

AVVATTNING AV ASKA FRÅN BLANDBRÄNSLEN

Erfarenheter och resultat från Tekniska Verken i Linköping

Ulf Carlsson, Anders Fredriksson, Inge Lindahl, Anna Arevius, Rolf Sjöblom

**AVVATTNING AV ASKA FRÅN
BLANDBRÄNSLEN**

**Erfarenheter och resultat från
Tekniska Verken i Linköping**

Ulf Carlson, Anders Fredriksson och Inge Lindahl
Tekniska Verken i Linköping AB

Anna Arevius och Rolf Sjöblom
ÅF-Energikonsult AB

A9-835

Abstract

Vid Tekniska Verken i Linköping, panna 3, tillämpades tidigare våt utmatning av en blandning av bottenaska och flygaska. Förfarandet innebar nackdelar i form av hantering och deponering av ett slam med hög vattenhalt.

Med stöd av resultat från försök och undersökningar som redovisas i denna rapport har nya lösningar introducerats inför vintersäsongen 2001 - 2002. Endast bottenaskan matas ut i vått tillstånd vilket innebär att den dränerar omgående. Flygaskan befuktas till låg vattenhalt vilket eliminerar potentialen för såväl fortsatt förbränning som damning i samband med transport och deponering. Den nya lösningen stöder annan destination för bottenaskan än deponi.

Sammanfattning

Panna 3 vid Tekniska Verken i Linköping AB (TVL) är en rosterpanna som under vintersäsongen 2000 - 2001 har eldats med ett bränsle bestående av 45 % returflis, 45 % bark och 10 % återvunnen plast. Flygaska och bottenaska har blandats i samband med våt utmatning. Under 1999 har ca 19 000 ton restprodukt med en vattenhalt på ca 50 % genererats.

Arbetsättet har inneburit nackdelar i form av hantering av slam samt deponering av material med hög vattenhalt. Syftet med de insatser som utförts har varit att ge underlag för utformning av en hantering som inte har dessa nackdelar och som stöder annan destination för bottenaskan än deponi.

Informationssökningen visade att ett antal reaktioner, framförallt hydratisering och omkristalisation, äger rum när aska kontaktas med vatten. Förloppet är bland annat starkt beroende av askans kemiska sammansättning. Det starka beroendet avser inte bara vilka reaktioner som äger rum utan även av den ordning i vilken de sker. Flygaska är mycket reaktiv medan bottenaska är relativt inert.

Laboratorieförsöken visade att bottenaska dränerar väl medan flygaska och olika blandningar av flygaskor och bottenaskor är relativt täta. De åldringsförsök som utförts indikerade inte någon påtaglig ändring av permeabiliteten (se vidare nedan).

Försök i halvstor skala visade tydligt att bottenaska dränerar snabbt utan vakuum och att fältkapaciteten (andelen vatten som inte dränerar) är låg. För blandningar av bottenaska och flygaska erhöles en bättre dränering med vakuum jämfört med utan vakuum. Blandningarna härdade dock inom loppet av någon timme vilket ledde till väsentligt sämre dränering.

Försök i pilotskala har utförts med självavrinning på askvagn, skruvpress och med sandavvattnare. Resultaten med självavrinning visade att huvuddelen av det vatten som dräneras erhålls under de första timmarna varefter avrinningen avtar snabbt. Försöken med skruvpress indikerade att vid upprepad genompressning erhålls ett slam med väsentligt lägre vattenhalt. Metodiken innebär emellertid att det vatten som används kommer att innehålla grumling av små partiklar. Försöken med sandavvattnare gav liknande resultat som dem med skruvpress. I slammet minskade halterna av ämnen som arsenik, bly och zink med cirka en faktor fem.

Mätningar av tungmetaller i de olika askfraktionerna indikerade att halterna i bottenaskan är relativt låga.

Slutsatserna är som följer.

