.2 Beskrivning av bränslehantering

Biobränslet innehåller en hel del metallföremål när det anländer till Vattumannen KVV. Innan bränslet matas in i pannan går det genom ett skivsäll, där stora bränslebitar, sten och andra föremål sållas ut. Det utsållade materialet tas tillbaka av bränsleleverantören. Därefter går bränslet genom en magnetisk metallseparator, där diverse metallföremål sorteras ut. Det finns ingen separator för omagnetisk metall, och aluminiumsmältor kan därför hittas i pannan.

A.2.3 Beskrivning av askhantering

Bottenaskan faller ned till en torr bottenasktransportör, där en askskrapa för bort askan. Bottenaskan anländer helt torr till en container.

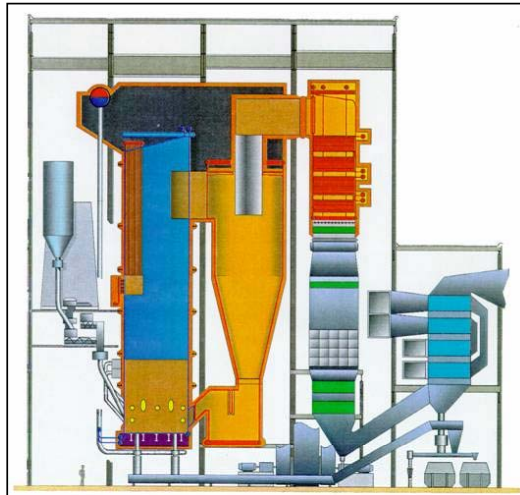
Flygaskan förs från elfiltret med hjälp av en luftkanon till en asksilo, där den förvaras torr. I samband med att askan matas ut för borttransport, befuktas flygaskan med ca 40% vatten.

Nu används både flygaskan och bottenaskan för sluttäckning av en deponi, men det finns planer på att använda bottenaskan som fyllning i rörgravar till fjärrvärmenät. Lyckade försök är genomförda, men tillstånd saknas än så länge.

A.3 Händelö P13

A.3.1 Allmän beskrivning

Panna
125 MW, CFB Kvaerner, 1993 540°C, 110 bar, 42 kg ånga/s
Bränslen
Skogsflis, gummiflis Under askprovtagningen: 100% skogsflis
Tillsatser
Kalk tillsätts bädden för absorption av svavel. Ammoniak tillsätts för NO _x -reduktion.
Torr rökgasrening
Elfilter.
Askor
Bottenaska: 12,6 ton/dygn Flygaska: 24 ton/dygn



Figur A3. P13, CFB, Händelöverket

Figure A3. P13, CFB, Händelöverket

A.3.2 Beskrivning av bränslehantering

Biobränsle krossas (GROT) eller huggs (ved) och transporteras till en stor stack. Från stacken går bränslet via en kross och magnetavskiljning före transport till silo. Från silo transporteras bränslet vidare till pannan. Gummiflis har egen inmatningslinje till pannan.

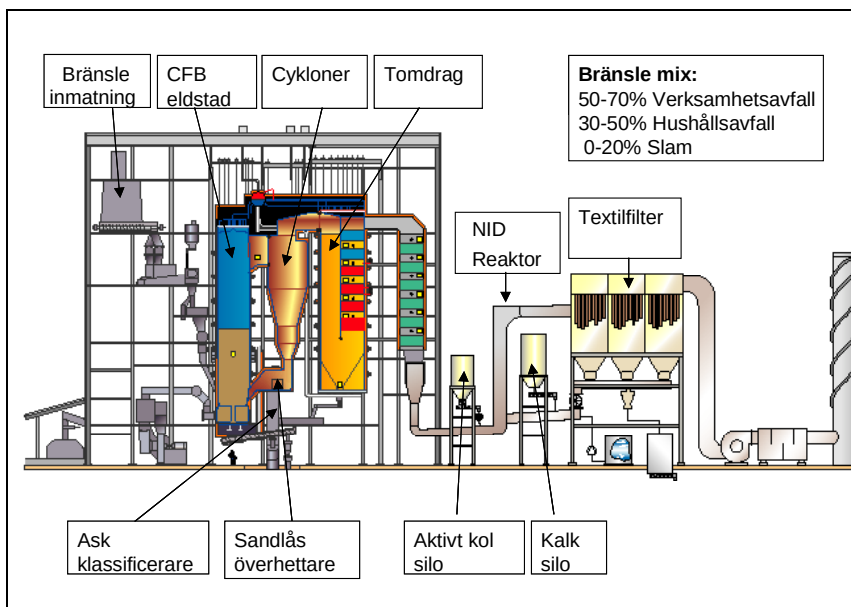
A.3.3 Beskrivning av askhantering

Bottenaska kommer från eldstadsbotten och från vändschakt. En trumsikt används för att sälla en del av bottenaskan och finfraktionen recirkuleras till pannan. Flygaskan kommer från elfiltret.

A.4 Händelö P14

A.4.1 Allmän beskrivning

Panna
75 MW, CFB Kvaerner, 2002 470°C, 65 bar, 27,5 kg ånga/s
Bränslen
Hushållsavfall, industriavfall Under askprovtagningen: 50% hushållsavfall, 50% industriavfall
Tillsatser
Ammoniak tillsätts för NO _x - reduktion. Kalk och aktivt kol tillsätts i NID-reaktor innan slangfilter
Våt-torr rökgasrening
Slangfilter
Askor
Bottenaska: 53,8 ton/dygn Flygaska: 50,4 ton/dygn



Figur A4. P14, CFB, Händelöverket

Figure A4. P14, CFB, Händelöverket

A.4.2 Beskrivning av bränslehantering

Avfallet går genom förkrossning, malning i hammarkvarn och magnetavskiljare lagras därefter i mellanlager, den s.k. A-ladan. På väg in till pannan passerar bränslet en virvelströmsseparator som tar bort icke magnetiska metaller, främst aluminium, innan bränslet går in till pannan.

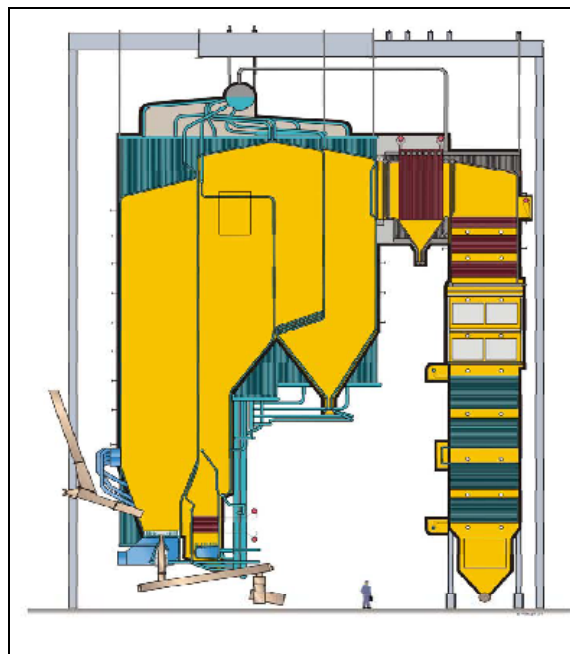
A.4.3 Beskrivning av askhantering

Bottenaskan siktas och finandelen skickas till pannan. Grövre fraktioner siktas ytterligare i vindsikt varav finandelen går till pannan och den grövre andelen till askutmatning tillsammans med aska från vändschakt. Flygaskan matas ut från slangfilter.

A.5 Högdalen P6

A.5.1 Allmän beskrivning

Panna
91,2 MW, CFB Foster Wheeler, 1999 480°C, 59 bar, 31,8 kg ånga/s
Bränslen
Industriavfall Under askprovtagningen: 100% industriavfall
Tillsatser
Aska från PFBC i Värtan används som bäddmaterial istället för Rådasand. Ammoniak tillsätts för NO _x -reduktion. Kalk och aktivt kol tillsätts i NID-reaktor.
Våt-Torr rökgasrening
Slangfilter
Askor
Bottenaska: 40–50 ton/dygn Flygaska: 40–50 ton/dygn



Figur A5. CFB, Högdalenverket, Stockholm

Figure A5. CFB, Högdalenverket, Stockholm

A.5.2 Beskrivning av bränslehantering

Bränslet tippas ned i en tippficka från lastbilarna. Från tippfickan transporteras bränslet först via ett skivsäll och därefter en magnetavskiljare. Bränslet passerar sedan ytterligare säll där rejektet går till en kvarn för bearbetning innan det återförs till bränsleströmmen igen. Bränslet lagras i två silos på 4000 m³ vardera. Från dessa silos skruvas bränslet vidare till transportband. Efter att bränslet passerat ytterligare en magnetavskiljare fördelas det på tre mellanlagringssilos, en för varje inmatningslinje i pannan. Bränslehanteringen har byggts om i flera steg för att bättre klara av bränslet.

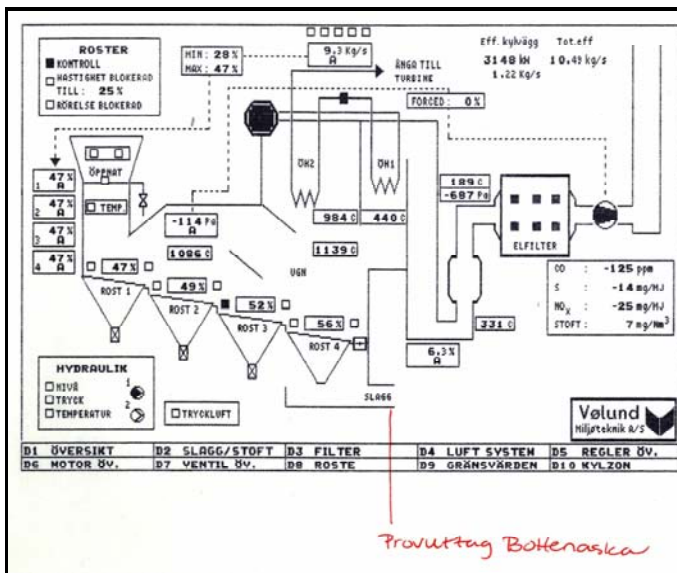
A.5.3 Beskrivning av askhantering

Askutmatning till bottenasksilos görs från eldstadsbotten samt från vändschaktet. En del av bottenaskan recirkuleras genom att en trumsikt sällar ut en finare fraktion. Flygaska samlas upp från kanalböjen innan NID-reaktorn (Novel Integration Desulfurization) samt från slangfiltret. Flygaskprovet togs på aska från slangfiltret.

A.6 Kiruna P3

A.6.1 Allmän beskrivning

Panna
27 MW, roster, Generator Ombyggd till avfallspanna av Vöhlund, 2001
Bränslen
Hushållsavfall, ibland blandat med verksamhetsavfall. Under askprovtagningen: Endast hushållsavfall.
Tillsatser
Inga tillsatser.
Torr rökgasrening
Elfilter
Askor
Bottenaska: 65 ton/dygn (fuktig) Flygaska: ca 5,5 ton/dygn (torr)



Figur A6. Rosterpanna, Kiruna

Figure A6. Grate fired boiler, Kiruna

A.6.2 Beskrivning av bränslehantering

Sedan ombyggnationen av panna 3 eldas hushållsavfall, ibland med inblandning av verksamhetsavfall. Hushållsavfallet matas in i pannan utan någon beredning. När verksamhetsavfall eldas kan det vid behov krossas till mindre bitar.

A.6.3 Beskrivning av askhantering

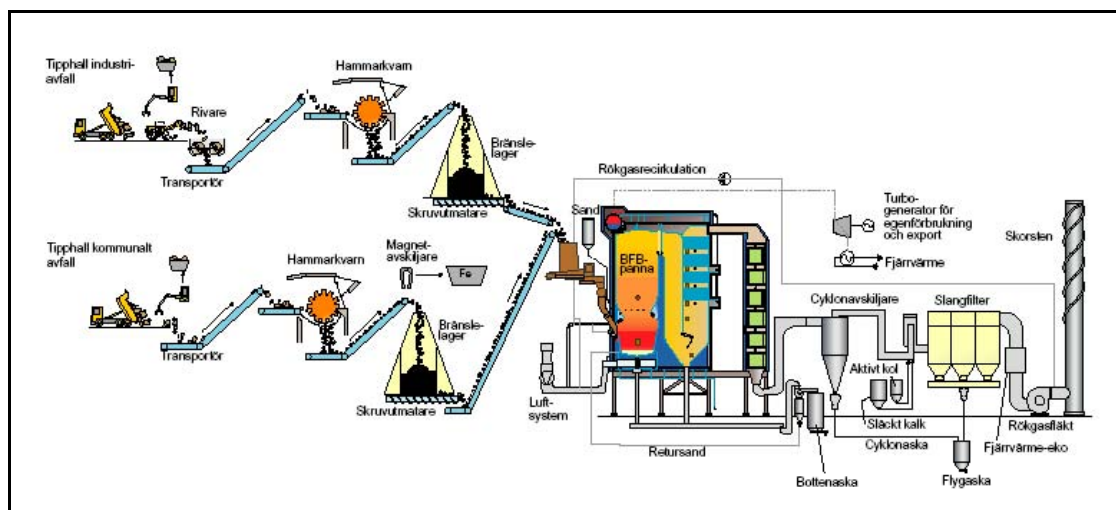
Bottenaskan faller ned från rostern i släckvatten och matas därefter ut till ett slaggrum. Slaggen skottas ut och körs iväg till bolagets egna deponi där den mellanlagras. Efter att slaggen siktats och metallen avskiljts används den till bl.a. fyllning av vägar inom deponin.

Flygaskan från elfiltret töms ut i en sluten container, utan att ha blivit befuktad och körs sedan till en sluten klass I cell på den egna deponin.

A.7 Lidköping P5

A.7.1 Allmän beskrivning

Panna
20 MW, BFB Kvaerner, 2002 250°C, 40 bar, 31 ton/h
Bränslen
Hushållsavfall, grovavfall och RT-flis. Under askprovtagningen: 30% industriavfall, 70% hushållsavfall
Tillsatser
Ammoniak tillsätts för NO _x -reduktion. Släckt kalk och aktivt kol tillsätts.
Torr rökgasrening
Cyklon, slangfilter
Askor
Bottenaska: 12 ton/dygn Flygaska: 4,5 ton/dygn



Figur A7. BFB, Lidköping

Figure A7. BFB, Lidköping

A.7.2 Beskrivning av bränslehantering

Inkommet hushållsavfall tippas i en mottagningsficka där stora föremål plockas bort med en kran innan det matas in i en kvarn för malning. Efter malning transporteras avfallet genom en magnetavskiljare för utsortering av metaller. Bränslet transporteras sedan till silos som motsvarar två dygns bränslebehov. Grövre material sorteras separat och mals i särskilda kvarnar innan det går till magnetavskiljare och bränslesilos.

A.7.3 Beskrivning av askhantering

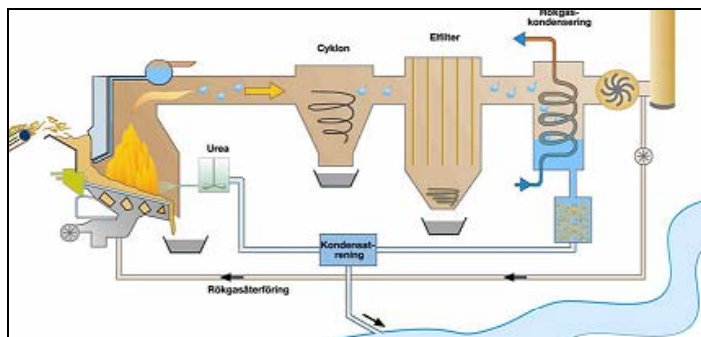
Aska matas ut från vändschakt och från eldstadsbotten och dessa två askor blandas sedan innan deponering. En del av sanden i bottenaskan returneras till pannan med hjälp

av ett trumsåll. Flygaskan kommer från cykloner, från reaktorn där kalk och aktivt kol blandas in samt från slangfilter. Dessa tre askor blandas sedan med slam från vattenreningen. Flygaskprovet är taget på aska från slangfiltret och provet på cyklonaskan består enbart av cyklonaska.

A.8 Linköping P3

A.8.1 Allmän beskrivning

Panna
65 MW, Rörlig roster, Svenska Maskinverken 1963 475°C, 60 bar Ombyggd 1984 av Von Roll
Bränslen
50% RT-flis 28% plastrejekt från Fiskeby 22% bark
Tillsatser
ca 55 kg/h torr urea (=130 l/h)
Torr rökgasrening
Cyklon Elfilter
Askor
Bottenaska: 33,6 ton/dygn (befuktad) (20,4 torr) Cyklonaska: 7,2 ton/dygn (befuktad) (4,8 torr) Elfilter: 6 ton/dygn (befuktad) (3,6 torr)



Figur A8. Rosterpanna, Linköping

Figure A8. Grate fired boiler, Linköping

A.8.2 Beskrivning av bränslehantering

Barken och RT-fliset krossas om det anländer till anläggningen i för stora bitar. Det finns ingen metallseparering innan bränslet matas in i pannan.

A.8.3 Beskrivning av askhantering

Bottenaskan faller ned i släckvatten och matas sedan ut till en slaggvagn.

Cyklonaskan leds till ett trumsåll där den delas upp i två fraktioner. Den grövre fraktionen återförs till pannan. Finfraktionen befuktas innan den faller ned i en uppsamlingscontainer.

Askor från elfiltret behandlas på samma sätt som cyklonaskan. Cyklon- och elfilteraskorna blandas aldrig.

Varken bottenaskan eller flygaskan går igenom någon metallseparator. Bottenaskan används delvis som fyllnadsmaterial, bl.a. vid bygget av nya pannan vid Gärstadverket. Flygaskorna skall på försök skickas till Norge där de kommer att blandas med restprodukter från tillverkning av svavelsyra för att sedan användas som fyllningsmaterial i ett kalkbrott. I övrigt skickas all aska till deponi.

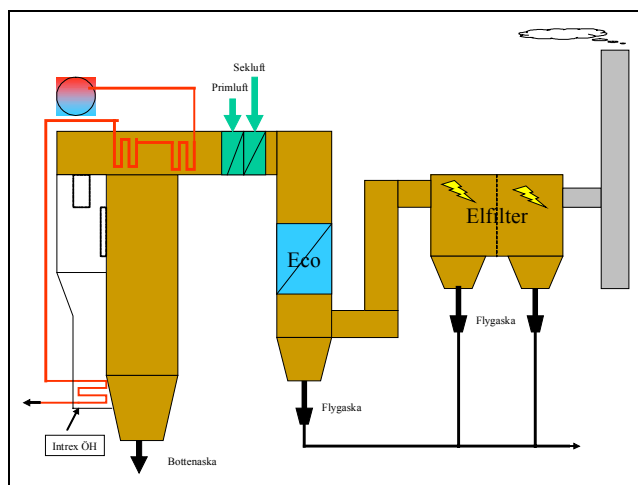
A.8.4 Ändrade driftförhållanden vid provtagningen av aska

Under våren 2005 har sekundärluftfläkten varit ur funktion och istället har en rökgasrecirkulationsfläkt varit omkopplad och fått fungera som sekundärluftfläkt. Så var också fallet under provtagningen till projektet. Förändringen har lett till något ökade CO- och NO_x-halter, men i övrigt har förbränningen och miljövärdena varit normala.

A.9 Munksund

A.9.1 Allmän beskrivning

Panna
98 MW, CFB, Foster Wheeler, 2002 480°C, 60 bar, 140 ton ånga/h
Bränslen
ca 25% spån och torrflis ca 70% bark ca 5% Wellrejekt Vid driftstörningar och vid drift över 80% last eldas olja.
Tillsatser
Inga tillsatser.
Torr rökgasrening
Elfilter.
Askor
Bottenaska: 8–10 ton/dygn Flygaska: 5,5 ton/dygn



Figur A9. CFB, Munksund

Figure A9. CFB, Munksund

A.9.2 Beskrivning av bränslehantering

Wellrejektet går igenom både en magnetisk avskiljare och en virvelströmsmagnet innan det matas in i pannan tillsammans med biobränslet.

A.9.3 Beskrivning av askhantering

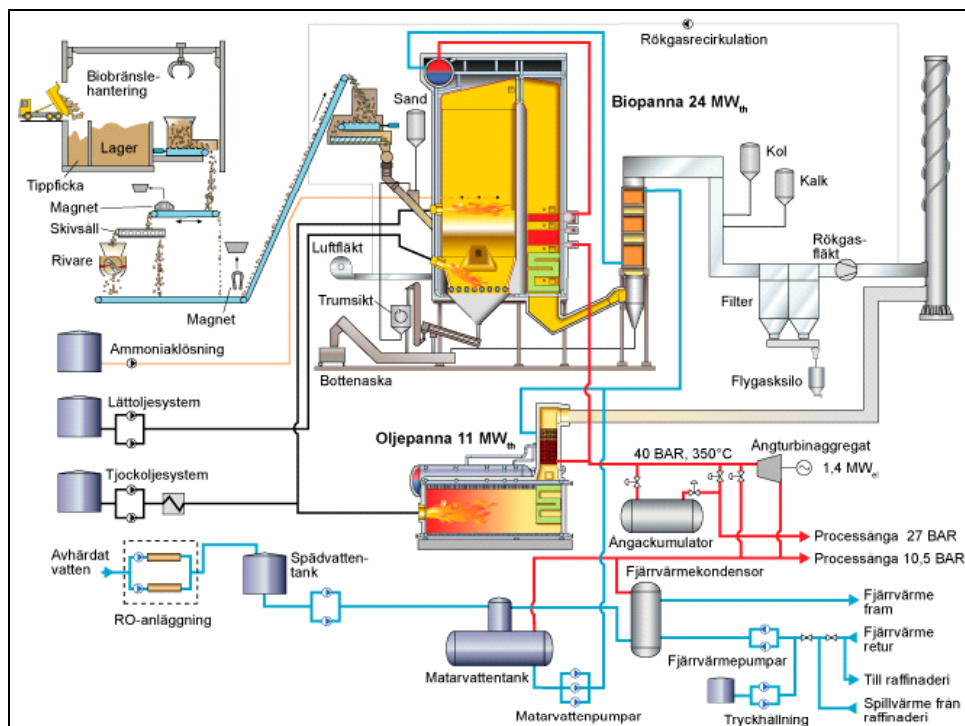
Bottenaskan leds via ett vattenfyllt slaggband till en container. Flygaskan från ekonomisern och elfiltret går via asksändare till en flygasksilo, där det mellanlagras. I samband med lastning till lastbil befuktas flygaskan.