- Inför eldningssäsongen 2001 - 2002 tar TVL ut endast bottenaska med våt utmatning varvid askan dränerar omgående till låg vattenhalt. Detta innebär följande:
 - Deponering av mer material än nödvändigt undviks
 - Hantering av slam med hög vattenhalt undviks
 - Risk för instabilitet av deponerat material elimineras
 - Askan kan användas som friktionsmaterial och/eller dränerande material på deponi
 - Askan kan få annan destination än deponi, till exempel geoteknisk användning
- Inför eldningssäsongen 2001 - 2002 tar TVL ut flygaska i torrt tillstånd varefter den befuktas till låg vattenhalt. Detta innebär följande:
 - Deponering av mer material än nödvändigt undviks
 - Askan kan hanteras utan risk för damning
 - Risk för instabilitet av deponerat material elimineras eller minskas avsevärt
 - Aska kan tänkas användas för tätande ändamål på deponi
- Resultaten bedöms kunna tillämpas på liknande sätt för andra rosterpannor även om skillnader i bränslets sammansättning innebär skillnader i askornas egenskaper.
- I fluidbäddpannor erhålls delvis andra askfraktioner. Bottenaskor och cyklonaskor kan dock antas vara betydligt mer dränerande än ("rena") flygaskor eller blandaskor.
- Den metodik som utvecklats i föreliggande studie kan användas för framtagning av underlag för bedömningar och beslut om askhanteringsstrategi.

Summary

Unit 3 at Tekniska Verken i Linköping (TVL) has a grid type offurnace. During the firing season 2000 - 2001, the fuel has been comprising 45 % recovered wood chip, 45 % bark and 10 % recovered plastic material. The outfeed has been wet, and flyash and bottom ash have been mixed in the process. During 1999, about 19 000 tonnes of ash with a water content of about 50 % have been generated.

The procedure has implied drawbacks in the form of handling of sludge and disposal of material with a high water content. The purpose of the work carried out has been to provide a basis for design of a handling in which these drawbacks have been eliminated, and which supports other destinations for the bottom ash than disposal.

The search for information showed that a number of reactions, in particular hydratisation and recrystallisation, take place when ash is contacted with water. The process is strongly dependent on the chemical composition of the ash. The result is influenced not only by the chemical reactions that occur but also by the order in which they take place. Fly ash is very reactive while bottom ash is relatively inert.

The experiments in the laboratory scale showed that bottom ash drained well while flyash as well as different mixtures of fly ash and bottom ash are relatively impermeable to water. The ageing experiments which were carried out did not indicate any particular alteration in the permeability (see further below, however).

Tests on a reduced scale clearly showed that bottom ash drains rapidly without the aid of vacuum and that the field capacity (the relative amount of water which does not drain) is low. Mixtures of bottom ash and fly ash drained more when vacuum was applied as compared to without it. However, such mixtures cured within a few hours and this lead to a substantial decrease in permeability.

Tests on a pilot scale were conducted using three different methods of dewatering. The tests on self-percolation showed that most of the drainage water appeared during the first few hours whereafter the dewatering decreased rapidly. Experiments with equipment of different types for forced dewatering gave on one hand solid residues with a significantly lower water contents, but on the other hand significant volumes of water containing fines. In the solid residue, the fraction of elements like arsenic, lead and zinc decreased with a factor of about five.

Measurements of heavy metals in the different ash fractions showed that the contents of them in bottom ash is relatively low.

The conclusions are as follows.

- For the firing season 2001 - 2002, TVL intends to use wet outfeeding only for the bottom ash which will then loose most of its water immediately on exiting. This implies the following:
 - Disposal of more material than necessary is avoided
 - Handling of sludge with a high water content is avoided
 - Risk of instability in deposited material is eliminated
 - The ash can be utilised as a friction material and/or for drainage purposes at the disposal site
 - The ash may be given other destinations than disposal, e g geotechnical applications
- For the firing season 2001 - 2002, TVL intends to outfeed flyash in a dry state whereafter is is moisted to a low water content. This implies the following:
 - Disposal of more material than necessary is avoided
 - The ash can be handled without the risk of dust formation
 - Risk of instability in deposited material is eliminated or decreased significantly
 - It is conceivable that the ash might be used for water tightening purposes at a disposal site
- It is assessed that the results can be applied in a similar manner to other grid furnaces even if differences in the composition of the fuel gives rise to differences in the properites of the ashes generated.
- Partially different ash fractions are generated in fluidised bed furnaces. Bottom ashes and cyclon ashes can, however, be assumed to be significantly more draining than ("pure") flyashes or mixtures of flyashes and other ashes.
- The methodology developed in the present study can be used for development of the basis needed for assessments and decisions on strategies for ash management.