All flygaska används som tätskikt i gruvdeponier. En del av bottenaskan går till deponi och en del används som fyllning vid olika byggnadsprojekt.

A.10 Nynäshamn

A.10.1 Allmän beskrivning

Panna
24 MW, BFB Kvaerner, 2004 350°C, 40 bar, 9,4 kg ånga/s
Bränslen
Returträflis Under askprovtagningen: 100% RT-flis
Tillsatser
Ammoniak tillsätts för NO _x -reduktion. Aktivt kol och kalk tillsätts.
Torr rökgasrening
Cyklon innan ekonomiser, slangfilter
Askor
Bottenaska: 2 ton/dygn Flygaska: 6,5 ton/dygn



Figur A10. Kraftvärmeverket, Nynäshamn

Figure A10. CHP plant, Nynäshamn

A.10.2 Beskrivning av bränslehantering

Från bränslelagret går bränslet genom en magnet och ett skivsa. Det material som är för stort passerar en rivare. Därefter går bränslet förbi ytterligare en magnet innan det transporteras in till pannan.

A.10.3 Beskrivning av askhantering

Bottenaska kommer från eldstadsbotten. En trumsikt används för att recirkulera en del av bottenaskan. Innan ekonomisern sitter en cyklon som avskiljer en viss del flygaska. Aska matas även ut från denna cyklon och det askflödet går till flygasksilon, dit också slangfilteraskan går (framgår inte av Figur A10).

A.11 Sundsvall F1

A.11.1 Allmän beskrivning

Panna
18 MW, CFB Götaverken Energy (Kvaerner), 1984 270°C, 33 bar, 8 kg ånga/s
Bränslen
30-50% verksamhetsavfall 30-50% hushållsavfall 10-15% spån
Tillsatser
Dolomit tillsätts i eldstaden Ammoniak tillsätts för reduktion av NO _x Kalk tillsätts innan slangfilter
Torr rökgasrening
Slangfilter
Askor
Bottenaska: 10 ton/dygn Flygaska: 10 ton/dygn

A.11.2 Beskrivning av bränslehantering

Verksamhetsavfall och hushållssopor krossas i en anläggning utanför kraftvärmeverket där bränslet också får passera magnetavskiljare. Därefter transporteras bränslet till kraftvärmeverket.

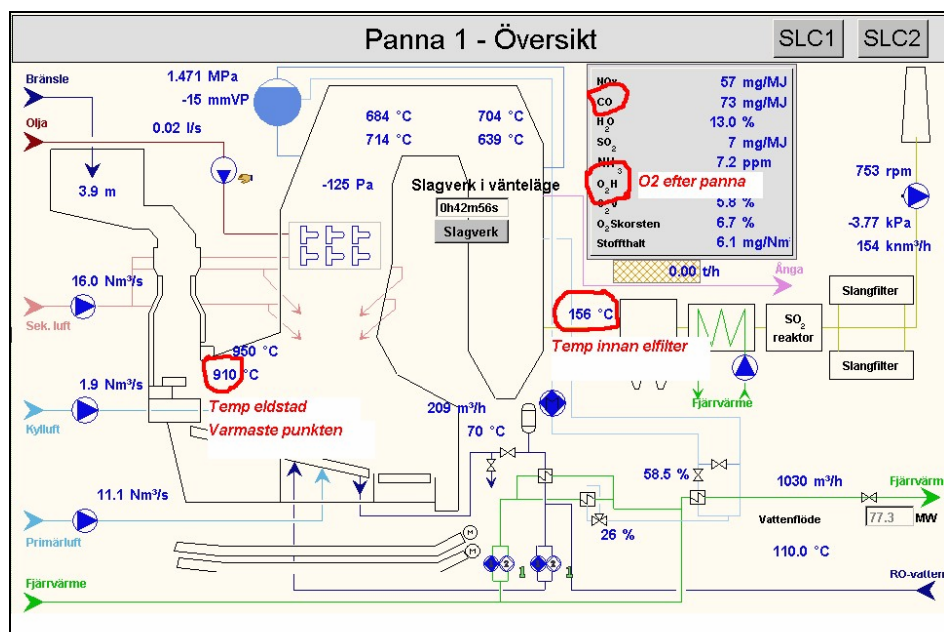
A.11.3 Beskrivning av askhantering

Bottenaskan matas bara ut från eldstadsbotten. En del av bottenaskan får passera en sikt för att avskilja överstort material, den fina fraktionen recirkuleras sedan tillbaka till pannan. Flygaskan består av aska från elfilter och slangfilter som blandas vid utmatning till askcontainer. Flygaskprovet togs från containern med blandade flygaskor.

A.12 Södertälje P1

A.12.1 Allmän beskrivning

Panna
Hetvattenpanna, 85 MW, roster, Svenska Maskinverken Ca 200°C, 15 bar Ombyggd 1997, från kolpulvereldad
Bränslen
60% utsorterat avfall (bränslekross av utsorterat papper, plast och trä från verksamhets- och industriavfall) 40% bränslekrosspellets 20 ton bränsle/h
Tillsatser
Urea 120–130 l/h
Torr rökgasrening
Elfilter Halvtorr skrubber Slangfilter
Askor
Bottenaska: 45–60 ton/dygn (torr) Elfilteraska: 10–15 ton/dygn (torr)



Figur A12. Rosterpanna, Igelstaverket, Södertälje

Figure A12. Grate fired boiler, Igelstaverket, Södertälje

A.12.2 Beskrivning av bränslehantering

Bränslet går igenom en magnetisk avskiljare innan det matas in i pannan.

A.12.3 Beskrivning av askhantering

Bottenaskan faller ned i släckvatten och matas sedan ut till container.

Ca 99% av flygaskan avskiljs i elfiltret. Flygaskan transporteras i torrt skick ända till utlastningen till lastbil, där den befuktas.

Flygaskan från slangfiltret innehåller mest kalk, som tillsatts i den halvtorra skrubbern innan slangfiltret.

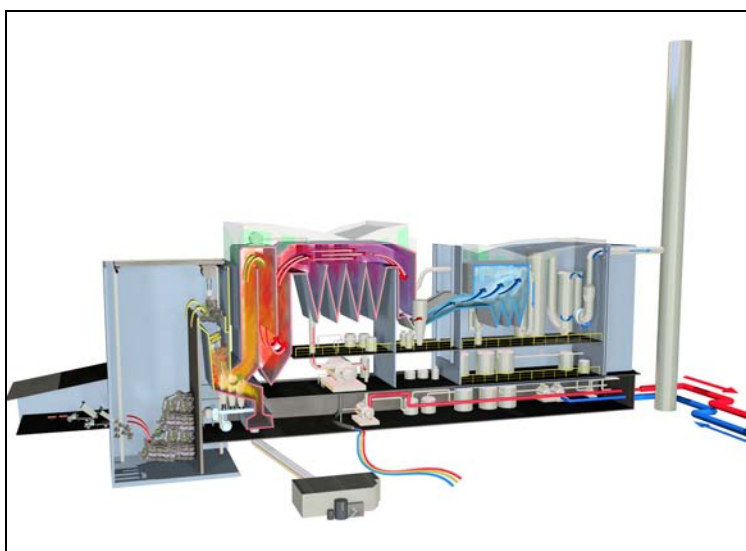
Det finns ingen metallavskiljning från askorna vid värmeverket. Både bottenaskan och flygaskan går till Tveta deponi, där de används till sluttäckning av tippen.

Askproverna som ingått i projektet är tagna från elfiltret och inga tillsatser är doserade innan.

A.13 Umeå P8

A.13.1 Allmän beskrivning

Panna
65 MW, roster, Von Roll, 2000 400°C, 40 bar, ca 78 ton ånga/h
Bränslen
hushållsavfall ca 60% verksamhetsavfall ca 40% 20 ton bränsle/h
Tillsatser
Ammoniak normalt, ej under ask- provtagningen Aktivt kol (ca 200 kg/dygn) och CaCO ₃ (ca 3,5 ton/dygn) tillsätts innan slangfilter.
Torr rökgasrening
Slangfiter
Askor
Bottenaska: ca 60 ton/dygn (ca 10% vatten) Flygaska-slam: ca 12 ton/dygn (ca 20% vatten)



Figur A13. Rosterpanna, Dåva, Umeå

Figure A13. Grate fired boiler, Dåva, Umeå

A.13.2 Beskrivning av bränslehantering

Dåvamyran eldar ca 40% verksamhetsavfall och ca 60% hushållsavfall. Man eftersträvar att storleken på verksamhetsavfallet skall vara ca 40–80 cm. Ingen speciell bränsleberedning finns.

A.13.3 Beskrivning av askhantering

Bottenaskan faller ned i en slaggutmatare där askan släcks. Därefter faller askan vidare ned på ett transportband. Magnetiskt material avskiljs med hjälp av en bandmagnet. Slaggen lagras därefter i ca tre månader och används som fyllningsmaterial för interna byggen. Innan dess behandlas den ytterligare, dels med en magnetisk avskiljare, dels med bortsortering av stora slaggbitar. De grova fraktionerna, i vilka man har konstaterat det mesta omagnetiska materialet, får gå genom en virvelströmsavskiljare för utsortering av omagnetiska metaller.

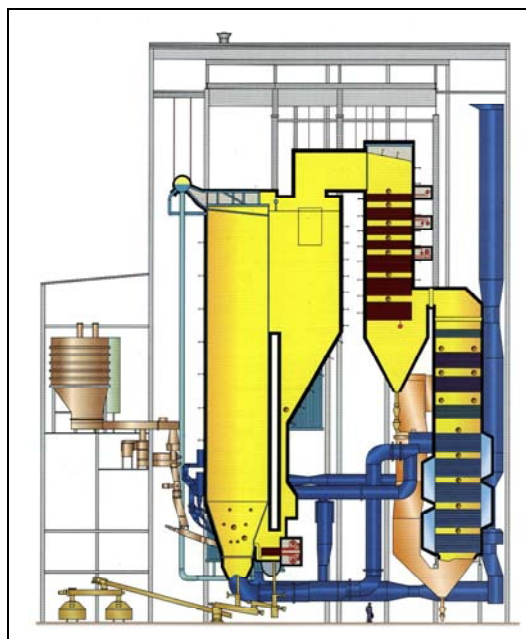
Flygaskan från slangfiltret blandas ihop med askan som tas ut från botten av konvektionsdelen. Slam från vattenreningen blandas också ihop med askan, och proportionerna är ca 80 viktprocent aska och 20 viktprocent slam. Vattnet i vattenreningen är surt vatten från skrubbern och spolvatten från anläggningen. I vattenreningen tillsätts pH-reglerande medel samt flockningsmedel. Inget av dem innehåller aluminium. Produkten från flockningen sedimenteras ut och pumpas vidare till askbehållaren där den fungerar som stabiliseringsmedel för askan. Blandningen förvaras i en behållare. Vatteninnehållet är ca 10%.

Flygaska-slamblandningen läggs än så länge på deponi, men man letar efter nya alternativ.

A.14 Västerås P5

A.14.1 Allmän beskrivning

Panna
157 MW, CFB Foster Wheeler, 2000 540°C, 37 bar, 48 kg ånga/s
Bränslen
Stamved, bark, spån, torv, RT-flis, GROT och torrflis Vid provtagningsstillfället: 24 energiprocent torv, 27 energiprocent bark, 16 energiprocent stamved, 22 energiprocent träspån, 11 energiprocent RT-flis
Tillsatser
Kalksten tillsätts bädden för absorption av svavel när svavelhaltiga bränslen som exempelvis kol eldas. Vattenfri ammoniak tillsätts före katalysator (12 kg/h)
Torr rökgasrening
Slangfilter
Askor
Bottenaska: 12,6 ton/dygn Flygaska: 42,2 ton/dygn



Figur A14. CFB, Västerås

Figure A14. CFB, Västerås

A.14.2 Beskrivning av bränslehantering

Bränslet lagras öppet på plan och läggs i mottagningsficka med lastmaskin. Bränslet passerar kross, sikt och magnetavskiljare. Matningen till pannan sker antingen direkt efter krosshuset eller via en större lagersilo. Inne i pannhuset finns två bränslelinjer som försörjer två skruvar vardera till bädden.

A.14.3 Beskrivning av askhantering

Flygaska samlas huvudsakligen in efter slangfilter och en mindre del från lågpunkter i konvektionsdelen. Askan blåses till asksilo där den lagras torr. Utmatning av flygaskan kan ske vått via paddelverk, torrt via bulkutmatning eller genom en av de två askblandare som finns för inblandning av bindemedel och tillverkning av produkt. Bottensanden matas ut i eldstadsbotten via skrapredlar till container. Containern töms dagligen (inget vatten tillsätts). Pannsandens hanteras sedan med lastmaskin, antingen för direkt upplastning på lastbil eller i ballastficka för inblandning med flygaskan i askblandaren.

B DATA FRÅN TOTALHALTSANALYSER AV ASKOR

Projekt

SGI
Miljölab

Registrerad 2005-06-22
Utfärdad 2005-08-11

Olaus Magnusväg 35
581 93 Linköping
Sverige

Analys: MG2-AM

Er beteckning	1. Umeå flyg				
Labnummer	U10199007				
Parameter	Resultat	Mätosäkerhet	Enhet	Metod	Utf
TS*	99.9		%	1	W
SiO ₂	21.2	1.7	% TS	2	E
Al ₂ O ₃	8.25	0.73	% TS	2	E
CaO	26.6	2.0	% TS	2	E
Fe ₂ O ₃	4.04	0.32	% TS	2	E
K ₂ O	4.31	0.34	% TS	2	E
MgO	2.36	0.19	% TS	2	E
MnO	0.185	0.018	% TS	2	E
Na ₂ O	5.00	0.40	% TS	2	E
P ₂ O ₅	1.37	0.20	% TS	2	E
TiO ₂	2.27	0.18	% TS	2	E
Summa*	75.6		% TS	2	I
LOI*	14.7		% TS	3	W
As	131	30	mg/kg TS	2	E
Ba	1780	132	mg/kg TS	2	E
Be	1.19	0.32	mg/kg TS	2	E
Cd	179	43	mg/kg TS	2	E
Co	70.1	10.2	mg/kg TS	2	E
Cr	1050	141	mg/kg TS	2	E
Cu	1270	182	mg/kg TS	2	E
Hg	3.65	0.76	mg/kg TS	2	F
La*	15.2		mg/kg TS	2	A
Mo	34.7	7.1	mg/kg TS	2	E
Nb	13.0	6.0	mg/kg TS	2	E
Ni	94.2	13.4	mg/kg TS	2	E
Pb	3170	529	mg/kg TS	2	E
S*	38400		mg/kg TS	2	A
Sb*	1050		mg/kg TS	2	A
Sc	1.77	1.38	mg/kg TS	2	E
Sn	310	68	mg/kg TS	2	E
Sr	378	26	mg/kg TS	2	E
V	41.5	7.7	mg/kg TS	2	E
W	<60		mg/kg TS	2	E
Y	17.1	2.1	mg/kg TS	2	E
Zn	26400	3810	mg/kg TS	2	E
Zr	185	32	mg/kg TS	2	E
Cl*	9.0		%	4	1

Er beteckning 2. Kiruna botten					
Labnummer U10199008					
Parameter	Resultat	Mätosäkerhet	Enhet	Metod	Utf
TS*	84.8		%	1	W
SiO ₂	44.8	3.6	% TS	2	E
Al ₂ O ₃	14.0	1.2	% TS	2	E
CaO	13.2	1.0	% TS	2	E
Fe ₂ O ₃	12.6	1.0	% TS	2	E
K ₂ O	1.65	0.13	% TS	2	E
MgO	2.31	0.18	% TS	2	E
MnO	0.189	0.018	% TS	2	E
Na ₂ O	4.44	0.35	% TS	2	E
P ₂ O ₅	1.23	0.18	% TS	2	E
TiO ₂	1.23	0.10	% TS	2	E
Summa*	95.6		% TS	2	I
LOI*	3.2		% TS	3	W
As	25.9	8.5	mg/kg TS	2	H
Ba	1630	121	mg/kg TS	2	E
Be	1.99	0.41	mg/kg TS	2	E
Cd	6.27	1.10	mg/kg TS	2	H
Co	59.3	8.6	mg/kg TS	2	E
Cr	649	87	mg/kg TS	2	E
Cu	3680	527	mg/kg TS	2	E
Hg	0.0924	0.0194	mg/kg TS	2	F
La*	35.7		mg/kg TS	2	A
Mo	26.6	6.0	mg/kg TS	2	E
Nb	8.21	5.37	mg/kg TS	2	E
Ni	120	17	mg/kg TS	2	E
Pb	2750	459	mg/kg TS	2	E
S*	7750		mg/kg TS	2	A
Sb*	115		mg/kg TS	2	A
Sc	6.01	1.40	mg/kg TS	2	E
Sn	636	139	mg/kg TS	2	E
Sr	325	23	mg/kg TS	2	E
V	72.9	12.0	mg/kg TS	2	E
W	<60		mg/kg TS	2	E
Y	22.0	2.4	mg/kg TS	2	E
Zn	10600	1530	mg/kg TS	2	E
Zr	227	38	mg/kg TS	2	E
Cl*	0.4		%	4	1

Vikt hela provet:236,28g Vikt metall:1,33 g

Er beteckning	3. Kiruna flyg				
Labnummer	U10199009				
Parameter	Resultat	Mätosäkerhet	Enhet	Metod	Utf
TS*	99.6		%	1	W
SiO ₂	18.1	1.4	% TS	2	E
Al ₂ O ₃	10.3	0.9	% TS	2	E
CaO	24.2	1.8	% TS	2	E
Fe ₂ O ₃	5.55	0.45	% TS	2	E
K ₂ O	5.77	0.46	% TS	2	E
MgO	2.42	0.19	% TS	2	E
MnO	0.196	0.019	% TS	2	E
Na ₂ O	7.17	0.57	% TS	2	E
P ₂ O ₅	1.46	0.21	% TS	2	E
TiO ₂	1.89	0.15	% TS	2	E
Summa*	77.1		% TS	2	I
LOI*	15.6		% TS	3	W
As	136	31	mg/kg TS	2	E
Ba	1180	88	mg/kg TS	2	E
Be	1.26	0.32	mg/kg TS	2	E
Cd	380	66	mg/kg TS	2	H
Co	29.7	4.4	mg/kg TS	2	E
Cr	707	95	mg/kg TS	2	E
Cu	2400	345	mg/kg TS	2	E
Hg	4.67	0.97	mg/kg TS	2	F
La*	22.4		mg/kg TS	2	A
Mo	38.4	7.5	mg/kg TS	2	E
Nb	8.93	5.37	mg/kg TS	2	E
Ni	150	21	mg/kg TS	2	E
Pb	6880	1150	mg/kg TS	2	E
S*	35600		mg/kg TS	2	A
Sb*	1870		mg/kg TS	2	A
Sc	2.52	1.30	mg/kg TS	2	E
Sn	567	124	mg/kg TS	2	E
Sr	442	31	mg/kg TS	2	E
V	47.0	8.3	mg/kg TS	2	E
W	<60		mg/kg TS	2	E
Y	15.8	1.9	mg/kg TS	2	E
Zn	26900	3890	mg/kg TS	2	E
Zr	197	33	mg/kg TS	2	E
Cl*	13.3		%	4	1

Er beteckning 4. Sundsvall botten					
Labnummer U10199010					
Parameter	Resultat	Mätosäkerhet	Enhet	Metod	Utf
TS*	100.0		%	1	W
SiO ₂	67.1	5.3	% TS	2	E
Al ₂ O ₃	7.48	0.67	% TS	2	E
CaO	11.7	0.9	% TS	2	E
Fe ₂ O ₃	2.89	0.23	% TS	2	E
K ₂ O	2.11	0.17	% TS	2	E
MgO	2.65	0.21	% TS	2	E
MnO	0.119	0.011	% TS	2	E
Na ₂ O	5.43	0.43	% TS	2	E
P ₂ O ₅	0.570	0.082	% TS	2	E
TiO ₂	0.725	0.057	% TS	2	E
Summa*	100.8		% TS	2	I
LOI*	-0.1		% TS	3	W
As	47.8	13.1	mg/kg TS	2	H
Ba	1410	105	mg/kg TS	2	E
Be	1.39	0.34	mg/kg TS	2	E
Cd	2.84	0.51	mg/kg TS	2	H
Co	18.3	2.7	mg/kg TS	2	E
Cr	370	50	mg/kg TS	2	E
Cu	4370	626	mg/kg TS	2	E
Hg	<0.01		mg/kg TS	2	F
La*	20.3		mg/kg TS	2	A
Mo	8.70	4.20	mg/kg TS	2	E
Nb	9.67	5.73	mg/kg TS	2	E
Ni	280	40	mg/kg TS	2	E
Pb	870	145	mg/kg TS	2	E
S*	1440		mg/kg TS	2	A
Sb*	71.7		mg/kg TS	2	A
Sc	2.17	1.38	mg/kg TS	2	E
Sn	131	30	mg/kg TS	2	E
Sr	254	18	mg/kg TS	2	E
V	31.3	6.4	mg/kg TS	2	E
W	<60		mg/kg TS	2	E
Y	13.0	1.8	mg/kg TS	2	E
Zn	4640	672	mg/kg TS	2	E
Zr	304	51	mg/kg TS	2	E
Cl*	<0.1		%	4	1
Vikt hela provet:313,12g Vikt metall:2,87g					

Er beteckning 5. Sundsvall flyg					
Labnummer U10199011					
Parameter	Resultat	Mätosäkerhet	Enhet	Metod	Utf
TS*	99.6		%	1	W
SiO ₂	21.1	1.7	% TS	2	E
Al ₂ O ₃	10.6	0.9	% TS	2	E
CaO	33.7	2.6	% TS	2	E
Fe ₂ O ₃	3.22	0.26	% TS	2	E
K ₂ O	1.90	0.15	% TS	2	E
MgO	6.78	0.53	% TS	2	E
MnO	0.229	0.022	% TS	2	E
Na ₂ O	3.06	0.24	% TS	2	E
P ₂ O ₅	1.20	0.17	% TS	2	E
TiO ₂	1.58	0.12	% TS	2	E
Summa*	83.4		% TS	2	I
LOI*	10.1		% TS	3	W
As	84.6	19.9	mg/kg TS	2	E
Ba	1690	126	mg/kg TS	2	E
Be	1.08	0.31	mg/kg TS	2	E
Cd	27.0	4.7	mg/kg TS	2	H
Co	26.5	3.9	mg/kg TS	2	E
Cr	483	65	mg/kg TS	2	E
Cu	4130	592	mg/kg TS	2	E
Hg	0.832	0.176	mg/kg TS	2	F
La*	14.2		mg/kg TS	2	A
Mo	31.4	6.6	mg/kg TS	2	E
Nb	10.5	5.7	mg/kg TS	2	E
Ni	154	22	mg/kg TS	2	E
Pb	2060	344	mg/kg TS	2	E
S*	30100		mg/kg TS	2	A
Sb*	239		mg/kg TS	2	A
Sc	2.56	1.36	mg/kg TS	2	E
Sn	110	25	mg/kg TS	2	E
Sr	364	25	mg/kg TS	2	E
V	40.0	7.5	mg/kg TS	2	E
W	<60		mg/kg TS	2	E
Y	15.0	1.9	mg/kg TS	2	E
Zn	5040	730	mg/kg TS	2	E
Zr	140	24	mg/kg TS	2	E
Cl*	8.1		%	4	I



Er beteckning	6. Lidköping botten				
Labnummer	UI0199012				
Parameter	Resultat	Mätosäkerhet	Enhet	Metod	Utf
TS*	100.0		%	1	W
SiO ₂	64.1	5.1	%TS	2	E
AhO ₂	9.37	0.83	%TS	2	E
CaO	9.78	0.74	%TS	2	E
Fe203	6.41	0.51	%TS	2	E
K ₂ O	2.59	0.21	%TS	2	E
MnO	1.26	0.10	%TS	2	E
MnO	0.103	0.010	%TS	2	E
Na2O	5.42	0.43	%TS	2	E
P2O5	0.423	0.061	%TS	2	E
TiO ₂	0.804	0.063	%TS	2	E
Summa*	100.3		%TS	2	I
LOI*	0.6		%TS	3	W
As	65.9	15.3	mg/kg TS	2	E
Ba	1550	115	mg/kg TS	2	E
Be	1.58	0.37	mg/kg TS	2	E
Cd	1.49	0.30	mg/kg TS	2	H
Co	30.3	4.5	mg/kg TS	2	E
Cr	528	71	mg/kg TS	2	E
Cu	3550	509	mg/kg TS	2	E
Hf	<0.01		mg/kg TS	2	F
La*	17.1		mg/kg TS	2	A
Mo	23.6	5.6	mg/kg TS	2	E
Nb	6.94	5.52	mg/kg TS	2	E
Ni	153	22	mg/kg TS	2	E
Pb	563	94	mg/kg TS	2	E
S*	4610		mg/kg TS	2	A
Sb*	321		mg/kg TS	2	A
Se	1.98	1.36	mg/kg TS	2	E
Sn	178	40	mg/kg TS	2	E
Sr	411	29	mg/kg TS	2	E
V	30.2	6.3	mg/kg TS	2	E
W	<60		mg/kg TS	2	E
Y	12.8	1.7	mg/kg TS	2	E
Zn	2490	360	mg/kg TS	2	E
Zr	223	38	mg/kg TS	2	E
Cl*	0.5		%	4	I
Vikt hela provet:451,50 g, Vikt metall:8,80 g					



RAPPORT

utfärdad av ackrediterat laboratorium

REPORT issued by an Accredited Laboratory

1087

ISO/IEC 17025

L0507752

NDTM3TJ2YN

Sida 7 (33)

Er beteckning	7. Lidköping cyklon				
Labnummer	UI0199013				
Parameter	Resultat	Mätosäkerhet	Enhet	Metod	Utf
TS"	99.9		%	1	W
SiQ ₂	37.4	3.0	%TS	2	E
Al ₂ O ₃	22.1	2.0	%TS	2	E
CaO	21.2	1.6	%TS	2	E
Fe ₂ O ₃	5.31	0.43	%TS	2	E
K ₂ O	2.12	0.17	%TS	2	E
MnO	2.93	0.23	%TS	2	E
MnO	0.299	0.029	%TS	2	E
Na ₂ O	3.97	0.32	%TS	2	E
P ₂ O ₅	2.04	0.29	%TS	2	E
TiO ₂	1.68	0.13	%TS	2	E
Summa"	99.0		%TS	2	I
LOI"	0.6		%TS	3	W
As	23.9	8.2	mg/kg TS	2	H
Da	2650	196	mg/kg TS	2	E
Be	1.74	0.38	ml/kg TS	2	E
Cd	12.2	2.2	ml/kg TS	2	H
Co	34.8	5.1	mg/kg TS	2	E
Cr	580	78	mg/kg TS	2	E
Cu	6930	996	mg/kg TS	2	E
Hf	0.182	0.038	mg/kg TS	2	F
La"	30.2		ml/kg TS	2	A
Mo	17.9	4.8	ml/kg TS	2	E
Nb	12.2	5.6	ml/kg TS	2	E
Ni	227	32	mg/kg TS	2	E
Pb	1200	200	mg/kg TS	2	E
S"	10500		mg/kg TS	2	A
Sb"	191		mg/kg TS	2	A
Sc	3.19	1.31	mg/kg TS	2	E
So	130	29	mg/kg TS	2	E
Sr	458	32	mg/kg TS	2	E
V	52.1	9.0	mg/kg TS	2	E
W	<60		mg/kg TS	2	E
Y	21.7	2.4	mg/kg TS	2	E
Zn	8120	1180	mg/kg TS	2	E
Zr	335	57		2	E
Cl"	2.9		%	4	I



RAPPORT

utfärdad av ackrediterat laboratorium

REPORT issued by an Accredited Laboratory

1087

ISO/IEC 17025

L050775

NDTM3TJ2YN

Sida 8 (3)

Er beteckning	8. Lidköping vändschakt				
Labnummer	UI0199014				
Parameter	Resultat	Mätosäkerhet	Enhet	Metod	Utf
TS*	100.0		%	I	W
SiO ₂	61.0	4.8	%TS	2	E
Al ₂ O ₃	14.7	1.3	%TS	2	E
CaO	9.34	0.71	%TS	2	E
Fe ₂ O ₃	5.51	0.44	%TS	2	E
K ₂ O	2.39	0.19	%TS	2	E
MnO	1.52	0.12	%TS	2	E
MnO	0.148	0.014	%TS	2	E
Na ₂ O	4.53	0.36	%TS	2	E
P ₂ O ₅	0.874	0.126	%TS	2	E
TiO ₂	0.782	0.061	%TS	2	E
Summa*	100.8		%TS	2	I
LOJ*	-1.0		%TS	3	W
As	33.6	10.1	mg/kg TS	2	H
Ba	1570	116	mg/kg TS	2	E
Be	1.62	0.36	mg/kg TS	2	E
Cd	4.22	0.75	mg/kg TS	2	H
Co	24.6	3.7	mg/kg TS	2	E
Cr	495	67	mg/kg TS	2	E
Cu	7620	1090	mg/kg TS	2	E
Hf	<0.01		mg/kg TS	2	F
La*	23.9		mg/kg TS	2	A
Mo	31.6	6.5	mg/kg TS	2	E
Nb	6.58	5.26	mg/kg TS	2	E
Ni	205	29	mg/kg TS	2	E
Pb	926	155	mg/kg TS	2	E
S*	4650		mg/kg TS	2	A
Sb*	138		mg/kg TS	2	A
Se	2.35	1.31	mg/kg TS	2	E
Sn	183	41	mg/kg TS	2	E
Sr	285	20	mg/kg TS	2	E
V	35.6	6.8	mg/kg TS	2	E
W	<60		mg/kg TS	2	E
Y	15.0	1.9	mg/kg TS	2	E
Zn	4180	605	mg/kg TS	2	E
Zr	267	45	mg/kg TS	2	E
Cl*	0.5		%	4	I

I

.....

Er beteckning	9. Lidköping flyg				
Labnummer	UI0199015				
Parameter	Resultat	Mätosäkerhet	Enhet	Metod	Utf
TS*	98.5		%	1	W
SiO ₂	8.19	0.65	%TS	2	E
Al ₂ O ₃	5.26	0.47	%TS	2	E
CaO	38.4	2.9	%TS	2	E
Fe ₂ O ₃	1.20	0.10	%TS	2	E
K ₂ O	3.88	0.31	%TS	2	E
MnO	1.96	0.15	%TS	2	E
MnO	0.102	0.010	%TS	2	E
Na ₂ O	5.74	0.46	%TS	2	E
P ₂ O ₅	1.37	0.20	%TS	2	E
TiO ₂	0.608	0.048	%TS	2	E
Summa*	66.7		%TS	2	I
LOI*	18.4		%TS	3	W
As	54.3	13.3	mg/kg TS	2	E
Ba	1480	109	mg/kg TS	2	E
Be	0.678	0.264	mg/kg TS	2	E
Cd	96.9	17.2	mg/kg TS	2	H
Co	20.5	3.0	mg/kg TS	2	E
Cr	421	57	mg/kg TS	2	E
Cu	16400	2350	mg/kg TS	2	E
Hf	4.69	0.97	mg/kg TS	2	F
La*	6.85		mg/kg TS	2	A
Mo	28.1	6.0	mg/kg TS	2	E
Nb	<6		mg/kg TS	2	E
Ni	75.5	10.8	mg/kg TS	2	E
Pb	6920	1160	mg/kg TS	2	E
S*	26300		mg/kg TS	2	A
Sb*	538		mg/kg TS	2	A
Se	1.30	0.27	mg/kg TS	2	E
Sn	157	35	mg/kg TS	2	E
Sr	346	24	mg/kg TS	2	E
V	13.2	4.4	mg/kg TS	2	E
W	<60		mg/kg TS	2	E
Y	9.96	1.49	mg/kg TS	2	E
Zn	10600	1530	mg/kg TS	2	E
Zr	90.6	15.5	mg/kg TS	2	E
C1*	21.4		%	4	I

Er beteckning 10 P14 botten					
Labnummer U10199016					
Parameter	Resultat	Mätosäkerhet	Enhet	Metod	Utf
TS*	100.0		%	1	W
SiO ₂	64.7	5.1	% TS	2	E
Al ₂ O ₃	9.73	0.87	% TS	2	E
CaO	9.17	0.70	% TS	2	E
Fe ₂ O ₃	4.68	0.38	% TS	2	E
K ₂ O	2.11	0.17	% TS	2	E
MgO	1.82	0.14	% TS	2	E
MnO	0.0839	0.0080	% TS	2	E
Na ₂ O	6.12	0.49	% TS	2	E
P ₂ O ₅	0.508	0.073	% TS	2	E
TiO ₂	0.593	0.046	% TS	2	E
Summa*	99.5		% TS	2	I
LOI*	0.3		% TS	3	W
As	52.1	14.3	mg/kg TS	2	H
Ba	1720	128	mg/kg TS	2	E
Be	1.56	0.36	mg/kg TS	2	E
Cd	8.46	1.48	mg/kg TS	2	H
Co	21.5	3.2	mg/kg TS	2	E
Cr	361	49	mg/kg TS	2	E
Cu	10900	1560	mg/kg TS	2	E
Hg	<0.01		mg/kg TS	2	F
La*	16.1		mg/kg TS	2	A
Mo	14.2	4.5	mg/kg TS	2	E
Nb	6.22	5.33	mg/kg TS	2	E
Ni	147	21	mg/kg TS	2	E
Pb	1110	186	mg/kg TS	2	E
S*	6830		mg/kg TS	2	A
Sb*	228		mg/kg TS	2	A
Sc	1.83	1.32	mg/kg TS	2	E
Sn	141	32	mg/kg TS	2	E
Sr	446	31	mg/kg TS	2	E
V	46.4	8.3	mg/kg TS	2	E
W	<60		mg/kg TS	2	E
Y	15.2	1.9	mg/kg TS	2	E
Zn	3290	477	mg/kg TS	2	E
Zr	602	102	mg/kg TS	2	E
Cl*	0.2		%	4	I
Vikt hela provet:319,39g Vikt metall:24,79g					

Er beteckning 11 P14 vändschakt					
Labnummer U10199017					
Parameter	Resultat	Mätosäkerhet	Enhet	Metod	Utf
TS*	99.9		%	1	W
SiO ₂	38.7	3.1	% TS	2	E
Al ₂ O ₃	10.3	0.9	% TS	2	E
CaO	19.4	1.5	% TS	2	E
Fe ₂ O ₃	9.52	0.76	% TS	2	E
K ₂ O	1.93	0.16	% TS	2	E
MgO	2.50	0.20	% TS	2	E
MnO	0.200	0.019	% TS	2	E
Na ₂ O	3.52	0.28	% TS	2	E
P ₂ O ₅	1.07	0.15	% TS	2	E
TiO ₂	1.53	0.12	% TS	2	E
Summa*	88.7		% TS	2	I
LOI*	2.7		% TS	3	W
As	42.0	11.9	mg/kg TS	2	H
Ba	2680	198	mg/kg TS	2	E
Be	1.35	0.34	mg/kg TS	2	E
Cd	18.2	3.1	mg/kg TS	2	H
Co	39.7	8.2	mg/kg TS	2	H
Cr	772	103	mg/kg TS	2	E
Cu	6220	891	mg/kg TS	2	E
Hg	<0.01		mg/kg TS	2	F
La*	18.0		mg/kg TS	2	A
Mo	43.1	8.4	mg/kg TS	2	E
Nb	11.0	5.7	mg/kg TS	2	E
Ni	340	48	mg/kg TS	2	E
Pb	1470	245	mg/kg TS	2	E
S*	39800		mg/kg TS	2	A
Sb*	504		mg/kg TS	2	S
Sc	2.27	1.35	mg/kg TS	2	E
Sn	243	54	mg/kg TS	2	E
Sr	410	29	mg/kg TS	2	E
V	70.3	11.7	mg/kg TS	2	E
W	<60		mg/kg TS	2	E
Y	17.1	2.0	mg/kg TS	2	E
Zn	10600	1540	mg/kg TS	2	E
Zr	355	60	mg/kg TS	2	E
Cl*	2.8		%	4	1

Er beteckning		12. P14 flyg			
Labnummer		U10199018			
Parameter	Resultat	Mätosäkerhet	Enhet	Metod	Utf
TS*	99.8		%	1	W
SiO ₂	23.3	1.8	% TS	2	E
Al ₂ O ₃	14.7	1.3	% TS	2	E
CaO	27.5	2.1	% TS	2	E
Fe ₂ O ₃	7.65	0.61	% TS	2	E
K ₂ O	1.71	0.14	% TS	2	E
MgO	2.86	0.22	% TS	2	E
MnO	0.220	0.021	% TS	2	E
Na ₂ O	3.11	0.25	% TS	2	E
P ₂ O ₅	1.18	0.17	% TS	2	E
TiO ₂	1.70	0.13	% TS	2	E
Summa*	83.9		% TS	2	I
LOI*	9.7		% TS	3	W
As	30.4	9.5	mg/kg TS	2	H
Ba	2880	214	mg/kg TS	2	E
Be	1.22	0.32	mg/kg TS	2	E
Cd	39.8	7.1	mg/kg TS	2	H
Co	39.9	8.2	mg/kg TS	2	H
Cr	643	86	mg/kg TS	2	E
Cu	7190	1030	mg/kg TS	2	E
Hg	2.48	0.51	mg/kg TS	2	F
La*	16.2		mg/kg TS	2	A
Mo	41.8	8.2	mg/kg TS	2	E
Nb	12.1	5.9	mg/kg TS	2	E
Ni	311	44	mg/kg TS	2	E
Pb	2830	473	mg/kg TS	2	E
S*	28100		mg/kg TS	2	A
Sb*	351		mg/kg TS	2	S
Sc	2.84	1.38	mg/kg TS	2	E
Sn	214	48	mg/kg TS	2	E
Sr	439	31	mg/kg TS	2	E
V	62.7	10.6	mg/kg TS	2	E
W	<60		mg/kg TS	2	E
Y	16.2	2.0	mg/kg TS	2	E
Zn	11600	1680	mg/kg TS	2	E
Zr	238	40	mg/kg TS	2	E
Cl*	7.6		%	4	1

Er beteckning	13. Högdalen botten				
Labnummer	U10199019				
Parameter	Resultat	Mätosäkerhet	Enhet	Metod	Utf
TS*	100.0		%	1	W
SiO ₂	63.1	5.0	% TS	2	E
Al ₂ O ₃	12.9	1.1	% TS	2	E
CaO	10.5	0.8	% TS	2	E
Fe ₂ O ₃	3.95	0.32	% TS	2	E
K ₂ O	2.13	0.17	% TS	2	E
MgO	3.63	0.29	% TS	2	E
MnO	0.106	0.010	% TS	2	E
Na ₂ O	4.13	0.33	% TS	2	E
P ₂ O ₅	0.234	0.034	% TS	2	E
TiO ₂	0.775	0.061	% TS	2	E
Summa*	101.5		% TS	2	I
LOI*	0.6		% TS	3	W
As	62.2	16.4	mg/kg TS	2	H
Ba	1610	120	mg/kg TS	2	E
Be	2.86	0.53	mg/kg TS	2	E
Cd	2.10	0.39	mg/kg TS	2	H
Co	20.5	4.2	mg/kg TS	2	H
Cr	249	34	mg/kg TS	2	E
Cu	14200	2030	mg/kg TS	2	E
Hg	<0.01		mg/kg TS	2	F
La*	24.8		mg/kg TS	2	A
Mo	9.06	4.00	mg/kg TS	2	E
Nb	9.55	5.40	mg/kg TS	2	E
Ni	85.7	18.6	mg/kg TS	2	H
Pb	912	152	mg/kg TS	2	E
S*	2320		mg/kg TS	2	A
Sb*	120		mg/kg TS	2	S
Sc	3.47	1.34	mg/kg TS	2	E
Sn	105	24	mg/kg TS	2	E
Sr	431	30	mg/kg TS	2	E
V	50.6	8.8	mg/kg TS	2	E
W	<60		mg/kg TS	2	E
Y	21.5	2.4	mg/kg TS	2	E
Zn	2690	389	mg/kg TS	2	E
Zr	890	150	mg/kg TS	2	E
Cl*	0.2		%	4	I
Vikt hela provet:434,00 Vikt metall:19,40g					

Er beteckning 14. Högdalen vändschakt					
Labnummer U10199020					
Parameter	Resultat	Mätosäkerhet	Enhet	Metod	Utf
TS*	99.9		%	1	W
SiO ₂	43.8	3.5	% TS	2	E
Al ₂ O ₃	11.1	1.0	% TS	2	E
CaO	22.3	1.7	% TS	2	E
Fe ₂ O ₃	4.74	0.38	% TS	2	E
K ₂ O	1.66	0.14	% TS	2	E
MgO	8.32	0.65	% TS	2	E
MnO	0.182	0.017	% TS	2	E
Na ₂ O	1.93	0.16	% TS	2	E
P ₂ O ₅	0.352	0.051	% TS	2	E
TiO ₂	1.21	0.09	% TS	2	E
Summa*	95.6		% TS	2	I
LOI*	2.1		% TS	3	W
As	146	37	mg/kg TS	2	H
Ba	2030	150	mg/kg TS	2	E
Be	1.73	0.39	mg/kg TS	2	E
Cd	6.41	1.12	mg/kg TS	2	H
Co	35.3	7.1	mg/kg TS	2	H
Cr	415	56	mg/kg TS	2	E
Cu	2610	375	mg/kg TS	2	E
Hg	<0.01		mg/kg TS	2	F
La*	22.7		mg/kg TS	2	A
Mo	15.1	4.7	mg/kg TS	2	E
Nb	11.8	5.9	mg/kg TS	2	E
Ni	118	17	mg/kg TS	2	E
Pb	746	125	mg/kg TS	2	E
S*	18900		mg/kg TS	2	A
Sb*	219		mg/kg TS	2	S
Sc	4.97	1.44	mg/kg TS	2	E
Sn	134	30	mg/kg TS	2	E
Sr	442	31	mg/kg TS	2	E
V	77.3	12.8	mg/kg TS	2	E
W	<60		mg/kg TS	2	E
Y	18.9	2.2	mg/kg TS	2	E
Zn	5310	768	mg/kg TS	2	E
Zr	361	61	mg/kg TS	2	E
Cl*	0.9		%	4	I