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	1
1.1	BAKGRUND.....	1
1.2	TEKNISKA VERKEN I LINKÖPING	1
1.3	SYFTE.....	2
1.4	UPPLÄGGNINGEN AV ARBETET SAMT AV DENNA RAPPORT	2
2	RESULTAT FRÅN INFORMATIONSSÖKNING	4
3	LABORATORIEFÖRSÖK	5
3.1	FÖRSÖK UTAN KARBONATISERING OCH ÅLDRING AV ASKAN	5
3.2	FÖRSÖK MED KARBONATISERING OCH ÅLDRING AV ASKAN.....	5
4	FÖRSÖK I HALVSTOR SKALA	6
4.1	FÖRSÖKSUPPSTÄLLNING	6
4.2	FÖRSÖK MED BOTTENASKA	6
4.3	FÖRSÖK MED BLANDASKA.....	7
5	FÖRSÖK I PILOTSKALA	9
5.1	FÖRSÖK MED SJÄLVAVRINNING PÅ ASKVAGN.....	9
5.2	FÖRSÖK MED SKRUVPRESS	9
5.3	FÖRSÖK MED SANDAVVATTNARE	11
5.4	INNEHÅLL AV MILJÖSTÖRANDE ÄMNER	12
6	DISKUSSION OCH SLUTSATSER	13
6.1	FÖRUTSÄTTNINGARNA FÖR DRÄNERING	13
6.2	SLUTSATSER FÖR TEKNISKA VERKEN I LINKÖPING AB	13
6.3	SLUTSATSER FÖR ÖVRIGA ANLÄGGNINGAR	14
7	REFERENSER	16

Bilagor

A	INFORMATIONSSÖKNING
B	PERMEABILITETSMÄTNINGAR UTAN KARBONATISERING OCH ÅLDRING
C	PERMEABILITETSMÄTNINGAR MED KARBONATISERING OCH ÅLDRING
D	FÖRSÖK I HALVSTOR SKALA MED BOTTENASKA
E	FÖRSÖK I HALVSTOR SKALA MED BLANDASKA
F	FÖRSÖK I PILOTSKALA

1 Inledning

1.1 Bakgrund

I Sverige genereras årligen totalt uppemot 1 miljon ton träbränslebaserad aska, varav knappt två tredjedelar kommer från värmeverk och drygt en tredjedel från skogsindustrin. Av den del som genereras vid värmeverk utgörs knappt hälften av bottenaska medan resten är olika typer av flygaska.

De flesta askor som genereras i samband med fjärr- och kraftvärmeproduktion läggs i dag på deponi. Detta innebär påtagliga kostnader för värmeproducenterna i form av deponiavgifter och deponiskatt.

Kraven på funktion och utformning av deponier har ökat kraftigt under de senaste åren vilket inneburit kraftiga kostnadsökningar. Denna trend kan förutses fortsätta under i vart fall de närmaste åren. Priset för deponering av aska varierar mellan olika deponier men ett representativt värde för kommersiella överenskommelser kan ligga kring 500 kronor per ton.

Från och med år 2000 utgår även deponiskatt vilken uppgår till 250 kronor per ton.

Det är viktigt att notera att dessa pålagor inkluderar det vatten som förekommer i askan. I de flesta anläggningar försätts askan med vatten i samband med utmatningen för att säkerställa att den är (eller blir) ordentligt släckt. Tillsatsen av vatten tjänar även syftet att eliminera askans damningstendenser vilket underlättar hantering, transport och deponering.

Ovanstående innebär att det finns ett starkt incitament i branschen att söka modifiera askhanteringen så att i vart fall kostnaden för deponering av vatten reduceras. Vidare finns på många håll ambitionen att söka använda i åtminstone bottenaskan för andra ändamål, i första hand geotekniska.

Potentialen för olika alternativa möjligheter till askhantering samt med dessa sammanhängande behov av utvecklingsinsatser har nyligen analyserats och sammanställts i en Värmeforskrapport[1].

1.2 Tekniska Verken i Linköping

Vid Tekniska Verken i Linköping AB (TVL) har olika åtgärder vidtagits för att utreda olika möjligheter samt implementera lösningar och reducera kostnader. Insatserna har fokuserats mot panna 3, som är en rosterpanna och som under vintersäsongen 2000 -

2001 har eldats med ett bränsle som består av 45 % returflis, 45 % bark och 10 % återvunnen plast.

Under 1999 genererade panna 3 ca 19 000 ton restprodukt med en vattenhalt på ca 50 %.

Fram till sommaren 2001 har all aska tagits ut i våt form. För bottenaskan finns ett vattenlås samt skraptransportörer. Flygaska, d v s cyklonaska och elfilteraska, har också påförts utmatningsanordningen för bottenaskan och blandats med denna. Även slam från rökenskondensering har lämnat anläggningen denna väg.