Er beteckning		15. Högdalen flyg			
Labnummer		U10199021			
Parameter	Resultat	Mätosäkerhet	Enhet	Metod	Utf
TS*	100.0		%	1	W
SiO ₂	20.0	1.6	% TS	2	E
Al ₂ O ₃	12.0	1.1	% TS	2	E
CaO	32.6	2.5	% TS	2	E
Fe ₂ O ₃	3.55	0.28	% TS	2	E
K ₂ O	1.28	0.11	% TS	2	E
MgO	4.16	0.33	% TS	2	E
MnO	0.156	0.015	% TS	2	E
Na ₂ O	1.96	0.16	% TS	2	E
P ₂ O ₅	0.559	0.081	% TS	2	E
TiO ₂	2.40	0.19	% TS	2	E
Summa*	78.7		% TS	2	I
LOI*	6.6		% TS	3	W
As	68.4	17.9	mg/kg TS	2	H
Ba	2900	215	mg/kg TS	2	E
Be	1.21	0.33	mg/kg TS	2	E
Cd	44.1	7.6	mg/kg TS	2	H
Co	32.4	6.6	mg/kg TS	2	H
Cr	557	75	mg/kg TS	2	E
Cu	7630	1090	mg/kg TS	2	E
Hg	1.36	0.28	mg/kg TS	2	F
La*	15.1		mg/kg TS	2	A
Mo	23.3	5.6	mg/kg TS	2	E
Nb	15.5	6.1	mg/kg TS	2	E
Ni	156	22	mg/kg TS	2	E
Pb	4160	694	mg/kg TS	2	E
S*	60000		mg/kg TS	2	A
Sb*	389		mg/kg TS	2	S
Sc	2.95	1.38	mg/kg TS	2	E
Sn	145	33	mg/kg TS	2	E
Sr	549	38	mg/kg TS	2	E
V	52.8	9.2	mg/kg TS	2	E
W	<60		mg/kg TS	2	E
Y	20.0	2.3	mg/kg TS	2	E
Zn	8840	1280	mg/kg TS	2	E
Zr	281	47	mg/kg TS	2	E
Cl*	6.8		%	4	I

Er beteckning 16. Söderenergi botten					
Labnummer U10199022					
Parameter	Resultat	Mätosäkerhet	Enhet	Metod	Utf
TS*	80.8		%	1	W
SiO ₂	40.8	3.2	% TS	2	E
Al ₂ O ₃	15.8	1.4	% TS	2	E
CaO	24.0	1.8	% TS	2	E
Fe ₂ O ₃	4.74	0.38	% TS	2	E
K ₂ O	0.961	0.080	% TS	2	E
MgO	2.50	0.20	% TS	2	E
MnO	0.122	0.012	% TS	2	E
Na ₂ O	2.38	0.19	% TS	2	E
P ₂ O ₅	0.735	0.106	% TS	2	E
TiO ₂	2.11	0.17	% TS	2	E
Summa*	94.1		% TS	2	I
LOI*	1.5		% TS	3	W
As	22.0	8.0	mg/kg TS	2	H
Ba	3030	225	mg/kg TS	2	E
Be	1.57	0.37	mg/kg TS	2	E
Cd	0.765	0.197	mg/kg TS	2	H
Co	37.2	7.7	mg/kg TS	2	H
Cr	806	108	mg/kg TS	2	E
Cu	7350	1050	mg/kg TS	2	E
Hg	<0.01		mg/kg TS	2	F
La*	15.4		mg/kg TS	2	A
Mo	21.9	5.5	mg/kg TS	2	E
Nb	10.1	5.7	mg/kg TS	2	E
Ni	190	27	mg/kg TS	2	E
Pb	943	157	mg/kg TS	2	E
S*	4900		mg/kg TS	2	A
Sb*	112		mg/kg TS	2	S
Sc	2.09	1.37	mg/kg TS	2	E
Sn	131	30	mg/kg TS	2	E
Sr	632	44	mg/kg TS	2	E
V	54.9	9.5	mg/kg TS	2	E
W	<60		mg/kg TS	2	E
Y	19.6	2.3	mg/kg TS	2	E
Zn	2400	348	mg/kg TS	2	E
Zr	696	117	mg/kg TS	2	E
Cl*	0.2		%	4	1
Vikt hela provet:273,50g ikt metall:0,02g					

Er beteckning 17. Söderenergi flyg					
Labnummer U10199023					
Parameter	Resultat	Mätosäkerhet	Enhet	Metod	Utf
TS*	98.3		%	1	W
SiO ₂	23.3	1.8	% TS	2	E
Al ₂ O ₃	8.06	0.72	% TS	2	E
CaO	24.9	1.9	% TS	2	E
Fe ₂ O ₃	3.95	0.32	% TS	2	E
K ₂ O	3.52	0.28	% TS	2	E
MgO	2.38	0.19	% TS	2	E
MnO	0.126	0.012	% TS	2	E
Na ₂ O	5.61	0.45	% TS	2	E
P ₂ O ₅	0.796	0.115	% TS	2	E
TiO ₂	2.42	0.19	% TS	2	E
Summa*	75.1		% TS	2	I
LOI*	17.1		% TS	3	W
As	147	37	mg/kg TS	2	H
Ba	2260	168	mg/kg TS	2	E
Be	1.02	0.30	mg/kg TS	2	E
Cd	129	22	mg/kg TS	2	H
Co	42.4	8.6	mg/kg TS	2	H
Cr	605	81	mg/kg TS	2	E
Cu	2390	342	mg/kg TS	2	E
Hg	5.07	1.05	mg/kg TS	2	F
La*	14.6		mg/kg TS	2	A
Mo	34.8	7.1	mg/kg TS	2	E
Nb	14.3	6.1	mg/kg TS	2	E
Ni	121	17	mg/kg TS	2	E
Pb	7460	1250	mg/kg TS	2	E
S*	27600		mg/kg TS	2	A
Sb*	1600		mg/kg TS	2	S
Sc	<1		mg/kg TS	2	E
Sn	108	25	mg/kg TS	2	E
Sr	532	37	mg/kg TS	2	E
V	45.8	8.3	mg/kg TS	2	E
W	<60		mg/kg TS	2	E
Y	16.4	2.0	mg/kg TS	2	E
Zn	21800	3160	mg/kg TS	2	E
Zr	437	74	mg/kg TS	2	E
Cl*	12.0		%	4	1

Er beteckning 18. Linköping botten					
Labnummer U10199024					
Parameter	Resultat	Mätosäkerhet	Enhet	Metod	Utf
TS*	99.9		%	1	W
SiO ₂	55.3	4.4	% TS	2	E
Al ₂ O ₃	17.5	1.6	% TS	2	E
CaO	13.3	1.0	% TS	2	E
Fe ₂ O ₃	7.00	0.56	% TS	2	E
K ₂ O	3.13	0.25	% TS	2	E
MgO	1.94	0.15	% TS	2	E
MnO	0.224	0.021	% TS	2	E
Na ₂ O	3.46	0.28	% TS	2	E
P ₂ O ₅	0.486	0.070	% TS	2	E
TiO ₂	1.89	0.15	% TS	2	E
Summa*	104.2		% TS	2	I
LOI*	-1.9		% TS	3	W
As	68.3	18.0	mg/kg TS	2	H
Ba	2340	173	mg/kg TS	2	E
Be	1.84	0.39	mg/kg TS	2	E
Cd	0.482	0.157	mg/kg TS	2	H
Co	21.1	4.5	mg/kg TS	2	H
Cr	899	120	mg/kg TS	2	E
Cu	1360	194	mg/kg TS	2	E
Hg	<0.01		mg/kg TS	2	F
La*	29.4		mg/kg TS	2	A
Mo	7.09	3.90	mg/kg TS	2	E
Nb	14.7	5.9	mg/kg TS	2	E
Ni	147	21	mg/kg TS	2	E
Pb	73.0	12.9	mg/kg TS	2	H
S*	444		mg/kg TS	2	A
Sb*	15.3		mg/kg TS	2	S
Sc	4.58	1.37	mg/kg TS	2	E
Sn	24.4	9.2	mg/kg TS	2	E
Sr	419	29	mg/kg TS	2	E
V	49.5	8.7	mg/kg TS	2	E
W	<60		mg/kg TS	2	E
Y	22.7	2.5	mg/kg TS	2	E
Zn	1390	201	mg/kg TS	2	E
Zr	395	67	mg/kg TS	2	E
Cl*	0.1		%	4	I

Vikt hela provet: 215,78g Vikt metall: 4,48g

Er beteckning 19. Linköping cyklon					
Labnummer U10199025					
Parameter	Resultat	Mätosäkerhet	Enhet	Metod	Utf
TS*	99.5		%	1	W
SiO ₂	35.3	2.8	% TS	2	E
Al ₂ O ₃	15.9	1.4	% TS	2	E
CaO	11.8	0.9	% TS	2	E
Fe ₂ O ₃	3.87	0.31	% TS	2	E
K ₂ O	2.13	0.17	% TS	2	E
MgO	1.61	0.13	% TS	2	E
MnO	0.250	0.024	% TS	2	E
Na ₂ O	2.37	0.19	% TS	2	E
P ₂ O ₅	0.667	0.096	% TS	2	E
TiO ₂	1.68	0.13	% TS	2	E
Summa*	75.6		% TS	2	I
LOI*	23.5		% TS	3	W
As	143	36	mg/kg TS	2	H
Ba	1960	145	mg/kg TS	2	E
Be	1.18	0.32	mg/kg TS	2	E
Cd	3.84	0.68	mg/kg TS	2	H
Co	19.2	4.1	mg/kg TS	2	H
Cr	446	60	mg/kg TS	2	E
Cu	317	45	mg/kg TS	2	E
Hg	0.0697	0.0148	mg/kg TS	2	F
La*	21.4		mg/kg TS	2	A
Mo*	8.88		mg/kg TS	2	S
Nb	6.09	5.44	mg/kg TS	2	E
Ni	60.8	8.6	mg/kg TS	2	E
Pb	278	47	mg/kg TS	2	E
S*	4230		mg/kg TS	2	A
Sb*	25.1		mg/kg TS	2	S
Sc	3.73	1.38	mg/kg TS	2	E
Sn	<20		mg/kg TS	2	E
Sr	336	23	mg/kg TS	2	E
V	49.0	8.7	mg/kg TS	2	E
W	<60		mg/kg TS	2	E
Y	16.7	2.0	mg/kg TS	2	E
Zn	2360	342	mg/kg TS	2	E
Zr	196	33	mg/kg TS	2	E
Cl*	0.8		%	4	1

Er beteckning 20. Nynäshamn botten					
Labnummer U10199026					
Parameter	Resultat	Mätosäkerhet	Enhet	Metod	Utf
TS*	100.0		%	1	W
SiO ₂	68.2	5.4	% TS	2	E
Al ₂ O ₃	13.6	1.2	% TS	2	E
CaO	5.28	0.40	% TS	2	E
Fe ₂ O ₃	3.85	0.31	% TS	2	E
K ₂ O	4.00	0.32	% TS	2	E
MgO	1.73	0.14	% TS	2	E
MnO	0.125	0.012	% TS	2	E
Na ₂ O	4.42	0.35	% TS	2	E
P ₂ O ₅	0.169	0.025	% TS	2	E
TiO ₂	0.574	0.045	% TS	2	E
Summa*	101.9		% TS	2	I
LOI*	0.1		% TS	3	W
As	104	27	mg/kg TS	2	H
Ba	1180	87	mg/kg TS	2	E
Be	2.34	0.47	mg/kg TS	2	E
Cd	0.383	0.147	mg/kg TS	2	H
Co	12.2	2.5	mg/kg TS	2	H
Cr	308	42	mg/kg TS	2	E
Cu	1890	272	mg/kg TS	2	E
Hg	<0.01		mg/kg TS	2	F
La*	32.8		mg/kg TS	2	A
Mo	<6		mg/kg TS	2	E
Nb	8.37	5.58	mg/kg TS	2	E
Ni	24.3	5.4	mg/kg TS	2	H
Pb	1730	290	mg/kg TS	2	E
S*	620		mg/kg TS	2	A
Sb*	21.7		mg/kg TS	2	S
Sc	7.16	1.50	mg/kg TS	2	E
Sn	49.3	13.0	mg/kg TS	2	E
Sr	260	18	mg/kg TS	2	E
V	54.6	9.5	mg/kg TS	2	E
W	<60		mg/kg TS	2	E
Y	23.1	2.5	mg/kg TS	2	E
Zn	5760	834	mg/kg TS	2	E
Zr	302	51	mg/kg TS	2	E
Cl*	<0.1		%	4	I

Vikt hela provet:395,85g Vikt metall:13,07g

Er beteckning 21. Nynäshamn vändschakt					
Labnummer U10199027					
Parameter	Resultat	Mätosäkerhet	Enhet	Metod	Utf
TS*	100.0		%	1	W
SiO ₂	62.3	4.9	% TS	2	E
Al ₂ O ₃	12.0	1.1	% TS	2	E
CaO	9.01	0.68	% TS	2	E
Fe ₂ O ₃	3.39	0.27	% TS	2	E
K ₂ O	2.95	0.24	% TS	2	E
MgO	1.72	0.14	% TS	2	E
MnO	0.118	0.011	% TS	2	E
Na ₂ O	2.63	0.21	% TS	2	E
P ₂ O ₅	0.198	0.029	% TS	2	E
TiO ₂	2.77	0.22	% TS	2	E
Summa*	97.1		% TS	2	I
LOI*	2.3		% TS	3	W
As	79.0	20.5	mg/kg TS	2	H
Ba	4590	340	mg/kg TS	2	E
Be	1.70	0.37	mg/kg TS	2	E
Cd	2.80	0.50	mg/kg TS	2	H
Co	19.9	4.2	mg/kg TS	2	H
Cr	330	45	mg/kg TS	2	E
Cu	658	94	mg/kg TS	2	E
Hg	<0.01		mg/kg TS	2	F
La*	22.4		mg/kg TS	2	A
Mo	<6		mg/kg TS	2	E
Nb	19.2	6.3	mg/kg TS	2	E
Ni	64.6	9.2	mg/kg TS	2	E
Pb	604	101	mg/kg TS	2	E
S*	8450		mg/kg TS	2	A
Sb*	24.7		mg/kg TS	2	S
Sc	4.18	1.35	mg/kg TS	2	E
Sn	26.8	10.0	mg/kg TS	2	E
Sr	363	25	mg/kg TS	2	E
V	43.9	7.9	mg/kg TS	2	E
W	<60		mg/kg TS	2	E
Y	15.8	1.9	mg/kg TS	2	E
Zn	9890	1430	mg/kg TS	2	E
Zr	168	29	mg/kg TS	2	E
Cl*	0.1		%	4	1

2005-08-12

Er beteckning 22. Nynäshamn flyg					
Labnummer U10199028					
Parameter	Resultat	Mätosäkerhet	Enhet	Metod	Utf
TS*	99.7		%	1	W
SiO ₂	38.8	3.1	% TS	2	E
Al ₂ O ₃	8.21	0.73	% TS	2	E
CaO	22.3	1.7	% TS	2	E
Fe ₂ O ₃	3.14	0.25	% TS	2	E
K ₂ O	2.49	0.20	% TS	2	E
MgO	2.13	0.17	% TS	2	E
MnO	0.191	0.018	% TS	2	E
Na ₂ O	2.13	0.17	% TS	2	E
P ₂ O ₅	0.365	0.053	% TS	2	E
TiO ₂	2.85	0.22	% TS	2	E
Summa*	82.6		% TS	2	I
LOI*	12.4		% TS	3	W
As	392	88	mg/kg TS	2	E
Ba	3800	281	mg/kg TS	2	E
Be	1.81	0.39	mg/kg TS	2	E
Cd	20.8	3.6	mg/kg TS	2	H
Co	26.5	5.4	mg/kg TS	2	H
Cr	651	87	mg/kg TS	2	E
Cu	864	124	mg/kg TS	2	E
Hg	1.97	0.41	mg/kg TS	2	F
La*	17.1		mg/kg TS	2	A
Mo	7.34	4.11	mg/kg TS	2	E
Nb	17.2	6.3	mg/kg TS	2	E
Ni	68.8	15.4	mg/kg TS	2	H
Pb	1900	317	mg/kg TS	2	E
S*	19100		mg/kg TS	2	A
Sb*	63.7		mg/kg TS	2	S
Sc	3.56	1.39	mg/kg TS	2	E
Sn	24.6	9.1	mg/kg TS	2	E
Sr	430	30	mg/kg TS	2	E
V	51.6	9.1	mg/kg TS	2	E
W	<60		mg/kg TS	2	E
Y	14.7	1.9	mg/kg TS	2	E
Zn	12100	1750	mg/kg TS	2	E
Zr	149	25	mg/kg TS	2	E
Cl*	4.0		%	4	I

Er beteckning		23. P13 botten			
Labnummer		U10199029			
Parameter	Resultat	Mätosäkerhet	Enhet	Metod	Utf
TS*	100.8		%	1	W
SiO ₂	56.0	4.4	% TS	2	E
Al ₂ O ₃	6.66	0.59	% TS	2	E
CaO	23.4	1.8	% TS	2	E
Fe ₂ O ₃	3.21	0.26	% TS	2	E
K ₂ O	3.58	0.29	% TS	2	E
MgO	1.19	0.09	% TS	2	E
MnO	0.185	0.018	% TS	2	E
Na ₂ O	1.93	0.16	% TS	2	E
P ₂ O ₅	0.332	0.048	% TS	2	E
TiO ₂	0.215	0.017	% TS	2	E
Summa*	96.7		% TS	2	I
LOI*	3.5		% TS	3	W
As	13.5	6.6	mg/kg TS	2	H
Ba	742	55	mg/kg TS	2	E
Be	1.18	0.32	mg/kg TS	2	E
Cd	0.290	0.142	mg/kg TS	2	H
Co	52.0	10.8	mg/kg TS	2	H
Cr	63.9	11.4	mg/kg TS	2	E
Cu	144	21	mg/kg TS	2	E
Hg	<0.01		mg/kg TS	2	F
La*	16.8		mg/kg TS	2	A
Mo	<6		mg/kg TS	2	E
Nb	<6		mg/kg TS	2	E
Ni	18.0	4.0	mg/kg TS	2	H
Pb	94.8	16.2	mg/kg TS	2	E
S*	790		mg/kg TS	2	A
Sb*	8.94		mg/kg TS	2	S
Sc	1.93	1.37	mg/kg TS	2	E
Sn*	4.75		mg/kg TS	2	S
Sr	308	21	mg/kg TS	2	E
V	20.1	5.2	mg/kg TS	2	E
W	<60		mg/kg TS	2	E
Y	11.3	1.6	mg/kg TS	2	E
Zn	14800	2140	mg/kg TS	2	E
Zr	220	37	mg/kg TS	2	E
Cl*	<0.1		%	4	I

Vikt hela provet:486,00 Vikt metall:2,17g

2005 -08- 1 2

ISO/IEC 17025

Er beteckning	24. P13 flyg				
Labnummer	U10199030				
Parameter	Resultat	Mätosäkerhet	Enhet	Metod	Utf
TS*	100.3		%	1	W
SiO ₂	22.8	1.8	% TS	2	E
Al ₂ O ₃	3.69	0.33	% TS	2	E
CaO	42.2	3.2	% TS	2	E
Fe ₂ O ₃	9.69	0.78	% TS	2	E
K ₂ O	2.16	0.17	% TS	2	E
MgO	2.01	0.16	% TS	2	E
MnO	0.439	0.042	% TS	2	E
Na ₂ O	1.00	0.08	% TS	2	E
P ₂ O ₅	0.973	0.140	% TS	2	E
TiO ₂	0.218	0.017	% TS	2	E
Summa*	85.2		% TS	2	I
LOI*	7.6		% TS	3	W
As	26.3	8.5	mg/kg TS	2	H
Ba	820	61	mg/kg TS	2	E
Be	0.791	0.281	mg/kg TS	2	E
Cd	7.96	1.39	mg/kg TS	2	H
Co	124	25	mg/kg TS	2	H
Cr	101	15	mg/kg TS	2	E
Cu	317	45	mg/kg TS	2	E
Hg	0.137	0.029	mg/kg TS	2	F
La*	7.03		mg/kg TS	2	A
Mo	<6		mg/kg TS	2	E
Nb	<6		mg/kg TS	2	E
Ni	35.5	8.1	mg/kg TS	2	H
Pb	108	19	mg/kg TS	2	E
S*	32800		mg/kg TS	2	A
Sb*	17.3		mg/kg TS	2	S
Sc	1.70	1.35	mg/kg TS	2	E
Sn*	9.66		mg/kg TS	2	S
Sr	412	29	mg/kg TS	2	E
V	23.7	5.5	mg/kg TS	2	E
W	<60		mg/kg TS	2	E
Y	9.04	1.48	mg/kg TS	2	E
Zn	17200	2490	mg/kg TS	2	E
Zr	113	19	mg/kg TS	2	E
Cl*	0.3		%	4	I

2005-08-12

Er beteckning 25. Mälarenergi botten					
Labnummer U10199031					
Parameter	Resultat	Mätosäkerhet	Enhet	Metod	Utf
TS*	100.0		%	1	W
SiO ₂	74.0	5.9	% TS	2	E
Al ₂ O ₃	7.50	0.67	% TS	2	E
CaO	6.49	0.49	% TS	2	E
Fe ₂ O ₃	2.27	0.18	% TS	2	E
K ₂ O	2.92	0.23	% TS	2	E
MgO	0.928	0.073	% TS	2	E
MnO	0.159	0.015	% TS	2	E
Na ₂ O	1.63	0.13	% TS	2	E
P ₂ O ₅	0.345	0.050	% TS	2	E
TiO ₂	0.288	0.023	% TS	2	E
Summa*	96.5		% TS	2	I
LOI*	0.1		% TS	3	W
As	55.4	15.0	mg/kg TS	2	H
Ba	834	62	mg/kg TS	2	E
Be	1.64	0.38	mg/kg TS	2	E
Cd	0.237	0.142	mg/kg TS	2	H
Co	5.79	1.50	mg/kg TS	2	H
Cr	329	45	mg/kg TS	2	E
Cu	365	52	mg/kg TS	2	E
Hg	<0.5		mg/kg TS	2	H
La*	25.6		mg/kg TS	2	A
Mo	<6		mg/kg TS	2	E
Nb	<6		mg/kg TS	2	E
Ni	15.9	3.6	mg/kg TS	2	H
Pb	193	32	mg/kg TS	2	E
S*	1350		mg/kg TS	2	A
Sb*	4.15		mg/kg TS	2	S
Sc	3.14	1.40	mg/kg TS	2	E
Sn*	7.03		mg/kg TS	2	S
Sr	256	18	mg/kg TS	2	E
V	30.9	6.4	mg/kg TS	2	E
W	<60		mg/kg TS	2	E
Y	16.2	2.0	mg/kg TS	2	E
Zn	1450	210	mg/kg TS	2	E
Zr	112	19	mg/kg TS	2	E
Cl*	<0.1		%	4	1
Vikt hela provet: 387,54g Vikt metall: 1,92g					

Er beteckning	26. Mälarenergi flyg				
Labnummer	U10199032				
Parameter	Resultat	Mätosäkerhet	Enhet	Metod	Utf
TS*	99.9		%	1	W
SiO ₂	54.6	4.3	% TS	2	E
Al ₂ O ₃	10.2	0.9	% TS	2	E
CaO	13.8	1.0	% TS	2	E
Fe ₂ O ₃	5.26	0.42	% TS	2	E
K ₂ O	4.01	0.32	% TS	2	E
MgO	2.12	0.17	% TS	2	E
MnO	0.373	0.036	% TS	2	E
Na ₂ O	1.83	0.15	% TS	2	E
P ₂ O ₅	1.46	0.21	% TS	2	E
TiO ₂	0.999	0.078	% TS	2	E
Summa*	94.7		% TS	2	I
LOI*	2.0		% TS	3	W
As	104	27	mg/kg TS	2	H
Ba	1940	144	mg/kg TS	2	E
Be	3.40	0.62	mg/kg TS	2	E
Cd	6.36	1.12	mg/kg TS	2	H
Co	15.8	3.3	mg/kg TS	2	H
Cr	369	50	mg/kg TS	2	E
Cu	309	44	mg/kg TS	2	E
Hg	0.545	0.113	mg/kg TS	2	F
La*	65.7		mg/kg TS	2	A
Mo	12.0	4.4	mg/kg TS	2	E
Nb	9.67	5.70	mg/kg TS	2	E
Ni	58.5	13.1	mg/kg TS	2	H
Pb	1090	183	mg/kg TS	2	E
S*	15200		mg/kg TS	2	A
Sb*	17.5		mg/kg TS	2	S
Sc	7.19	1.52	mg/kg TS	2	E
Sn*	16.5		mg/kg TS	2	S
Sr	394	27	mg/kg TS	2	E
V	61.6	10.5	mg/kg TS	2	E
W	<60		mg/kg TS	2	E
Y	49.0	4.9	mg/kg TS	2	E
Zn	3510	509	mg/kg TS	2	E
Zr	247	42	mg/kg TS	2	E
Cl*	0.5		%	4	I

Er beteckning 27. Munksund botten					
Labnummer U10199033					
Parameter	Resultat	Mätosäkerhet	Enhet	Metod	Utf
TS*	100.0		%	1	W
SiO ₂	62.3	4.9	% TS	2	E
Al ₂ O ₃	11.3	1.0	% TS	2	E
CaO	10.7	0.8	% TS	2	E
Fe ₂ O ₃	2.76	0.22	% TS	2	E
K ₂ O	7.50	0.60	% TS	2	E
MgO	1.47	0.12	% TS	2	E
MnO	0.493	0.047	% TS	2	E
Na ₂ O	2.52	0.20	% TS	2	E
P ₂ O ₅	0.862	0.124	% TS	2	E
TiO ₂	0.252	0.020	% TS	2	E
Summa*	100.2		% TS	2	I
LOI*	0.2		% TS	3	W
As	29.0	9.1	mg/kg TS	2	H
Ba	1570	117	mg/kg TS	2	E
Be	1.74	0.39	mg/kg TS	2	E
Cd	0.179	0.133	mg/kg TS	2	H
Co	14.1	2.9	mg/kg TS	2	H
Cr	50.3	10.3	mg/kg TS	2	E
Cu	169	24	mg/kg TS	2	E
Hg	<0.01		mg/kg TS	2	F
La*	15.7		mg/kg TS	2	A
Mo	<6		mg/kg TS	2	E
Nb	<6		mg/kg TS	2	E
Ni	17.8	4.2	mg/kg TS	2	H
Pb	17.0	3.4	mg/kg TS	2	H
S*	903		mg/kg TS	2	A
Sb*	2.79		mg/kg TS	2	S
Sc	3.98	1.43	mg/kg TS	2	E
Sn	<20		mg/kg TS	2	E
Sr	451	31	mg/kg TS	2	E
V	23.8	5.6	mg/kg TS	2	E
W	<60		mg/kg TS	2	E
Y	13.7	1.8	mg/kg TS	2	E
Zn	2380	345	mg/kg TS	2	E
Zr	168	29	mg/kg TS	2	E
Cl*	<0.1		%	4	1
Vikt hela provet:367,54g Vikt 1,01g					

Er beteckning	28. Munksund flyg				
Labnummer	U10199034				
Parameter	Resultat	Mätosäkerhet	Enhet	Metod	Utf
TS*	100.2		%	1	W
SiO ₂	35.2	2.8	% TS	2	E
Al ₂ O ₃	9.10	0.81	% TS	2	E
CaO	27.2	2.1	% TS	2	E
Fe ₂ O ₃	2.63	0.21	% TS	2	E
K ₂ O	5.44	0.43	% TS	2	E
MgO	3.20	0.25	% TS	2	E
MnO	1.13	0.11	% TS	2	E
Na ₂ O	1.98	0.16	% TS	2	E
P ₂ O ₅	2.21	0.32	% TS	2	E
TiO ₂	0.439	0.034	% TS	2	E
Summa*	88.5		% TS	2	I
LOI*	9.1		% TS	3	W
As	20.1	7.6	mg/kg TS	2	H
Ba	2050	152	mg/kg TS	2	E
Be	1.03	0.31	mg/kg TS	2	E
Cd	13.8	2.4	mg/kg TS	2	H
Co	11.1	2.3	mg/kg TS	2	H
Cr	56.5	10.8	mg/kg TS	2	E
Cu	228	33	mg/kg TS	2	E
Hg	0.300	0.062	mg/kg TS	2	F
La*	11.7		mg/kg TS	2	A
Mo	<6		mg/kg TS	2	E
Nb	<6		mg/kg TS	2	E
Ni	27.4	3.9	mg/kg TS	2	E
Pb	118	20	mg/kg TS	2	E
S*	10500		mg/kg TS	2	A
Sb*	20.8		mg/kg TS	2	S
Sc	2.89	1.37	mg/kg TS	2	E
Sn	<20		mg/kg TS	2	E
Sr	728	51	mg/kg TS	2	E
V	23.8	5.5	mg/kg TS	2	E
W	<60		mg/kg TS	2	E
Y	10.7	1.6	mg/kg TS	2	E
Zn	2010	290	mg/kg TS	2	E
Zr	124	21	mg/kg TS	2	E
Cl*	1.5		%	4	I

Er beteckning 29. Braviken botten					
Labnummer U10199035					
Parameter	Resultat	Mätosäkerhet	Enhet	Metod	Utf
TS*	62.3		%	1	W
SiO ₂	30.6	2.4	% TS	2	E
Al ₂ O ₃	13.6	1.2	% TS	2	E
CaO	41.3	3.1	% TS	2	E
Fe ₂ O ₃	1.32	0.11	% TS	2	E
K ₂ O	0.665	0.059	% TS	2	E
MgO	5.07	0.40	% TS	2	E
MnO	0.106	0.010	% TS	2	E
Na ₂ O	0.601	0.054	% TS	2	E
P ₂ O ₅	0.241	0.035	% TS	2	E
TiO ₂	0.603	0.047	% TS	2	E
Summa*	94.1		% TS	2	I
LOI*	5.7		% TS	3	W
As	5.96	5.94	mg/kg TS	2	H
Ba	829	62	mg/kg TS	2	E
Be	1.61	0.37	mg/kg TS	2	E
Cd	0.161	0.136	mg/kg TS	2	H
Co	9.50	2.02	mg/kg TS	2	H
Cr	226	31	mg/kg TS	2	E
Cu	470	67	mg/kg TS	2	E
Hg	<0.01		mg/kg TS	2	F
La*	25.5		mg/kg TS	2	A
Mo	<6		mg/kg TS	2	E
Nb	<6		mg/kg TS	2	E
Ni	85.7	18.8	mg/kg TS	2	H
Pb	98.8	16.9	mg/kg TS	2	E
S*	27300		mg/kg TS	2	A
Sb*	5.36		mg/kg TS	2	S
Sc	1.83	1.39	mg/kg TS	2	E
Sn	<20		mg/kg TS	2	E
Sr	723	50	mg/kg TS	2	E
V	17.7	5.0	mg/kg TS	2	E
W	<60		mg/kg TS	2	E
Y	15.1	1.9	mg/kg TS	2	E
Zn	395	57	mg/kg TS	2	E
Zr	323	55	mg/kg TS	2	E
Cl*	<0.1		%	4	1

Er beteckning		30. Braviken elfilter			
Labnummer		U10199036			
Parameter	Resultat	Mätosäkerhet	Enhet	Metod	Utf
TS*	99.9		%	1	W
SiO ₂	26.0	2.1	% TS	2	E
Al ₂ O ₃	11.2	1.0	% TS	2	E
CaO	37.3	2.8	% TS	2	E
Fe ₂ O ₃	1.71	0.14	% TS	2	E
K ₂ O	1.33	0.11	% TS	2	E
MgO	4.50	0.35	% TS	2	E
MnO	0.197	0.019	% TS	2	E
Na ₂ O	0.887	0.074	% TS	2	E
P ₂ O ₅	0.413	0.060	% TS	2	E
TiO ₂	0.701	0.055	% TS	2	E
Summa*	84.2		% TS	2	I
LOI*	14.1		% TS	3	W
As	34.4	10.1	mg/kg TS	2	H
Ba	1520	113	mg/kg TS	2	E
Be	1.31	0.33	mg/kg TS	2	E
Cd	11.2	2.0	mg/kg TS	2	H
Co	11.9	1.8	mg/kg TS	2	E
Cr	237	33	mg/kg TS	2	E
Cu	618	89	mg/kg TS	2	E
Hg	0.324	0.075	mg/kg TS	2	F
La*	14.3		mg/kg TS	2	A
Mo	<6		mg/kg TS	2	E
Nb	<6		mg/kg TS	2	E
Ni	88.2	12.5	mg/kg TS	2	E
Pb	1810	302	mg/kg TS	2	E
S*	7880		mg/kg TS	2	A
Sb*	32.4		mg/kg TS	2	S
Sc	1.36	1.35	mg/kg TS	2	E
Sn	<20		mg/kg TS	2	E
Sr	695	48	mg/kg TS	2	E
V	20.9	5.3	mg/kg TS	2	E
W	<60		mg/kg TS	2	E
Y	13.3	1.8	mg/kg TS	2	E
Zn	2940	426	mg/kg TS	2	E
Zr	281	48	mg/kg TS	2	E
Cl*	1.3		%	4	1

Er beteckning	31. Eskilstuna botten				
Labnummer	U10199037				
Parameter	Resultat	Mätosäkerhet	Enhet	Metod	Utf
TS*	100.0		%	1	W
SiO ₂	73.1	5.8	% TS	2	E
Al ₂ O ₃	7.38	0.66	% TS	2	E
CaO	8.79	0.67	% TS	2	E
Fe ₂ O ₃	1.35	0.11	% TS	2	E
K ₂ O	5.39	0.43	% TS	2	E
MgO	1.04	0.08	% TS	2	E
MnO	0.345	0.033	% TS	2	E
Na ₂ O	1.67	0.13	% TS	2	E
P ₂ O ₅	0.675	0.097	% TS	2	E
TiO ₂	0.124	0.010	% TS	2	E
Summa*	99.9		% TS	2	I
LOI*	1.2		% TS	3	W
As	<10		mg/kg TS	2	H
Ba	1150	86	mg/kg TS	2	E
Be	1.12	0.31	mg/kg TS	2	E
Cd	0.307	0.143	mg/kg TS	2	H
Co	3.39	0.89	mg/kg TS	2	H
Cr	43.1	9.3	mg/kg TS	2	E
Cu	36.7	7.2	mg/kg TS	2	H
Hg	<0.01		mg/kg TS	2	F
La*	17.8		mg/kg TS	2	A
Mo	<6		mg/kg TS	2	E
Nb	<6		mg/kg TS	2	E
Ni	9.66	2.34	mg/kg TS	2	H
Pb	12.3	2.7	mg/kg TS	2	H
S*	532		mg/kg TS	2	A
Sb*	<0.5		mg/kg TS	2	S
Sc	2.05	1.36	mg/kg TS	2	E
Sn	<20		mg/kg TS	2	E
Sr	283	20	mg/kg TS	2	E
V	18.4	5.0	mg/kg TS	2	E
W	<60		mg/kg TS	2	E
Y	10.7	1.6	mg/kg TS	2	E
Zn	821	119	mg/kg TS	2	E
Zr	74.3	12.8	mg/kg TS	2	E
Cl*	<0.1		%	4	I

Er beteckning 32. Eskilstuna flyg					
Labnummer U10199038					
Parameter	Resultat	Mätosäkerhet	Enhet	Metod	Utf
TS*	100.2		%	1	W
SiO ₂	34.0	2.7	% TS	2	E
Al ₂ O ₃	4.67	0.42	% TS	2	E
CaO	32.3	2.5	% TS	2	E
Fe ₂ O ₃	1.85	0.15	% TS	2	E
K ₂ O	5.52	0.44	% TS	2	E
MgO	2.75	0.22	% TS	2	E
MnO	1.06	0.10	% TS	2	E
Na ₂ O	1.35	0.11	% TS	2	E
P ₂ O ₅	2.35	0.34	% TS	2	E
TiO ₂	0.187	0.015	% TS	2	E
Summa*	86.0		% TS	2	I
LOI*	11.7		% TS	3	W
As	<5		mg/kg TS	2	H
Ba	1470	109	mg/kg TS	2	E
Be	0.662	0.275	mg/kg TS	2	E
Cd	12.2	2.2	mg/kg TS	2	H
Co	9.08	1.92	mg/kg TS	2	H
Cr	47.3	9.6	mg/kg TS	2	E
Cu	74.0	14.4	mg/kg TS	2	H
Hg	0.368	0.076	mg/kg TS	2	F
La*	12.9		mg/kg TS	2	A
Mo	<6		mg/kg TS	2	E
Nb	<6		mg/kg TS	2	E
Ni	26.0	5.7	mg/kg TS	2	H
Pb	140	26	mg/kg TS	2	H
S*	16000		mg/kg TS	2	A
Sb*	2.66		mg/kg TS	2	S
Sc	2.67	1.35	mg/kg TS	2	E
Sn	<20		mg/kg TS	2	E
Sr	512	36	mg/kg TS	2	E
V	26.4	5.8	mg/kg TS	2	E
W	<60		mg/kg TS	2	E
Y	11.3	1.6	mg/kg TS	2	E
Zn	1290	187	mg/kg TS	2	E
Zr	88.1	15.1	mg/kg TS	2	E
Cl*	0.6		%	4	1

2005 -08- 1 2

	Metod
1	Analys enligt SS 02 81 13-1.
2	Vid analys As, Cd, Cu, Co, Hg, Ni, Pb, Sb, Se och S gäller: Analysprov har torkats vid 50°C och elementhalterna har TS-korrigerats till 105°C. Upplösning har skett enligt ASTM D3683 (modifierad). För övriga grundämnen har upplösning skett enligt ASTM D3682 (LiBO ₂ - smälta) . Analys har skett enligt EPA -metoder (modifierade) 200.7 (ICP-AES) och 200.8 (ICP-QMS/SFMS).
3	Analys enligt egen metod. LOI har utförts vid 1000°C.
4	Analys enligt XRF.

	Utf ¹
A	ICP-AES
E	ICP-AES
F	AFS
H	ICP-SFMS
I	Man.Inm.
S	ICP-SFMS
W	Våtkemi
I	Mätning utförd av Boliden Mineral, Rönnskärsverken, Centrallaboratoriet, 932 81 Skelleftehamn.

* efter parameternamn indikerar icke ackrediterad analys.

Mätosäkerheten anges som en utvidgad osäkerhet (enligt definitionen i "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement", ISO, Geneva, Switzerland 1993) beräknad med täckningsfaktor lika med 2 vilket ger en konfidensnivå på ungefär 95%.

Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte utfärdande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat.
Resultaten gäller endast det identifierade, mottagna och provade materialet.
Beträffande laboratoriets ansvar i samband med uppdrag, se aktuell produktkatalog eller vår webbplats www.analytica.se

¹ Utförande teknisk enhet (inom Analytica) eller anlitat laboratorium (underleverantör).

Projekt

2005-08-26

SGI

Johanna Lindeberg

Registrerad 2005-08-17

Utfärdad 2005-08-24

Olaus Magnus väg 35

581 93 Linköping

Sverige

Analys: MG2-AM

Er beteckning	Lidköping 2 bottenaska				
Labnummer	U10208052				
Parameter	Resultat	Mätosäkerhet	Enhet	Metod	Utf
TS*	100.0		%	1	W
SiO ₂	61.3	4.9	% TS	2	E
Al ₂ O ₃	9.60	0.85	% TS	2	E
CaO	10.4	0.8	% TS	2	E
Fe ₂ O ₃	6.45	0.52	% TS	2	E
K ₂ O	2.61	0.21	% TS	2	E
MgO	1.63	0.13	% TS	2	E
MnO	0.100	0.010	% TS	2	E
Na ₂ O	5.25	0.42	% TS	2	E
P ₂ O ₅	0.478	0.069	% TS	2	E
TiO ₂	0.833	0.065	% TS	2	E
Summa*	98.7		% TS	2	I
LOI*	1.0		% TS	3	W
As	64.2	17.0	mg/kg TS	2	H
Ba	1550	115	mg/kg TS	2	E
Be	1.69	0.37	mg/kg TS	2	E
Cd	1.35	0.27	mg/kg TS	2	H
Co	25.1	5.9	mg/kg TS	2	H
Cr	586	79	mg/kg TS	2	E
Cu	3850	552	mg/kg TS	2	E
Hg	<0.01		mg/kg TS	2	F
La*	12.5		mg/kg TS	2	A
Mo	19.1	5.0	mg/kg TS	2	E
Nb	6.62	5.24	mg/kg TS	2	E
Ni	180	43	mg/kg TS	2	H
Pb	674	126	mg/kg TS	2	H
S*	5040		mg/kg TS	2	A
Sb*	227		mg/kg TS	2	S
Sc	<1		mg/kg TS	2	E
Sn	191	42	mg/kg TS	2	E
Sr	407	28	mg/kg TS	2	E
V	34.4	6.7	mg/kg TS	2	E
W	70.6	19.5	mg/kg TS	2	E
Y	14.0	1.8	mg/kg TS	2	E
Zn	2900	419	mg/kg TS	2	E
Zr	329	56	mg/kg TS	2	E
Cl*	0.8		%	4	I
Vikt på icke krossbart material 3,55 g					

INKOM SGI

2005 -08- 2 6

Er beteckning Lidköping 2 flygaska					
Labnummer U10208053					
Parameter	Resultat	Mätosäkerhet	Enhet	Metod	Utf
TS*	98.0		%	1	W
SiO ₂	8.49	0.67	% TS	2	E
Al ₂ O ₃	5.10	0.45	% TS	2	E
CaO	40.9	3.1	% TS	2	E
Fe ₂ O ₃	1.22	0.10	% TS	2	E
K ₂ O	3.79	0.30	% TS	2	E
MgO	2.06	0.16	% TS	2	E
MnO	0.0907	0.0087	% TS	2	E
Na ₂ O	4.85	0.39	% TS	2	E
P ₂ O ₅	1.29	0.19	% TS	2	E
TiO ₂	0.542	0.042	% TS	2	E
Summa*	68.3		% TS	2	I
LOI*	12.7		% TS	3	W
As	57.4	13.7	mg/kg TS	2	E
Ba	1270	94	mg/kg TS	2	E
Be	0.617	0.273	mg/kg TS	2	E
Cd	71.6	13.2	mg/kg TS	2	H
Co	15.8	3.8	mg/kg TS	2	H
Cr	234	32	mg/kg TS	2	E
Cu	9160	1310	mg/kg TS	2	E
Hg	13.2	4.5	mg/kg TS	2	H
La*	7.43		mg/kg TS	2	A
Mo	7.88	4.09	mg/kg TS	2	E
Nb	<6		mg/kg TS	2	E
Ni	56.9	14.0	mg/kg TS	2	H
Pb	4480	814	mg/kg TS	2	H
S*	19400		mg/kg TS	2	A
Sb*	323		mg/kg TS	2	S
Sc	<1		mg/kg TS	2	E
Sn	149	33	mg/kg TS	2	E
Sr	353	25	mg/kg TS	2	E
V	12.2	4.6	mg/kg TS	2	E
W	<60		mg/kg TS	2	E
Y	10.5	1.6	mg/kg TS	2	E
Zn	9780	1420	mg/kg TS	2	E
Zr	80.6	13.9	mg/kg TS	2	E
Cl*	22.9		%	4	I