Insatserna vid TVL har inte varit begränsade till avvattningsproblematiken. Försök har bland annat utförts med torr utmatning samt med omförbränning av askfraktioner med hög andel oförbränt.

Torr utmatning innebär att inget vatten behöver tillsättas. Erfarenheten från de försök som utförts har emellertid varit att det kan vara svårt att säkerställa att inte förhöjd temperatur kan föreligga någonstans i askan med därmed sammanhängande risk för självantändning.

Försöken med omförbränning indikerade att befintlig utrustning inte var avpassad för den ökade askmängden.

Mot denna bakgrund har de fortsatta insatserna fokuserats mot uttag av aska med låg vattenhalt.

1.3 Syfte

Syftet med det arbete som redovisas i denna rapport samt med själva rapporteringen är som följer:

- Att finna en systemlösning vid TVL för generering av aska med låg fukthalt.
- Att ta fram en enkel och billig metod för avvattning av aska vid TVL
- Att redovisa insatserna vid TVL som ett exempel för övriga anläggningar
- Att analysera och redovisa resultaten så att de blir generellt tillämpbara, d v s kan användas även av övriga anläggningar

1.4 Uppläggningsen av arbetet samt av denna rapport

Arbetet har utförts utgående från två alternativa strategier:

- 1 Avvattning av den blandning av bottenaska och flygaska som genereras enligt tidigare arbetsätt

- 2 Separat utmatning av bottenaska och flygaska. Avvattning av bottenaskan och lätt befuktning av flygaskan så att askan upphör att vara dammande och inte kan återantända.

Utvecklingsarbetet har därför fokuserats mot undersökningar avseende följande:

- a Avvattning av bottenaska respektive blandaska
- b Försök med avvattning med självavrinning respektive med hjälp av vakuum
- c Försök i laboratorieskala, respektive halv skala och pilotskala

En viktig planeringsförutsättning för arbetet har varit att TVL skall ha nödvändigt underlag i tillräckligt god tid för att kunna genomföra önskade modifieringar i sin anläggning inför sommaren 2001. Detta - och även andra faktorer - har inneburit att vissa av aktiviteterna pågått parallellt eller utförts i vad som senare visat sig vara ej helt optimal ordningsföljd.

I det följande redovisas emellertid inte detta i detalj. I stället beskrivs de olika insatserna var för sig, dels i rapportens huvudtext, dels i de mera detaljerade bilagorna. Redovisningen i huvudtexten fokuserar emellertid mot sådant som är av särskild betydelse för analys och slutsatser.

I Avsnitt 2 samt i Bilaga A redovisas resultaten av informationsökning avseende askbildningsprocesser, kemisk sammansättning hos de olika askorna, hydratisering, karbonatisering, och omlagring. Processernas tänkbara betydelse för avvattning diskuteras. Materialbalanser redovisas i Bilaga F5.

I Avsnitt 3 samt i Bilagorna B och C redovisas de försök som utförts i laboratorieskala. Syftet med dessa försök är att ge underlag för uppskattningar av tider för vattengenomströmning, dels vid självavrinning i upplag, dels vid applicering av vakuum på en tjock bädd av aska. Laboratorieförsöken avser försök med olika förekommande kategorier aska och blandningar av aska samt aska som karbonatiserats och åldrats.

I Avsnitt 4 samt i Bilagorna D och E redovisas försök i halvstor skala (två meters bäddhöjd i fyrtums avloppsrör) med bottenaska respektive blandaska samt med respektive utan applicering av vakuum.

I Avsnitt 5 samt i Bilaga F redovisas resultaten av försöken i pilotskala. Dessa omfattar bland annat avrinningsförsök avseende blandaska i askvagnarna, mellanlagring av träslagg på kolgården, hårdgjord yta på Gärdestad för avvattning av slagg och askor samt försök med skruvpress och tvättning av träslagg. Dessutom redovisas torr utmatning av aska i Bilaga F.

I Avsnitt 6 analyseras de resultat som erhållits enligt ovan och slutsatser dras utgående från hela det underlag som erhållits. I detta avsnitt analyseras också förutsättningarna för att tillämpa de resultat som erhållits i andra anläggningar och dras generella slutsatser.

2 Resultat från informationssökning

Vatten som är i kontakt med färsk aska får ett högt pH-värde, d v s bildar lut (liknande en blandning av kaustiksoda och vatten). Denna är frätande och man bör inte låta luten komma i kontakt med oskyddad hud¹ och man bör också skydda sig mot stänk. Även vissa salter löser sig i sådant vatten varvid askans sammansättning modifieras.