Er beteckning Umeå bottenaska					
Labnummer U10208054					
Parameter	Resultat	Mätosäkerhet	Enhet	Metod	Utf
TS*	86.0		%	1	W
SiO ₂	47.5	3.8	% TS	2	E
Al ₂ O ₃	13.5	1.2	% TS	2	E
CaO	14.2	1.1	% TS	2	E
Fe ₂ O ₃	10.5	0.8	% TS	2	E
K ₂ O	1.66	0.13	% TS	2	E
MgO	2.97	0.23	% TS	2	E
MnO	0.140	0.013	% TS	2	E
Na ₂ O	4.48	0.36	% TS	2	E
P ₂ O ₅	1.01	0.15	% TS	2	E
TiO ₂	1.46	0.11	% TS	2	E
Summa*	97.4		% TS	2	I
LOI*	1.3		% TS	3	W
As	56.1	15.1	mg/kg TS	2	H
Ba	2090	155	mg/kg TS	2	E
Be	1.66	0.39	mg/kg TS	2	E
Cd	5.51	1.01	mg/kg TS	2	H
Co	35.9	7.6	mg/kg TS	2	H
Cr	593	80	mg/kg TS	2	E
Cu	17300	2470	mg/kg TS	2	E
Hg	0.0842	0.0178	mg/kg TS	2	F
La*	9.75		mg/kg TS	2	A
Mo	16.8	4.8	mg/kg TS	2	E
Nb	7.17	5.36	mg/kg TS	2	E
Ni	135	30	mg/kg TS	2	H
Pb	733	130	mg/kg TS	2	H
S*	4300		mg/kg TS	2	A
Sb*	61.3		mg/kg TS	2	S
Sc	4.97	1.38	mg/kg TS	2	E
Sn	197	44	mg/kg TS	2	E
Sr	384	27	mg/kg TS	2	E
V	78.4	12.9	mg/kg TS	2	E
W	<60		mg/kg TS	2	E
Y	15.9	1.9	mg/kg TS	2	E
Zn	4240	614	mg/kg TS	2	E
Zr	266	45	mg/kg TS	2	E
Cl*	1.1		%	4	I

Vikt på icke krossbart material 4,59 g

	Metod
1	Analys enligt SS 02 81 13-1.
2	Vid analys As, Cd, Cu, Co, Hg, Ni, Pb, Sb, Se och S gäller: Analysprov har torkats vid 50°C och elementhalterna har TS-korrigerats till 105°C. Upplösning har skett enligt ASTM D3683 (modifierad). För övriga grundämnen har upplösning skett enligt ASTM D3682 (LiBO ₂ -smälta). Analys har skett enligt EPA –metoder (modifierade) 200.7 (ICP-AES) och 200.8 (ICP-QMS/SFMS).
3	Analys enligt egen metod. LOI har utförts vid 1000°C.
4	Analys enligt XRF.

	Utf ¹
A	ICP-AES
E	ICP-AES
F	AFS
H	ICP-SFMS
I	Man.Inm.
S	ICP-SFMS
W	Våtkemi
I	Mätning utförd av Boliden Mineral, Rönnskärsverken, Centrallaboratoriet, 932 81 Skelleftehamn.

* efter parameternamn indikerar icke ackrediterad analys.

Mätosäkerheten anges som en utvidgad osäkerhet (enligt definitionen i "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement", ISO, Geneva, Switzerland 1993) beräknad med täckningsfaktor lika med 2 vilket ger en konfidensnivå på ungefär 95%.

Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte utfärdande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat.

Resultaten gäller endast det identifierade, mottagna och provade materialet.

Beträffande laboratoriets ansvar i samband med uppdrag, se aktuell produktkatalog eller vår webbplats www.analytica.se

¹ Utförande teknisk enhet (inom Analytica) eller anlitat laboratorium (underleverantör).

C INSAMLADE BRÄNSLEANALYSER

C INSAMLADE BRÄNSLEANALYSER

		Bark	Bränslekross-pellets																			
		Ln	Sö1	Sö2	Sö3	Sö4	Sö5	Sö6	Sö7	Sö8	Sö9	Sö10	Sö11	Sö12	Sö13	Sö14	Sö15	Sö16	Sö17	Sö18	Sö19	Sö20
askhalt	% TS	5,7																				
TS	%	45,4	95,8	96,1	95,0	96,4	96,0	96,6	96,7	91,1	96,5	96,6	96,9	91,6	96,3	96,6	95,6	88,5	95,1	96,8	96,4	89,1
Si	mg/kg TS	13722																				
Al	mg/kg TS	2950	3160	3230	8360	5420	2610	3090	3050	3170	2070	4110	2800	2400	3190	3160	2810	2050	3930	4330	4450	1570
Ca	mg/kg TS	8070																				
Fe	mg/kg TS	1150																				
K	mg/kg TS	2570																				
Mg	mg/kg TS	930																				
Mn	mg/kg TS	500	125	92	82	98	129	108	100	48	93	123	92	63	92	84	107	69	138	108	110	61
Na	mg/kg TS	960																				
P	mg/kg TS	540																				
Ti	mg/kg TS	130																				
As	mg/kg TS	0,19	15,30	0,78	0,83	0,98	1,09	0,84	0,90	1,50	0,82	1,27	0,78	4,24	0,78	0,80	0,85	3,42	1,29	0,97	0,94	1,57
Ba	mg/kg TS	130																				
Be	mg/kg TS																					
Cd	mg/kg TS	0,53	0,60	3,80	0,62	0,72	0,62	1,01	0,54	3,70	0,55	0,66	0,69	7,15	0,88	1,77	0,86	3,16	0,82	0,98	1,95	1,98
Co	mg/kg TS	0,48	3,09	2,40	2,30	2,83	2,55	2,70	2,40	2,30	4,03	6,25	2,41	3,07	2,42	5,85	4,03	2,75	3,20	2,81	2,25	2,71
Cr	mg/kg TS	6,2	38,6	29,0	50,0	23,6	21,5	32,4	19,0	47,0	25,4	38,1	18,9	93,0		42,7	24,0	55,6	34,8	36,8	26,3	45,4
Cu	mg/kg TS	0,48	92	138	1620	102	2510	2860	1810	1920	532	89	2150	67	155	4460	77	87	82	1040	612	920
Hg	mg/kg TS	0,04	0,21	0,18	0,22	0,22	0,20	0,21	1,00	0,21	0,21	0,18	0,26	0,21	0,74	0,22	0,22	0,22	0,74	0,15	0,32	0,20
La	mg/kg TS																					
Mo	mg/kg TS	<0,4																				
Nb	mg/kg TS																					
Ni	mg/kg TS	2,3	19,7	13,0	14,0	17,7	10,8	13,8	20,0	9,3	10,2	13,7	6,6	5,5	12,9	9,7	10,4	9,2	11,0	12,0	10,4	4,6
Pb	mg/kg TS	3,6	185	147	135	113	209	253	135	179	121	153	119	258	87	208	105	244	85	138	125	184
S	mg/kg TS	300	1900	2100	2100	2900	2400	2600	2200	3000	2200	2000	2300	3500	2000	1800	2400	3300	2600	2400	2300	3400
Sb	mg/kg TS		17,9	26,0	3,5	29,2	25,8	26,9	28,0	12,0	13,8	155,0	19,6	18,5	10,1	26,1	21,3	58,2	17,9	57,0	24,0	160,0
Sc	mg/kg TS																					
Sn	mg/kg TS																					
Sr	mg/kg TS																					
V	mg/kg TS	2,2	3,54	3,10	3,80	4,20	3,16	3,23	2,80	3,80	2,74	4,45	2,61	3,25	2,90				3,10	3,50	2,90	3,03
W	mg/kg TS																					
Y	mg/kg TS																					
Zn	mg/kg TS	104	262	235	678	351	307	264	259	201	287	246	372	498	256	295	296	470	416	3900	310	344
Zr	mg/kg TS																					
Cl	mg/kg TS	<100	3000	3200	2800	3200	2900	3400	3100	4100	2800	3200	2900	4400	4000	7200	7700	13100	5100	7100	9100	20300
Bor, B	mg/kg TS																					

		Bränslekross-pellets				DIP- rejekt	DIP- slam	Industriavfall																
		Sö21	Sö22	Sö23	Sö24	Bra 000922	Bra 030824	Hö1	Hö2	Hö3	Hö4	Hö5	Hö6	Hö7	Hö8	Hö9	Hö10	Hö11	Hö12	Hö13	Hö14	Hö15	Hö16	Hö17
askhalt	% TS					6,2	55,8	11,1	7,7	9,2	9,4	13,8	8,0	7,8	9,2	11,9	15,3	11,1	2,1	10,9	13,5	9,3	16,7	11,1
TS	%	95,8	96,6	95,0	88,2	24	57,7																	
Si	mg/kg TS					10900	62332	17427	11319	17664	17484	17664	9680	10530	11040	18207	34272	22755	2247	13298	19440	12927	29559	19758
Al	mg/kg TS	3350	9290	7960	8480	4000	34868	9291	6276	5345	5508	6665	3104	4306	5916	7676	7696	7626	831,6	6409	7979	4827	9686	5417
Ca	mg/kg TS					7500	128571	17649	12705	12236	13724	28428	14960	12948	17940	20944	15759	16095	3612	22236	24975	17298	26720	19203
Fe	mg/kg TS					1100	3734	2276	1586	2263	2510	2070	2096	1342	2346	1940	3519	2298	361,2	1744	2228	1479	5912	2886
K	mg/kg TS					240	2158	1887	1286	1987	1936	1325	1216	1225	1435	1440	2739	2176	518,7	1101	2592	1432	2655	1698
Mg	mg/kg TS					<150	13012	1721	1163	1619	1513	2208	1224	1240	1628	1999	2081	1820	535,5	1842	1931	3218	2672	1598
Mn	mg/kg TS	97	144	167	100	25	104	122,1	107,8	165,6	94	124,2	120	78	119,6	416,5	107,1	122,1	102,9	109	121,5	1032	267,2	155,4
Na	mg/kg TS					3900	2356	3108	1733	2236	2745	2567	1776	1568	2291	2648	4269	2708	663,6	2540	2943	2427	5027	4706
P	mg/kg TS						289	255,3	161,7	331,2	347,8	276	192	171,6	276	238	459	599,4	77,7	196,2	418,5	195,3	450,9	444
Ti	mg/kg TS						1102	1920	2033	1454	940	1021	1040	865,8	1628	1845	1193	1110	1035	1330	1269	1116	1603	1166
As	mg/kg TS	0,84	1,01	0,964	2,68	0,82	<10	39	21	110	13	9	62	53	24	9	35	34	11	9	11	8	12	9
Ba	mg/kg TS					1300	108	277,5	161,7	156,4	178,6	96,6	128	234	276	261,8	504,9	177,6	113,4	239,8	148,5	232,5	400,8	532,8
Be	mg/kg TS																							
Cd	mg/kg TS	0,49	2,21	0,632	2,39	0,3	0,1	0,9	0,4	0,3	0,4	0,4	0,7	0,5	1,4	0,5	2,3	1,2	0,5	1,8	1,2	1,0	4,0	2,0
Co	mg/kg TS	2,88	3,05	2,8	3,8	<1,5	1,6																	
Cr	mg/kg TS	31,2	24,7	23,0	40,2	3,8	32	49	40	360	40	24	92	76	48	25	164	46	14	27	22	22	56	34
Cu	mg/kg TS	4120	152	551	351	19	216	120	79	240	90	65	52	60	370	185	3400	78	17	61	1900	175	200	54
Hg	mg/kg TS	0,21	0,254	0,214	0,225	0,06	0,02	0,14	0,07	0,10	0,09	0,06	0,07	0,09	0,06	0,06	0,14	0,10	0,03	0,06	0,13	0,05	0,30	0,07
La	mg/kg TS																							
Mo	mg/kg TS					<9	1																	
Nb	mg/kg TS																							
Ni	mg/kg TS	10,7	59,0	11,1	67,4	<2,4	5,3	6,6	14	9	7,9	6,9	4	6	6	7	84	7	1	5	5	15	35	9
Pb	mg/kg TS	117	93	132	146	11	8,6	133	38	49	89	70	35	190	33	64	820	70	18	116	33	80	190	180
S	mg/kg TS	2200	2400	2400	3000	180	120																	
Sb	mg/kg TS	12,6	11,9	17,9	17,7																			
Sc	mg/kg TS																							
Sn	mg/kg TS																							
Sr	mg/kg TS																							
V	mg/kg TS	3,46	2,89	3,61	3,44	<9	7,6																	
W	mg/kg TS																							
Y	mg/kg TS																							
Zn	mg/kg TS	384	287	269	401	870	84	330	290	350	410	270	230	200	339	790	4900	284	303	199	460	500	1150	410
Zr	mg/kg TS																							
Cl	mg/kg TS	10700	8200	10000	19300	740	40																	
Bor, B	mg/kg TS																							

		Industriavfall																									
		Hö18	Hö19	Hö20	Hö21	Hö22	Hö23	Hö24	Hö25	Hö26	Hö27	Hö28	Hö29	Sö1	Sö2	Sö3	Sö4	Sö5	Sö6	Sö7	Sö8	Sö9	Sö10	Sö11	Sö12	Sö13	Sö14
askhalt	% TS	8,6	13,8	9,6	10,0	7,5	10,1	7,8	6,1	10,7	6,3	9,7	9,2														
TS	%													81,2	77,0	73,8	77,4	78,8	68,5	80,0	77,7	74,7	81,3	74,7	62,4	88,1	85,6
Si	mg/kg TS	13244	16560	13152	11600	11625	15352	12168	7076	12840	8946	12222	6780														
Al	mg/kg TS	4111	5437	5741	5810	4275	4565	4235	2397	6762	3080,7	6053	2732	3080	4750	2400	1780	2130	1830	1430	1640	3060	5950	1740	3020	802	1230
Ca	mg/kg TS	16254	29670	16224	18900	12375	14948	12870	9699	20865	10206	16878	7664														
Fe	mg/kg TS	1359	1863	3226	3510	1313	1687	1396	878,4	1787	768,6	5209	1159														
K	mg/kg TS	1453	1518	1286	1510	1628	1747	1466	854	1391	1008	1116	718														
Mg	mg/kg TS	1514	3671	1507	2340	1313	1788	1849	988,2	1926	900,9	1494	920														
Mn	mg/kg TS	86	96,6	115,2	100	82,5	80,8	101,4	61	74,9	107,1	155,2	64,4	72	99	210	78	103	116	56	76	97	73	74	134	22	60
Na	mg/kg TS	1961	2415	1843	2030	1853	1808	1825	1287	1584	1675,8	1979	920														
P	mg/kg TS	223,6	207	278,4	320	172,5	262,6	358,8	97,6	224,7	132,3	232,8	248														
Ti	mg/kg TS	1204	1518	1046	7870	945	1848	1466	854	1905	756	1145	846														
As	mg/kg TS	14	12	2	15	22	14	6	56	3	16	3	34	3,5	0,9	2,5	3,0	57,1	25,2	0,2	4,7	2,6	0,2	13,0	24,0	0,3	18,1
Ba	mg/kg TS	129	234,6	182,4	230	82,5	363,6	171,6	183	385,2	88,2	261,9	101														
Be	mg/kg TS																										
Cd	mg/kg TS	0,6	0,9	0,3	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	20,0	9,0	1,0	0,4	2,0	7,6	0,2	0,6	1,2	0,8	0,1	3,9	6,2	0,3	3,4	0,1	1,9
Co	mg/kg TS													2,7	2,3	3,3	2,0	1,8	3,5	1,4	1,3	2,9	1,2	2,2	3,2	0,2	1,1
Cr	mg/kg TS	49	30	17	73	44	30	22	120	16	33	35	51	18,5	21,1	30,4	11,4	64,2	45,9	4,9	17,0	13,0	11,0	25,0	46,0	2,5	18,1
Cu	mg/kg TS	31	980	1440	58	57	4460	200	2000	51	2030	1260	340	35	4800	54	79	120	74	33	17	25	28	27	75	4	32
Hg	mg/kg TS	0,04	0,04	1,28	0,18	0,10	0,09	0,07	0,09	0,24	0,08	0,33	0,10	0,45	8,51	0,23	0,18	0,19	0,10	0,36	0,07	0,13	0,15	0,22	0,25	0,02	0,34
La	mg/kg TS																										
Mo	mg/kg TS																										
Nb	mg/kg TS																										
Ni	mg/kg TS	8	11	10	6	4	5	3	5	12	7	150	8	5,3	4,4	6,7	3,4	8,9	7,7	2,4	3,8	3,7	4,5	3,5	27,0	1,5	2,1
Pb	mg/kg TS	42	91	140	53	55	260	65	60	95	79	190	53	109	27	136	53	45	76	68	32	51	31	60	112	4	142
S	mg/kg TS													2800	4600	3500	2600	1600	1800	1400	4400	2400	2800	1700	1600	600	7800
Sb	mg/kg TS													4,4	5,4	45,1	1,8	1,2	1,4	0,8	2,3	38,0	1,1	2,1	5,2	<10	3,6
Sc	mg/kg TS																										
Sn	mg/kg TS																										
Sr	mg/kg TS																										
V	mg/kg TS													3,7	4,7	6,8	2,4	3,7	3,6	1,9	4,0	1,9	2,4	2,1	6,0	0,7	1,9
W	mg/kg TS																										
Y	mg/kg TS																										
Zn	mg/kg TS	300	400	540	250	140	360	360	370	470	450	830	390	145	155	435	177	609	704	418	79	370	93	242	771	20	543
Zr	mg/kg TS																										
Cl	mg/kg TS													1800	3700	5700	1500	2200	2200	1400	1400	2700	1800	2000	1200	400	2100
Bor, B	mg/kg TS																										

		Industriavfall																											
		Sö15	Sö16	Sö17	Sö18	Sö19	Sö20	Sö21	Sö22	Sö23	Sö24	Sö25	Sö26	Sö27	Sö28	Sö29	Sö30	Sö31	Sö32	Sö33	Sö34	Sö35	Sö36	Sö37	Sö38	Sö39	Sö40	Sö41	Sö42
askhalt	% TS	77,5	77,9	80,2	77,2	85,1	78,9	77,6	75,6	78,4	85,8	83,7	71,1	81,5	80,0	86,4	79,3	86,9	77,9	80,5	85,3	86,5	75,0	83,4	73,8	74,2	75,7	76,5	82,6
TS	%																												
Si	mg/kg TS	1470	1300	1160	1730	1660	1450	1120	1640	1340	3400	2110	2580	1310	854	2590	2840	4250	3230	3460	719	1860	1150	1660	2500	2370	1110	1900	1700
Al	mg/kg TS																												
Ca	mg/kg TS																												
Fe	mg/kg TS																												
K	mg/kg TS																												
Mg	mg/kg TS																												
Mn	mg/kg TS	90	102	71	101	67	83	59	130	104	356	85	124	90	100	354	100	68	168	76	61	181	121	83	137	104	97	213	72
Na	mg/kg TS																												
P	mg/kg TS																												
Ti	mg/kg TS																												
As	mg/kg TS	21,7	4,8	0,7	1,9	1,9	1,1	4,6	5,5	87,0	11,0	1,1	633,0	78,0	61,7	15,4	1,1	0,3	3,3	0,9	48,7	169,0	1,3	1,3	3,4	10,6	13,8	16,0	20,9
Ba	mg/kg TS																												
Be	mg/kg TS																												
Cd	mg/kg TS	3,5	0,6	0,5	0,6	1,4	0,2	0,3	1,1	0,7	12,0	3,6	0,8	0,2	0,3	4,5	0,6	0,6	2,4	0,2	0,2	1,5	0,3	0,3	0,7	0,7	0,5	2,3	1,2
Co	mg/kg TS	1,6	3,3	2,1	1,3	1,4	1,2	4,3	3,4	1,4	8,3	2,7	3,8	1,0	1,7	6,9	4,7	0,9	6,9	2,2	1,4	4,6	1,2	5,0	3,2	5,7	1,4	5,1	1,8
Cr	mg/kg TS	31,5	30,1	9,8	13,3	36,0	17,0	15,0	19,0	125,0	56,0	8,4	630,0	97,6	78,2	52,5	18,8	10,1	30,6	7,6	53,3	151,0	5,7	10,6	21,4	31,1	21,0	47,8	45,9
Cu	mg/kg TS	4240	54	5210	28	90	32	30	98	103	432	24	507	136	68	225	28	20	103	20	278	312	15	21	75	60	5440	188	24
Hg	mg/kg TS	0,07	0,18	0,16	0,16	0,21	0,19	0,11	0,69	0,11	1,10	0,21	0,53	0,21	0,29	0,49	0,25	0,07	0,49	0,34	0,11	0,22	0,06	0,12	0,25	0,14	0,12	0,49	0,20
La	mg/kg TS																												
Mo	mg/kg TS																												
Nb	mg/kg TS																												
Ni	mg/kg TS	3,0	7,1	3,2	3,8	4,0	8,5	3,6	22,0	7,7	81,0	2,9	10,3	3,2	1,8	50,8	3,9	2,0	15,7	6,0	2,6	16,7	3,5	4,7	8,0	10,8	2,4	38,8	5,0
Pb	mg/kg TS	190	51	62	32	85	239	27	146	63	430	120	81	54	312	235	49	39	63	17	18	127	12	53	89	60	68	202	313
S	mg/kg TS	4600	3600	4000	3500	3900	6000	2300	3000	2500	3700	1600	4900	1900	2000	2400	1500	2000	3000	1200	2300	2800	3100	2600	3400	3400	1600	2400	4900
Sb	mg/kg TS	4,1	2,5	22,8	4,7	23,0	43,0	<20	4,2	1,9	22,0	2,3	9,1	4,3	2,3	6,6	10,2	2,3	69,0	1,7	2,0	8,0	72,4	7,8	1,7	6,9	1,3	7,6	4,0
Sc	mg/kg TS																												
Sn	mg/kg TS																												
Sr	mg/kg TS																												
V	mg/kg TS	5,0	2,8	1,9	3,4	4,2	4,3	2,2	4,2	4,6	8,8	4,5	6,1	1,9	2,3	13,2	4,9	2,2	5,7	1,5	6,7	5,6	2,8	9,1	7,5	5,6	2,8	5,1	5,6
W	mg/kg TS																												
Y	mg/kg TS																												
Zn	mg/kg TS	382	347	244	209	125	167	155	515	332	4610	5410	957	120	184	2170	396	67	1420	115	186	1180	194	199	298	2390	489	1630	200
Zr	mg/kg TS																												
Cl	mg/kg TS	1400	1700	2500	4100	1300	1400	3600	3500	1300	2800	1800	1500	2000	1500	1700	3100	1100	2800	1600	1100	1800	1200	2500	1200	900	1600	1200	12000
Bor, B	mg/kg TS																												

		Industriavfall						Avfall 50/50				70 % hushålls- och 30 % industriavfall	Blandning rejekt, bark och RT-flis	Plast-rejekt	
		Sö43	Sö44	Sö45	Sö46	Sö47	Sö48	P14 saml. Prov	P14 11/2, 13	P14 21/2, 23	P14 1/3, 2/3	Ld	Ln	Ln 2001-10-18	2003-10-06
askhalt	% TS							18,4		27,69	31,77		7,5	16,4	16,3
TS	%	70,1	69,9	76,8	80,5	67,2	79,7	57		62,7	59,9		61,7	48,0	56,7
Si	mg/kg TS							42197	59193	53812	62780		1119	13860	15202
Al	mg/kg TS	2550	5130	1530	3080	3960	17200	19365	20212	14762	23280		826	44920	38942
Ca	mg/kg TS							28571	32214	33714	35286		358	21430	32571
Fe	mg/kg TS							5706	11049	12308	16084		87,9	950	1028
K	mg/kg TS							4767	5967	5908	5892		111,3	720	591
Mg	mg/kg TS							4151	4133	4271	4880		37,2	850	1139
Mn	mg/kg TS	123	70	110	286	99	107	311	289	272	451		42	42	30
Na	mg/kg TS							8889	12667	8741	11111		52,0	910	1030
P	mg/kg TS							603	1157	996	1271		54,2	18	27
Ti	mg/kg TS							1659	2006	1473	2287		45,8	2530	1383
As	mg/kg TS	15,7	4,5	145,0	49,4	12,9	2,1	6,2	3,4	3,7	5,8		0,9	0,26	0,20
Ba	mg/kg TS							545	543	335	829		207	77	89
Be	mg/kg TS														
Cd	mg/kg TS	3,4	0,6	1,0	1,8	0,4	6,6	1,9	2	1,4	2,4	2,8	0,7	0,1	0,13
Co	mg/kg TS	2,9	1,3	2,6	7,9	75,8	2,5	5,2	6	5,4	5,5	20	1,1	0,8	0,75
Cr	mg/kg TS	46,7	13,0	159,0	70,7	23,1	31,9	63	128	88	129	320	54,6	18,0	8,0
Cu	mg/kg TS	105	30	139	207	26	956	903	164	772	176	4400	58	260	29
Hg	mg/kg TS	0,23	0,19	0,12	0,34	0,20	0,16	0,25	0,51	0,27	0,49	<0,05	0,1	0,03	0,03
La	mg/kg TS														
Mo	mg/kg TS							2,4	8,2	4,5	5,8	13	1,1	1,7	0,9
Nb	mg/kg TS														
Ni	mg/kg TS	12,1	3,4	4,4	28,1	4,9	9,7	16	27	24	26	82	1,8	4,1	
Pb	mg/kg TS	96	26	68	362	27	94	69	186	141	156		60	10	11
S	mg/kg TS	4100	1700	2200	4600	2600	6900	3400		4500	4000		1000	1300	
Sb	mg/kg TS	8,3	3,3	3,1	17,4	46,4	39,2						22,5		0,50
Sc	mg/kg TS														
Sn	mg/kg TS											94			
Sr	mg/kg TS														
V	mg/kg TS	8,1	3,4	7,1	6,1	5,7		9,8	15	21	16	32	34,8	3,5	2,7
W	mg/kg TS														
Y	mg/kg TS														
Zn	mg/kg TS	487	163	1010	1680	653	572	736	1230	1310	2000	2100	407	105	182
Zr	mg/kg TS														
Cl	mg/kg TS	5000	7500	8000	5700	6100	2400	6000		6600	6300		1000	950	
Bor, B	mg/kg TS														4,2

		Plast-rejekt											RT-flis				
		2003-11-06	2003-12-05	2004-01-14	2004-02-10	2004-02-23	2004-02-23	2004-04-19	2004-05-25	2004-10-18	2005-02-08	2004-03-17	Ny1	Ny2	Ny3	Ny4	Ln
askhalt	% TS	27,1	16,1	12,8	15,7	14,1	17,9	14,3	13,7	14,8	15,4	10,2					2,1
TS	%	35,6	53,0	47,9	50,4	46,0	44,1	51,3	56,9	49,9	45,6	50,9	79,9	77			71,6
Si	mg/kg TS	98655	12466	8520	14260	14843	16592	16188	9193	13094	14574		16829	16361	21971	17764	1460
Al	mg/kg TS	74603	29947	33704	34286	31058	45503	23651	27566	39471	22116		15348	14818	20640	15877	370
Ca	mg/kg TS	115000	35143	27429	31714	31643	37357	35786	30357	30000	20500		9577	8362	16224	8862	2430
Fe	mg/kg TS	25315	1196	909	1510	1042	1280	1140	825	5434	15315		2028	1630	3399	1972	250
K	mg/kg TS	6108	463	319	702	590	746	1125	341	513	1217		4964	5604	3968	6251	900
Mg	mg/kg TS	5247	1247	819	1223	1211	1301	1090	1024	1175	867		905	899	694	953	310
Mn	mg/kg TS	278	44	32	41	34	41	46	31	42	63		1115	1355	1750	1286	92
Na	mg/kg TS	8296	732	702	1104	1674	1148	2052	550	1200	1044		883	868	581	935	400
P	mg/kg TS	1074	99	31	38	24	30	70	46	62	63		61,1	69,8	42,3	79,0	97
Ti	mg/kg TS	7186	1790	3713	1940	1485	2455	1982	1928	1192	856		623	587	851	641	530
As	mg/kg TS	1,0	0,55	0,19	0,26	<0,1	0,19	0,24	0,18	0,195	<0,2	0,94	16,2	11,1	3,85	7,81	0,4
Ba	mg/kg TS	687	1300	76	97	55	102	108	57	60,4	55	68	177	117	86,9	141	390
Be	mg/kg TS												0,0782	0,0462	0,129	0,0596	
Cd	mg/kg TS	0,70	0,10	0,05	0,12	0,06	0,10	0,06	0,10	0,0907	0,43	0,04	0,314	0,528	0,174	2,45	0,47
Co	mg/kg TS	2,3	0,99	1,8	0,70	0,94	0,93	0,92	0,66	1,46	0,53	0,61	2,14	0,671	0,55	1,4	2,4
Cr	mg/kg TS	577	13	6,9	14	11	8,8	17	6,7	10,1	15	7,3	38,9	59,8	30	67,5	18
Cu	mg/kg TS	1110	19	15	23	42	33	21	25	22,4	26	45	60,9	35,3	12,3	46,7	9,1
Hg	mg/kg TS	0,13	0,2	0,05	0,04	0,02	0,04	0,04	0,05	0,0427	0,14	<0,03	0,0224	0,0539	0,0373	0,0389	0,03
La	mg/kg TS												0,24	0,553	0,3	0,382	
Mo	mg/kg TS	11	0,88	<0,8	1,1	1,0	<1	16	<0,8	1,23	3,2	<0,6	0,26	0,271	0,3	0,4	0,26
Nb	mg/kg TS												0,815	0,706	0,648	0,714	
Ni	mg/kg TS												1,58	1,51	1,7	2,41	1,9
Pb	mg/kg TS	154	20	4,7	18	6,2	12	20	7,6	7,78	28	3,7	14,1	27,4	5,96	43,2	370
S	mg/kg TS												775	762	931	1040	
Sb	mg/kg TS	1,3	3,8	0,44	<0,008	0,95	1,4	0,66	0,90	2,03	0,10	0,63	0,667	0,341	0,204	0,627	
Sc	mg/kg TS												0,268	0,238	0,17	0,226	
Sn	mg/kg TS												0,9	0,8	1	1	
Sr	mg/kg TS												17,7	17,5	14,7	21,1	
V	mg/kg TS	24	3,4	3,4	4,1	3,7	3,7	26	3,2	3,41	4,9		3,06	2,15	2,09	9,5	0,52
W	mg/kg TS												4,59	2	3	3,86	
Y	mg/kg TS												0,743	0,843	0,809	0,762	
Zn	mg/kg TS	295	130	82	111	161	379	103	76	104	60		274	508	94,6	3300	450
Zr	mg/kg TS												8,31	4,92	5,75	5,41	
Cl	mg/kg TS												2200	400	1100	400	
Bor, B	mg/kg TS	11	3,7	3,4	6,6	6,1	1,6	7,0	2,5	5,41	2,9	4,2					

		Träflis					Well-rejekt (TS-halten är hög pga att provet är torkat)									
		Ny1	Ny2	Ny3	Ny4	P13	Mu 1	Mu 2	Mu 3	Mu 4	Mu 5	Mu 6	Mu 7	Mu 8	Mu 9	
askhalt	% TS															
TS	%	54,2	61,6	57,4	62,5	56,4		2	9,8	2,8	9,6	2,5	8,9	5,6	12,2	10,8
Si	mg/kg TS	6544,5	41137	5142,1	15426	7937										
Al	mg/kg TS	6350,7	37046	4233,8	14818	667	760	2260	1350	2700	1440	2590	2380	5680	3430	
Ca	mg/kg TS	1872	30303	822	8433	4207										
Fe	mg/kg TS	357	6162	151	1525	369										
K	mg/kg TS	4416	6417	3063	6625	1142										
Mg	mg/kg TS	140	1616	77	386	849										
Mn	mg/kg TS	1487	3284	1301	2138	89										
Na	mg/kg TS	467	1061	361	668	170										
P	mg/kg TS	62,8	57,2	27,5	97,7	183										
Ti	mg/kg TS	90	1193	56	261	54										
As	mg/kg TS	5,43	0,373	0,1	<0,1	<0,2										
Ba	mg/kg TS	27,5	68,2	16,4	51,2	34,9										
Be	mg/kg TS	0,009	0,128	0,006	0,0288											
Cd	mg/kg TS	0,188	0,192	0,125	0,28	0,189										
Co	mg/kg TS	0,158	0,29	0,0811	0,195	1,53										
Cr	mg/kg TS	5,31	11	1,41	3,28	1,89										
Cu	mg/kg TS	6,2	3,14	1,61	2,6	1,87										
Hg	mg/kg TS	0,02	0,0266	0,02	0,0222	<0,02										
La	mg/kg TS	0,133	1,99	0,359	0,703											
Mo	mg/kg TS	0,158	<0,5	0,0914	<0,2	<0,2										
Nb	mg/kg TS	0,09	<0,5	0,07	<0,2											
Ni	mg/kg TS	0,765	0,861	2,07	0,892	0,437										
Pb	mg/kg TS	0,721	1,62	0,272	1,15	0,928										
S	mg/kg TS	199	224	64,3	289	200	160	150	120	120	110	140	110	120	110	
Sb	mg/kg TS	0,119	0,0478	0,0287	0,0314											
Sc	mg/kg TS	0,0386	0,58	0,0189	0,128											
Sn	mg/kg TS	0,3	2,45	0,3	1,14											
Sr	mg/kg TS	15,5	29,9	13	20,9											
V	mg/kg TS	0,349	4,14	0,148	1,13	0,644										
W	mg/kg TS	0,9	<5	0,7	<2											
Y	mg/kg TS	0,147	1,26	0,142	0,402											
Zn	mg/kg TS	26,8	38,1	15,7	53,5	37,9										
Zr	mg/kg TS	1,17	9,79	0,387	2,72											
Cl	mg/kg TS	200	76,3	300	95,3	<100	10	50	240	140	440	320	50	240	400	
Bor, B	mg/kg TS															

D DATA FRÅN SEM-ANALYSER

Tabell D1. Halter av olika element på och i aluminiumpartiklar i askor från Lidköping och Händelö P14. Resultat från EDS punktanalys. (atomprocent)

Element	Lidköping:1				Händelö P14		
	1a	1b	1c	2a	1a	1b	2a
O	0.97	5.96	10.49	3.686636	5.772727	23.14235	6.052247
Na	0.33	0.87	0.66	0.579329	0.272727	1.700985	0.795067
Mg	1.43	1.89	1.75	1.60632	1.409091	1.969561	1.638812
Al	90.19	88.50	86.45	91.24424	81.63636	53.04387	83.83904
Si	5.46	5.70	9.00	3.278473	5.575758	9.870188	4.656823
P	0.16	0.27	0.21	0.171165	0.181818	0.514772	0.356969
S	0.25	0.44	0.00	0.236998	0.424242	1.387645	0.438098
Cl	0.35	0.47	0.27	0.34233	0.348485	1.432408	0.421872
K	0.51	0.50	0.81	0.315997	0.378788	0.738585	0.373195
Ca	0.65	1.09	0.85	0.750494	1.984848	4.207699	1.427876
Mn	0.18	0.12	0.00	0.789993	0.878788	0.380483	0
Fe	0.48	0.15	0.00	0.684661	1.136364	1.611459	0
Total	100.00	100.00	100.00	100	100	100	100

**E GASUTVECKLING HOS ASKOR FRÅN HÖGDALEN,
UPPSALA OCH SÖDERENERGI – Slutrapport 2004-11-23**

OXELÖLAGER AB, OLAB

Gasutveckling hos askor från Högdalen, Uppsala och Söder- energi

Slutrapport

Datum:	2004-11-23
Diariennr:	1-0403-160
Uppdragsnr:	12065
Uppdragsansvarig:	Karsten Håkansson, Pascal Suèr
Handläggare:	Pascal Suèr, Johanna Lindeberg
Granskare:	Jan Rogbeck

Statens geotekniska institut

581 93 LINKÖPING Telefon: 013-20 18 00 Telefax: 013-20 19 14

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	Inledning	4
2	Bakgrund	4
3	Material	5
4	Metoder	5
4.1	Gasbildningspotential vid högt pH	5
4.2	Analys av elementärt aluminium oberoende av vätgasbildning	6
4.3	Gasbildning i kontakt med vatten	6
4.4	Vätgaskoncentration	6
4.5	Metanutveckling	6
5	Resultat.....	7
5.1	Sammanfattning av analysresultaten	7
5.2	Elfilterstoft och slangfilterstoft från Söderenergi	9
5.3	Högdalen p6.....	9
5.4	Högdalen p1-p3, Uppsala pannaska och recirkdoserare.....	10
6	Slutsatser	10
	Referenser.....	12

Gasutveckling hos askor från Högdalen, Uppsala och Söderenergi

1 INLEDNING

På uppdrag av Oxelölager AB (OLAB) har Statens geotekniska institut (SGI) undersökt gasutveckling hos askor från Högdalen, Uppsala Värme och Söderenergi. Detta i syfte att klarlägga förutsättningarna för att kunna använda dessa som utfyllnadsmassor vid återställning av OLABs oljebergum.

Denna rapport redovisar resultaten från genomförda mätningar på askor från nämnda anläggningar. Utöver detta har en litteraturstudie delfinansierats inom projektet, som avrapporterats tidigare (Suèr m fl., 2004).

2 BAKGRUND

Frageställningen kring gasutveckling från flygaska/avsvavlingsprodukt har aktualiserats genom de explosioner som under januari 2004 inträffade i bergum 7 (B7) vid Sydkraft ÖstVärms anläggning vid Händelö.

Redan i början av 90-talet tillståndsprövade miljömyndigheterna återställning av ett avställt oljebergum (B9) genom utfyllnad med flygaska från Händelöverket. Tillstånd erhöles och utfyllnaden påbörjades 1995 och pågick fram till början av år 2001 då bergummet var helt utfyllt. Den aska som användes vid utfyllnaden härrörde från förbränning av kol + gummi, RT-flis eller RT-flis blandat med gummi. Askan "blåstes" torr ned i det delvis vattenfyllda bergummet. Temperaturmätningar som genomfördes under utfyllnadsförfarandet visade på + 40 till 60° C i bergummet, vilket förklaras av härdningsprocesser i askan. Eftersom erfarenheterna var positiva ansökte Händelöverket om nya tillstånd för fortsatt utfyllnad av B8 och B7. Utfyllnad av B7 med aska från deras nya avfallspanna P14 (CFB) prövades i Miljödomstol i juni 2002. Under 2003 påbörjades utfyllnad av B7 på likartat sätt som vid B9 och fram t o m januari i år då explosionerna inträffade hade ett flera meter mäktigt lager fyllts ut.

Efter inledande spekulationer kring vad som orsakat explosionerna pekade alltmer mot att det var vätgas som var orsaken. Tämigen omgående lät Räddningstjänsten utföra gasmätningar i bergum 7 (GC med TCD-detektor). Vid dessa mätningar registrerades vätgashalter på mellan 4 –10 % och med direktmätande instrument mättes CO-halter > 0,1 %. Genom labbförsök m h a 120 ml flaskor visades att vätgas alstras när flygaska från P14 kommer i kontakt med vatten. Denna vätgasutveckling förekom både för en blandning bestående av 10 g aska och 2 g vatten liksom för en blandning med 10 g aska och 30 g vatten.

Elementärt aluminium bestämdes av Statens Provnings- o Forskningsinstitut (SP) genom lakning med salpetersyra följt av lakning med natriumhydroxid, (metod SP 2573). Resultaten av dessa mätningar visar att flygaska från P 14 innehåller 4,7 % Al och bottenaska 0,2 % Al. SP har vidare mätt vätgasutveckling, samt elementärt och totalt aluminium från flygaska från P11, P12, P13 vid Händelöverket. Preliminära resultat visar att askan från P 14 skiljer sig från övriga genom kraftigare vätgasutveckling.

3 MATERIAL

Ursprungligen var tanken att analysera en modellaska, som skulle vara en blandning av ett antal askor. Eftersom litteraturstudien visade att olika gasbildning för de olika askorna inte kan uteslutas, har askorna analyserats var för sig. Askorna som ingick i studien och deras utseende, framgår av tabell 1.

Tabell 1: Askor som ingått i studien.

Miljönr på SGI	Från	Provmärkning	Utseende
04074	Fortum	Högdalen P6 flygaska	
04069	Fortum	Högdalen P1-P3	Fin ljus aska med svarta flingor
04067	Uppsala Vattenfall Värme	Pannaska bl 1*	Ljusgrå aska med vita bitar, svarta flingor, och aggregerat med rostfärg inuti.
04067	Uppsala Vattenfall Värme	Recirkdoserare anl 25	Fin ljus aska med några svarta flingor
04066	Söderenergi	Slangfilterstoft linje 1 15/3 B	
04066	Söderenergi	Flygaska/elfilter linje 1, 17/3 E	Homogen, gråsvart färg

*Pannaskan mortlades innan analyserna. De andra materialen var finkorniga och analyserades efter omblandning.

4 METODER

På askproverna mättes inledningsvis potentialen för gasbildning vid högt pH. På de prov som visade kvantifierbar gasutveckling gjordes ett separat prov där koncentrationen vätgas och metan mättes i den genererade gasen. Dessutom mättes gasutvecklingen i kontakt med vatten. För provet med högsta gasbildningspotentialen (Högdalen p6) gjordes också en oberoende analys av halten metalliskt aluminium.

4.1 Gasbildningspotential vid högt pH

Potential för gasbildning mättes på alla 6 askprov. Askprovet lades i en sluten behållare varefter luften evakuerades. 5 M natriumhydroxidlösning tillsattes så att L/S förhållandet var ~2 L/kg. Blandning skedde genom magnetomrörning och tryckökningen mättes som ett mått på gasutvecklingen.

Ett delprov på askan från Högdalen p6 skickades till Sapa Technology för analys med motsvarande metod, där askan bringas i kontakt med 4 M NaOH och gasutveckling mäts.