Förutom genom partiell upplösning reagerar aska med vatten genom hydratisering och omkristallisation. Dessa reaktioner ger i flertalet fall upphov till bindning mellan partiklarna i askan men kan också ge upphov till expansion och disintegrering. Ytterligare bindning kan med tiden erhållas genom karbonatisering.

Det är svårt att enbart på teoretisk väg avgöra hur en aska kommer att uppträda ur stelning- och avvattningssynpunkt. Ett viktigt skäl för detta är att ett flertal reaktioner sker men det är svårt att förutsäga ordningsföljden, vilken kan ha en stor betydelse för slutresultatet.

Genom den separation som sker i samband med förbränningsprocessen kommer bottenaskan att innehålla endast en ringa andel av lösliga och reaktiva ämnen. Den blir därför i stor utsträckning inert och därmed lämplig för användning geotekniskt.

Flygaskan blir i stället anrikad med avseende på reaktiva ämnen och kan genomgå de ovan nämnda processerna. Utfallet är beroende av framförallt askans kemiska sammansättning och varierar därmed för olika askor.

¹ Annat än momentant varefter ordentlig sköljning bör ske

3 Laboratorieförsök

3.1 Försök utan karbonatisering och åldring av askan

Enkla laboratorieförsök utfördes för att få ungefärliga värden på permeabilitetskonstanter för de olika askorna samt för sådana blandningar av askor som kan representera vad som kan förekomma i den hittillsvarande askutmatningen.

Ren bottenaska består huvudsakligen av klumpar och innehåller en ringa andel finfraktion. Den dränerar därför lätt och snabbt.

Övriga askor och askblandningar dränerar enligt följande. Permeabilitetskonstanten bestämdes till värden i intervallet $0,7 \cdot 10^{-6}$ - $1,0 \cdot 10^{-6}$. Vid vakuumpumpning svarar en permeabilitetskonstant på 10^{-6} mot en sänkning av en vattenpelare ovanför en två meter hög askbädd med ca 2 centimeter per timme. Slutsatsen från försöket är alltså att det förefaller möjligt att avvattna aska åtminstone om vakuum används.

3.2 Försök med karbonatisering och åldring av askan

Askans permeabilitetskonstant efter konditionering bestämdes till $6 \cdot 10^{-7}$, vilket är ungefär detsamma som erhöles för okonditionerade askor.

Slutsatsen är att de resultat som erhöles inte indikerar att några åldringseffekter skulle påtagligt ändra dräneringsegenskaperna.

4 Försök i halvstor skala

4.1 Försöksuppställning

Försöksuppställningen dimensionerades för att efterlikna sådan dräneringshöjd som kan tänkas förekomma i full skala. Askan fylldes på "kolonner" i form av rör med en höjd av två meter och en diameter på tio centimeter. Rören försågs i nederändan med ett mineralullsfiler för att förhindra igensättning. Filtret vilade mot ett filterstöd, och under detta fanns en anslutning till ett avtappningsrör med en diameter på 15 mm. Avtappningsröret var försett med en kulventil. Evakueringen utfördes med hjälp av en membranpump.

4.2 Försök med bottenaska

4.2.1 Utförande

Försöken avsåg torrutmatad bottenaska från panna 3. Bränslet bestod av 45 % vardera av bark och RT-flis samt 10 % plast. Provtagningen ägde rum den 25 januari 2001.

Utmatning av aska sker normalt genom vattenlås. I samband med denna sker inblandning med flygaska. Att mata ut ren bottenaska är därför svårt. För att få ut prov på ren bottenaska matades denna i stället ut torrt. Askan består av stora klumpar med en minsta dimension på huvuddelen av materialet kring en decimeter. Dessa fortsätter att brinna efter uttaget. För att de skulle bli representativa behövde de därför släckas vilket skedde med hjälp av vattenbegjutning.

För att få plats i avvattningsrören som hade en inre diameter på 100 mm diminuerades klumparna till en största diameter av ca 1/3 av rörens innerdiameter. Sönderdelningen gjordes på ett sådant sätt att endast en ringa andel finfraktion uppkom.

Försöken utfördes dels med färsk aska dels med aska som förvarats under vatten i två veckor. Försöken med den färska askan utfördes med och utan applicering av vakuum.