Med denna metod fås en uppfattning av den potential som finns i askan för utveckling av vätgas genom oxidation av metallisk aluminium. Resultatet kallas fortsättningsvis för *gasbildningspotentialen*. Metoden baserats på uppgifter från litteraturen (Mizutani m fl., 2000) och från Sapa Technology.

4.2 Analys av elementärt aluminium oberoende av vätgasbildning

Gasutvecklingen i kontakt med lut kan förmodligen användas som mått på mängden elementärt aluminium. För att få ett oberoende mått på mängden elementärt aluminium gjordes försök att analysera Al^0 i Högdalens p6 aska med röntgendiffraktometri (XRD). Högdalen p6 valdes för att detta prov hade högst gasutveckling i kontakt med lut, och Al^0 mängden som beräknades utifrån detta var i närheten av XRDs nedre mätgräns. XRD mätningen utfördes av Sapa Technology.

4.3 Gasbildning i kontakt med vatten

Gasbildning i kontakt med vatten har mätts för Högdalen p6, Högdalen p1-p3, Uppsala Värme pannaska och Uppsala Värme recirkdoserare. Proverna från Söderenergi mättes inte eftersom de hade låg gasbildningspotential.

Gasbildningen i kontakt med vatten mättes genom att askprovet lades i en sluten behållare varefter luften evakuerades. Avjoniserat vatten tillsattes så att L/S förhållandet var ~ 2 L/kg. Blandning skedde genom magnetomrörning och tryckändringen mättes som ett mått på gasutvecklingen. Mätningen avslutades när tryckändringen var $< 0,01$ kPa/min. Metoden att mäta gasbildning i aska är experimentell och utveckling av metoden pågår.

Efter gasmätningen avslutats mättes pH direkt i den slutna behållaren. Parallellt mättes också pH i en motsvarande blandning av aska och vatten, utan att avvakta gasutveckling.

4.4 Vätgaskoncentration

För Högdalen p6, Högdalen p1-p3, pannaska och recirkdoserare mättes vätgaskoncentrationen i gasen som bildades i kontakt med lut. Vardera askprov blandades med 5 M lut, så att L/S förhållandet var > 2 L/kg, i gastäta flaskor, utan omrörning. Behållaren stängdes direkt efter tillsatsen av NaOH-lösning och skakades regelbundet. Efter 1-2 timmar togs gasprov som analyserades med GC. Också en standard med 3,25 % vätgas i luft, analyserades. Vätgasmängden i gasen från Högdalen p6 var hög, så även ett utspädd gasprov mättes. Mätningen utfördes i samarbete med Tema Vatten i natur och samhälle, Linköpings universitet.

Gasmängderna vid atmosfärstryck mättes efter 2 dagar och efter 5 dagar. Både gaskoncentrationer efter 1 h och tryckutveckling under 2 och 5 dagar visade att vätgasbildningen inte hade avslutats när vätgaskoncentrationen mättes. Därför modifierades förfarandet vid metangasmätningen till att inkludera omrörning och mätning 1 dygn efter blandning.

4.5 Metanutveckling

Utveckling av metan mättes på alla 6 proverna. Vardera askprov blandades med 5M NaOH, så att L/S förhållandet var ~ 2 L/kg, i gastäta flaskor. Proverna fick stå och rea-

gera under omrörning i ca ett dygn före gasanalys. Då antogs alla gasbildande reaktioner vara avslutade. Koncentrationen metan i den bildade gasen bestämdes m h a GC.

Mätningarna utfördes i samarbete med Tema Vatten i natur och samhälle, Linköpings universitet.

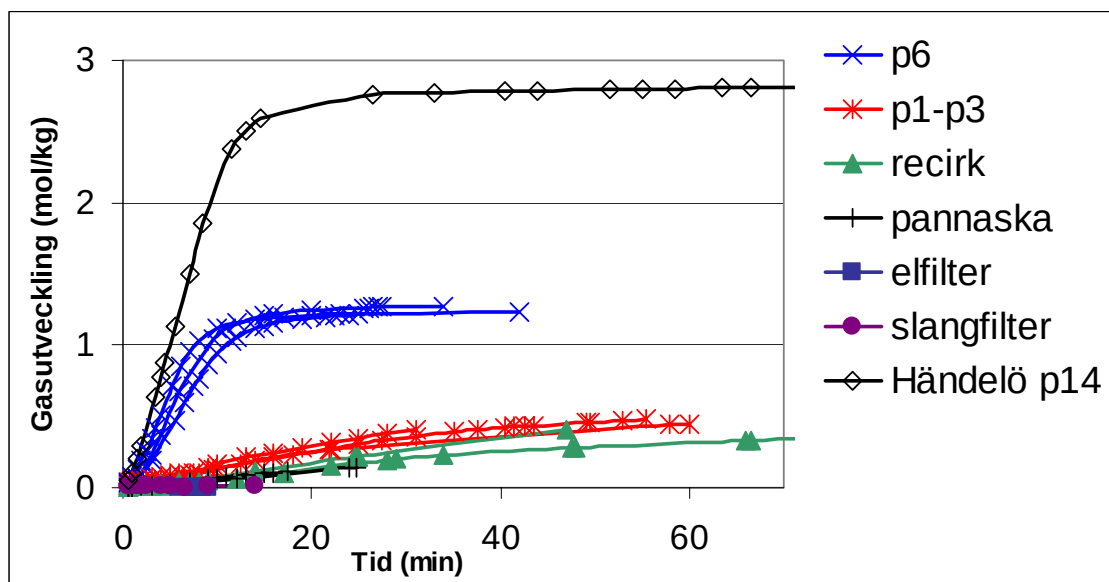
5 RESULTAT

5.1 Sammanfattning av analysresultaten

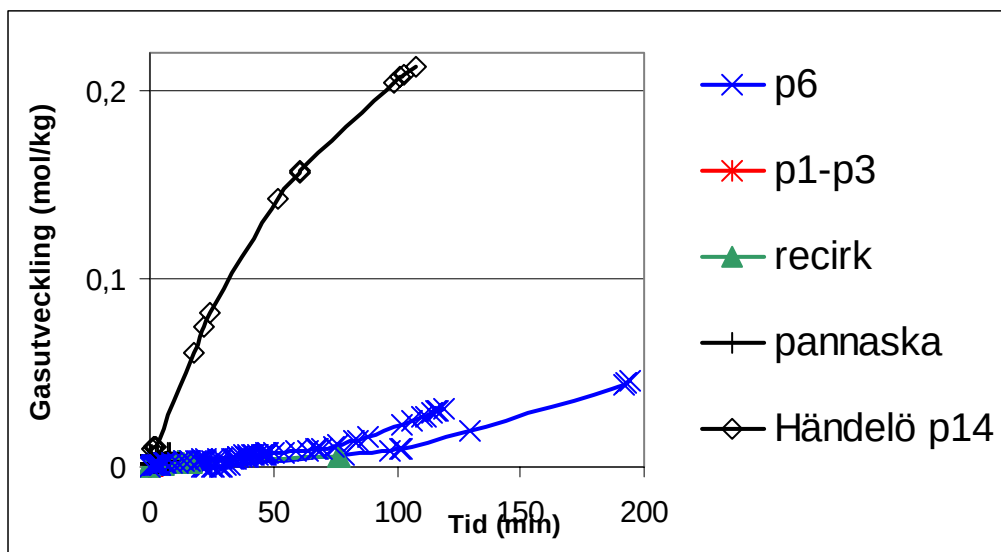
Utveckling av gas från proven i kontakt med lut avsatt mot tiden sedan lut tillsattes, visas i figur 1. De olika askorna visade mycket olika gasbildningspotential, där Högdalen p6 hade högst potential och askorna från Söderenergi ingen mätbar gasbildningspotential.

Vätgaskoncentrationerna i den bildade gasen visade att det relativa förhållandet mellan askorna var mycket likt gasbildningspotentialen (figur 3). Detta styrkar att vätgas är den helt dominerande gasen i gasutvecklingen. Metan fanns i mätbara men låga mängder, som högst 2 μmol metan/kg aska. Också den oberoende mätningen av metalliskt aluminium (för p6) visade att gasutvecklingen kan förklaras som utveckling av vätgas genom oxidation av aluminium.

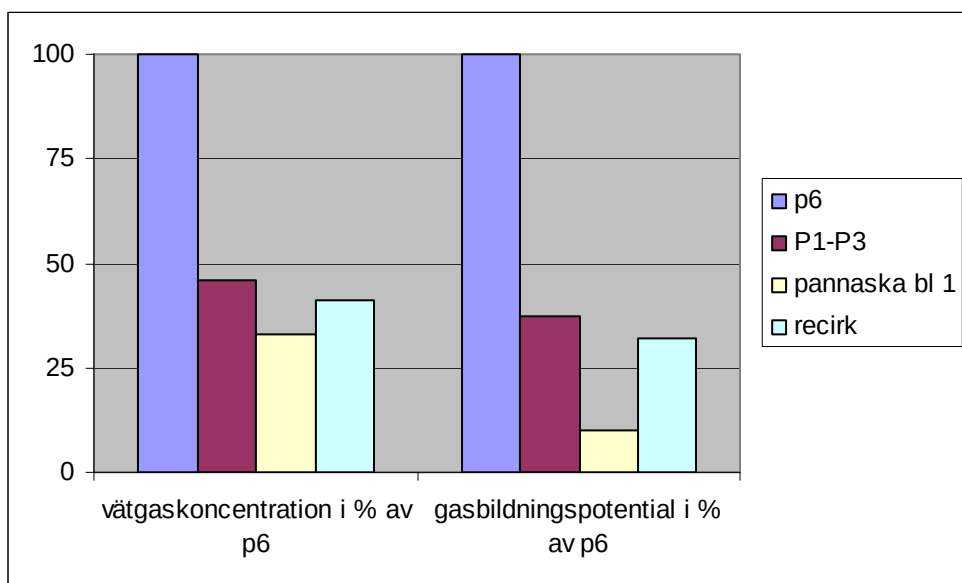
Utveckling av gas i kontakt med vatten visas i figur 2. Gasbildningen i kontakt med vatten var under kvantifieringsgränsen för alla askor utom p6 Högdalen. För p6 kom gasbildningen igång sent och utvecklades långsamt.



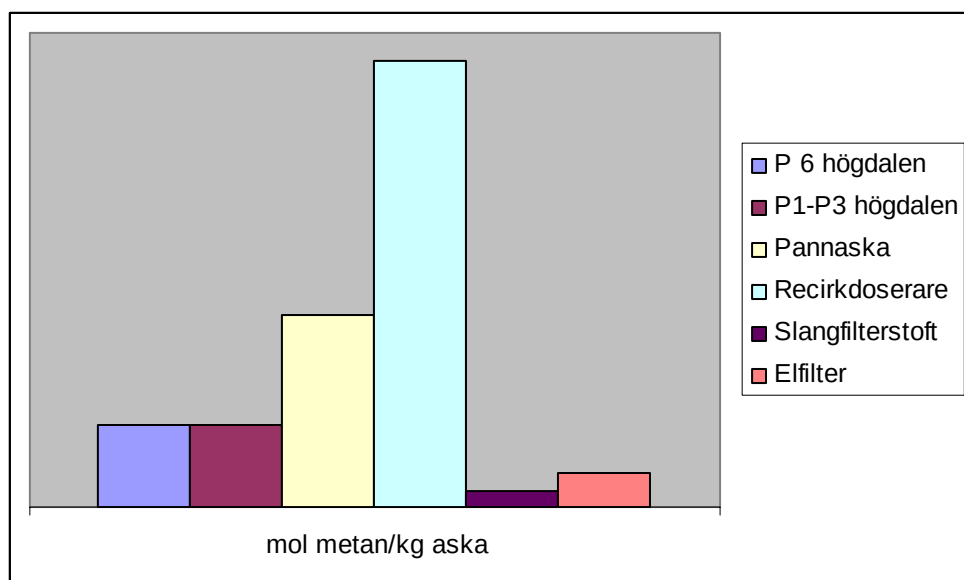
Figur 1: Gasbildningspotential i kontakt med lut, angiven i mol gas per kg aska. Som jämförelse har en mätning på Händelöverkets flygaska p14 (samlingsprov 040908-040916) inkluderats.



Figur 2: Gasbildning i kontakt med vatten, angiven i mol gas per kg aska. Som jämförelse har en mätning på Händelöverkets flygaska p14 inkluderats.



Figur 3: Vätgaskoncentration (mätt som vätgas mha GC) och gasbildningspotential (mätt som gasutveckling) efter kontakt med lut, båda uttryckt i % av p6.



Figur 4: Koncentrationen metan i utvecklad gas efter blandning av aska och NaOH. På y-axeln ytan på den uppmätta GC-toppen.

5.2 Elfilterstoft och slangfilterstoft från Söderenergi

Elfilterstoft och slangfilterstoft från Söderenergi (Igelstaverken) visade ingen mätbar gasutveckling i kontakt med lut. På dessa prov gjordes följaktligen ingen vidare analys av koncentrationen vätgas i de bildade gaserna.

Analys av metan gjordes trots att ingen gasutveckling kunde uppmätas i tidigare försök (se figur 1). Askorna från Igelstaverken genererade minst metan av de undersökta askorna.

5.3 Högdalen p6

Askprov från Högdalen p6 visade en snabb gasutveckling, som avtog inom 20 minuter. Avtagande gasutvecklingen tolkas som att Al^0 i provet tagit slut, så att det inte finns någon källa kvar för gasutveckling. Detta överensstämmer väl med mönstret för Händelö p14 flygaska, som inkluderats i figur 1. Gasmängden som utvecklades, 1,3 mol/kg, motsvarar 30 L gas/kg aska, eller 2,3 % Al^0 .

Ett delprov togs på aska från Högdalen p6 och Al^0 mättes av Sapa Technology med en liknande metod som ovan. Enligt den mätningen var Al^0 halten 3,0 % (Bilaga 1), vilket motsvarar 41 L vätgas/kg aska. Mätning på utvecklad gas visade att vätgaskoncentrationen i Högdalen p6 askan var den högste av de undersökta askorna.

Mätning med XRD (röntgendiffraktometri) visade en totalhalt metalliskt aluminium på 3 %, med en mätosäkerhet på 30 % (se Bilaga 1). XRD-mätningen av metalliskt aluminium stämmer alltså bra överens med den uppmätta gasbildningspotentialen när osäkerheten i XRD-mätningen tas med i beräkningen.

I kontakt med vatten skedde långsam gasbildning från p6 aska (figur 2). Mätningens avslutningskriterium på $\leq 0,01$ kPa/min hade nästan uppnåtts när gasbildningen tilltog. Detta tolkades initialt som fel på mätutrustningen, då dylik gasutveckling inte hade ob-

serverats tidigare, och mätningen avbröts. Emellertid uppvisade samtliga 3 replikat av mätningen liknande mönster. Som högst mättes en gasbildning på 1,1 L. Högre gasbildning kan dock inte uteslutas.

Vid mätning på askor härrörande från andra anläggningar har gasbildning i kontakt med vatten kommit igång snabbare. Då har också högre gasmängder uppmätts än för p6. Detta syns tydligt i mätningen på ett askprov från Händelö p14 som inkluderats i figur 2. Skillnaden kan orsakas av att någon process behövs för att sätta igång gasutvecklingen.

Oxidation av metalliskt aluminium och tillhörande vätgasbildning förväntas leda till en pH-sänkning. De uppmätta skillnaderna i pH-värden är för små för att kunna tolkas som argument för avsaknad eller förekomst av gasbildning i askan i kontakt med vatten. I en nygjord blandning av aska:vatten (1:2, liknande gasbildningsmätningarna) var pH 12,1; och i blandningen efter gasbildningsmätningen (200 min) var pH 12,0. Enligt litteraturuppgifter (Magel, 2003) är pH 12 tillräckligt högt för att vätgasutveckling ska ske.

Den utvecklade metanmängden var bland de lägre av de undersökta askorna för aska från Högdalen p6 (figur 4). Metanmängden var ca 10 000 gånger mindre än vätgasmängden, och var alltså inte orsak till dess höga gasbildningspotential.

5.4 Högdalen p1-p3, Uppsala pannaska och recirkdoserare

Proven från Högdalen p1-p3, Uppsala Recirkdoserare anl 25 och Uppsala pannaska bl 1 utvecklade gas i kontakt med lut (figur 1). Gasutvecklingen var långsammare än för Högdalen p6, men fortsatte under en längre tid. Mätningarna avslutades innan gasutvecklingen upphörde.

Gasutvecklingen från proverna utgjordes även i dessa fall av vätgas (se figur 2). Vätgaskoncentrationen var proportionell mot koncentrationen från Högdalen p6. Högdalen p1-p3, Uppsala recirkdoserare anl 25 och Uppsala pannaska bl 1 visade alltså långsam och utdragen vätgasutveckling i kontakt med lut.

I kontakt med vatten utvecklades ingen mätbar gas. Detta beror dock förmodligen inte på att pH var för lågt. (Det är inte klarlagt vid vilket pH som oxidation av aluminium i aska är betydande. Närvaron av olika mineral gör att resultat från experiment med rent aluminium inte utan vidare går att översätta till ask-miljön). Högdalen p1-p3 och Uppsala recirkdoserare visade $\text{pH} > 11,7$, och värdena innan och efter gasutvecklingen var inom 0,2 pH enheter från varandra. Uppsala pannaska hade något lägre pH; mellan 8,5 och 11,4, och pH-värdet varierade under mätningen.

Askorna från Uppsala Recirkdoserare anl 25 och Uppsala pannaska bl 1 gav störst metanmängder av de undersökta askorna, trots att de ändå måste beteckna utgöra mycket små mängder. Uppsala Recirkdoserare, som bildade högst metanmängd, bildade $2\mu\text{mol/kg}$ aska. Provet Högdalen p1-p3 gav relativt lite metan.

6 SLUTSATSER

Högst vätgasutveckling av de undersökta askorna kom från Högdalen p6, som hade hälften så hög gasbildningspotential som flygaska från p14 på Händelöverket. I kontakt

med lut bildades vätgas tills det metalliska aluminium i askan var slut och gasbildningen avstannade. Gasbildning i kontakt med vatten var långsam för p6, och mycket låg för övriga askprover.

Gasutvecklingen från Högdalen p6 flygaska skulle kunna orsaka problem vid utfyllnad av bergrum, om ventilationen är för liten. Dock var gasbildning i kontakt med vatten långsam, och gasutvecklingen var tydligt lägre än gasbildning för Händelös p14.

I elfilteraska och slangfilterstoft från Igelstaverket fanns mycket låg gasbildningspotential, vilket visar på stor skillnad mellan Igelsta och Högdalen p6. Både Igelsta och Högdalen p6 använder bränslekross från industri- och hushållsavfall som bränsle. Panntypen skiljer sig dock väsentligt: Igelstaverket är en rosterpanna medan Högdalen p6 är en fluidbädd panna. Panntypen skulle eventuellt kunna vara orsak till skillnader i vätgasbildningspotentialen.

Flygaska från Högdalen p1-p3, Uppsala Värme recirkdoserare samt Uppsala värme pannaska bl 1 visade oväntat långsam gasutveckling i kontakt med lut, och ingen kvantifierbar gasutveckling i kontakt med vatten. Vilken process som bromsar gasutvecklingen i kontakt med lut är f.n. inte klarlagd.

Samtliga analyserade askor visade viss metanutveckling i kontakt med lut. Metangas kan produceras när metallkarbider reagerar med vatten (Suèr m fl., 2004). Metanutvecklingen var mycket låg i jämförelse med mängden vätgas som utvecklats, och torde inte orsaka problem vid deponering i bergrum.

Askorna följde inte mönstret från gasbildningspotentialen när det gällde metanutveckling vid reaktion mellan aska och NaOH. De två askorna från Uppsala bildade betydligt mer (men trots allt mycket lite) metan än övriga askor. Högdalen p6 hade låg metanutveckling trots hög gasbildningspotential. De två askorna från Söderenergi hade lägst metanutveckling liksom de hade lägst gasbildningspotential.

Metanutvecklingen kunde eventuellt bero på bränsletyp. Från Uppsala gav de båda askorna, från helt olika steg i förbränningsprocessen (pannaska och recirkdoserare) men från samma bränsle, för undersökningen relativt hög metanutveckling.

Sammanfattningsvis är Högdalen p6 askan som har visat högst vätgasutveckling. Denna aska bör definitivt närmare undersökas innan den tas i anspråk för utfyllnad av bergrum. De två askorna från Söderenergi bedöms inte generera problem med vätgasutveckling. För Uppsalas askor samt Högdalen p1-p3 finns indikationer om viss vätgasutveckling, dock ej i kontakt med vatten. För att helt säkerställa Uppsala-askornas användbarhet bör en riskbedömning göras. Metanutveckling bedöms inte leda till problem vid bergrumsutfyllnad.

STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT
Avd Miljöteknik

Pascal Suèr
Uppdragsansvarig

REFERENSER

- Gabriele Magel, 2003. Mineralogische und chemische Untersuchungen zur abiotischen Wasserstoffentwicklung in Müllverbrennungsrückständen. PhD Thesis, Ludwig-Maximilians Universität, München.
- S Mizutani, S Sakai och H Takatsuki, 2000. Investigations of hydrogen generation from municipal solid waste incineration fly ash. Journal of Material Cycles and Waste Management, 2: 16-23.
- P. Suër, Karsten Håkansson och Jan Rogbeck, 2004. Gasbildning från aska - litteraturstudie. Dnr 2-0403-0209, Statens geotekniska institut, Linköping.

BILAGA 1. Analysrapport från Sapa Technology

Finns som separat pdf.fil och i pappersversion