4.2.2 Resultat och slutsatser

För färsk bottenaska - med samma egenskaper som den som provats - i en bädd vars höjd uppgår till två meter sker dränering från full vattenmättnad till en fukthalt på 10-15 % på mindre än 10 minuter. För huvuddelen av vattnet sker detta betydligt fortare.

Räknat på askans torrhalt har då ca 62-63 viktsprocent vatten avgått (vattenkvoten var ursprungligen 74 %).

Åldrad bottenaska dränerar ungefär lika snabbt och till samma fukthalt. I samband med hantering ökar skrymdensiteten vilket innebär att andelen vatten som dränerar minskar i förhållande till aska som inte hanterats.

Skälet för den snabba dräneringen bedöms vara dels att andelen finfraktion var liten och att vatten kunde flyta mellan klumparna, dels att de flesta porerna i klumparna var alltför stora för att det vatten som initialt fyllde dem skulle kvarhållas kapillärt.

En viss del av porerna var emellertid mindre, varför det vatten som fanns i dem hölls kvar av kapillärkrafter. Denna del svarar mot ca 10 viktsprocent av torrsubstanshalten, och benämns i geotekniska sammanhang *fältkapaciteten*.

I vissa fall kan en del av sådant vatten frigöras med hjälp av vakuum. I föreliggande fall med liten andel finfraktion och en stor andel större klumpar fanns dock stora kanaler runt klumparna vilket medgav fritt luftflöde. Därför erhöles aldrig någon egentlig evakueringsseffekt.

4.3 Försök med blandaska

4.3.1 Utförande

Försöken avsåg aska från panna 3. Bränslet bestod av 45 % vardera av bark och RT-flis samt 10 % plast. Provtagningen ägde rum omedelbart före försökets början den 8 februari 2001.

Provet avsåg den blandaska som genereras och våtutmatas vid anläggningen. I samband med våtutmatningen blandas flygaska, det vill säga elektrofilteraska och cyklonaska samt slam från rökgasreningen, och bottenaska. I medeltal räknar man med vid Tekniska Verken i Linköping AB med att den våtutmatade askan består av 75 % bottenaska och 25 % flygaska.

Ett fåtal av de största klumparna krossades så att den största diametern begränsades till ca halva diametern hos kolonnerna. Krossningen utfördes med försiktighet så att inte onödig finfraktion uppkom.

Försöken utfördes med och utan applicering av vakuum.

4.3.2 Resultat och slutsatser

Resultatet från försöket är i sammandrag som följer:

Färsk vattenmättad blandaska har ungefär samma densitet som vattenmättad bottenaska. Torrhalten är emellertid högre, vilket innebär att kompaktdensiteten är lägre.

Den vattenmättade blandaskan har emellertid mycket annorlunda dräneringsegenskaper jämfört med vattenmättad bottenaska.

Utan vakuum dränerar under de första 13 timmarna bara ca 4 % vatten räknat som fuktkvot. Med vakuum dränerar med samma förutsättningar ca 12 %. Räknat på totalvikten är dessa halter 3 respektive 8 %.

Under det första dygnet sker ett antal kemiska reaktioner som leder till att materialet hårdnar och blir tätande.

Slutsatserna från detta försök är i sammanfattning:

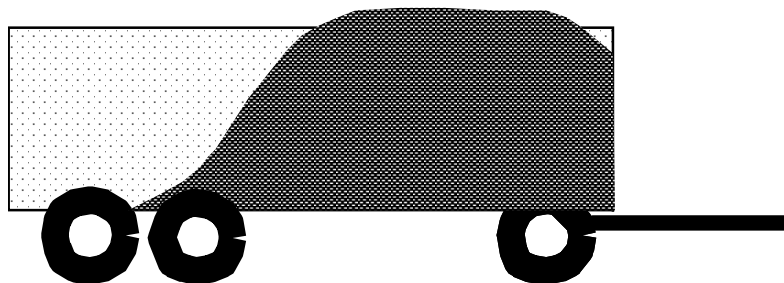
- Blandaska släpper ifrån sig betydligt mindre vatten jämfört med bottenaska
- Dräneringen sker mycket långsammare än för bottenaska
- Blandaska dränerar 2-3 gånger snabbare med hjälp av vakuum jämfört med utan vakuum
- Mängden tillgängligt vatten minskar till följd av kemiska reaktioner
- Mängden mobilt kapillärt bundet vatten minskar genom utveckling av gelartade fällningar
- De uppmätta vattenhalterna i kolonnerna efteråt är oväntat låga
- Eventuellt kan dränering med vakuum utföras för lägre höjd om den kan ske innan hårdningen kommer till stånd

5 Försök i pilotskala

Ett antal olika försök har utförts vid Tekniska Verken i Linköping AB. De redovisas i detalj i Bilaga F med underbilagorna F1 - F5. Många av försöken har utförts före dem som redovisats ovan men ingår ändå här eftersom de avser fullskala.

5.1 Försök med självavrinning på askvagn

Försök med självavrinning på lastvagn har utförts med blandaska från panna 3. Vagnen lastades med 18,5 ton aska med en fukthalt på 30 % på sätt som framgår av Figur 1. Vagnens längd var sex meter.



Figur 1. Försök med självavrinning på lastvagn. Lastens fördelning på vagnen.

Avrinningsförloppet visas i Figur 2.

Av resultaten framgår att endast en mindre del av vatteninnehållet avges. Vidare framgår att huvuddelen av det vatten som dräneras erhålls under de första timmarna, varefter avrinningen avtar snabbt. Efter två dygn dränerades endast två liter på sex timmar (0,3 % av totala mängden vatten som dränerat).

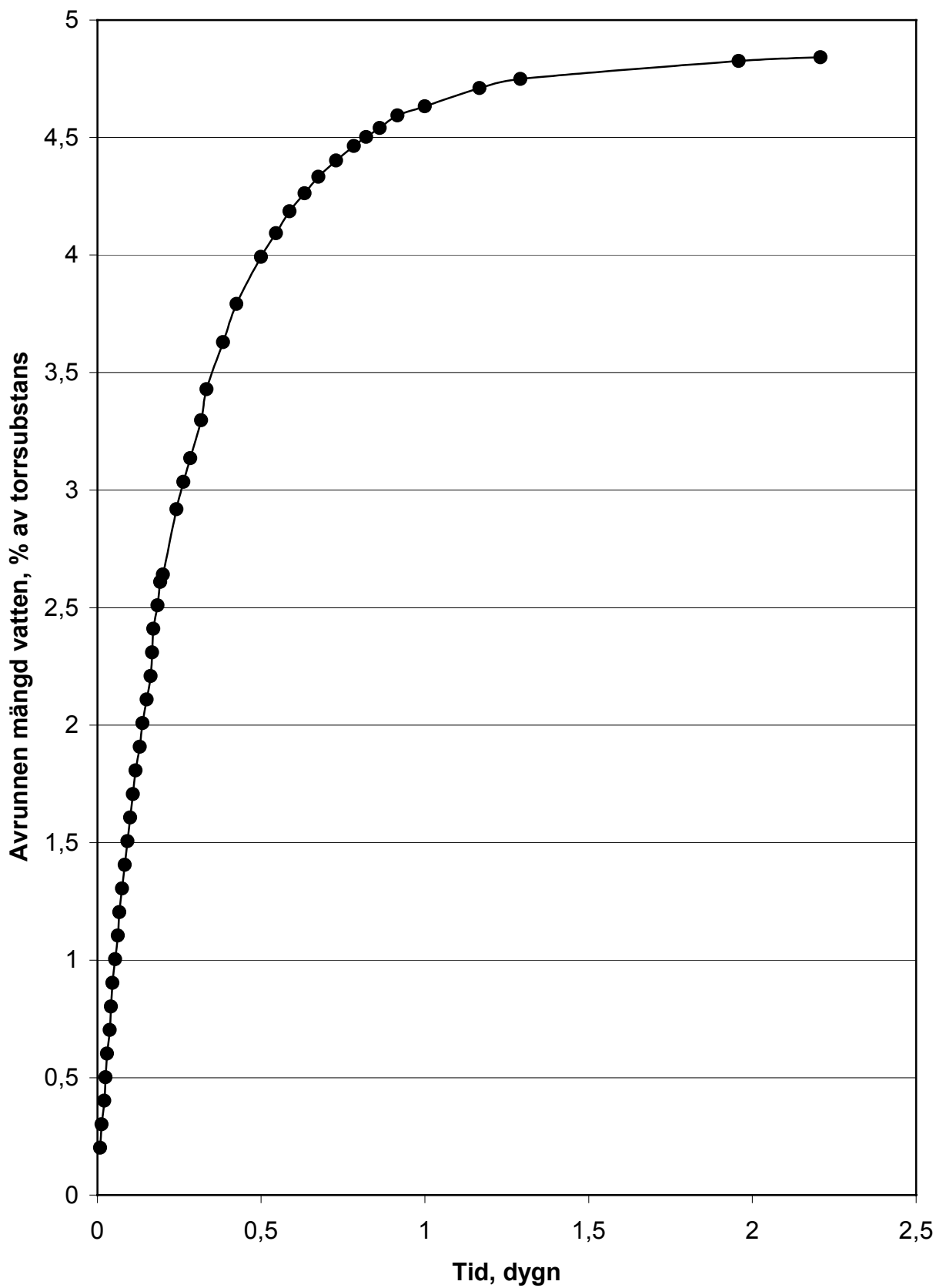
5.2 Försök med skruvpress

Försök har utförts med skruvpress med syfte att undersöka möjligheterna till avvattning.

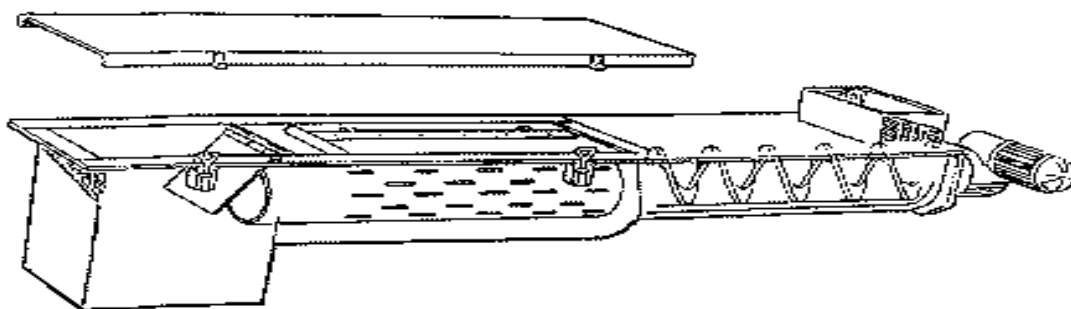
En sprängskiss av en skruvpress visas i Figur 3. Med hjälp av skruven pressas materialet förbi slitsar i en mantelyta varvid vatten och finkornigt material pressas ut och avskiljs.

Samma material pressades genom utrustningen 15 - 20 gånger varvid fukthalten sjönk från 62 % till 25 %. Det utpressade vattnet var grumligt och det avvattnade materialet plastiskt vilket indikerar att en stor mängd fint material fanns kvar.

FÖRSÖK MED SJÄLVAVRINNING PÅ ASKVAGN



Figur 2. Försök med självavrinning på askvagn.



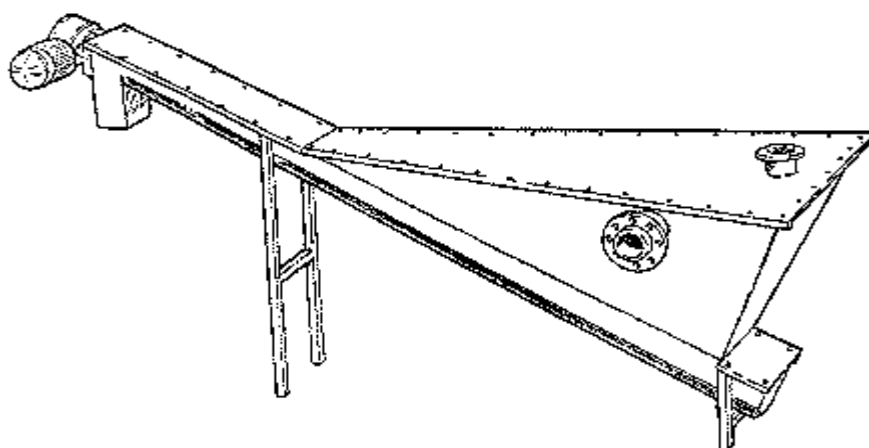
Figur 3. *Skruvpress.*

5.3 Försök med sandavvattnare

Försök har utförts med sandavvattnare med syfte att undersöka möjligheterna till avvattning och till reducering av halterna av sådana ämnen som kan tänkas försvåra användning av askan.

En bild av en sandavvattnare visas i Figur 4. Material med hög densitet och grov kornstorlek fångas upp av skruven som finns i nederdelen av utrustningen. Finkornigt material samt material med låg densitet bräddas över en kant.

Resultaten indikerar att halterna av ämnen som arsenik, bly och zink reduceras med cirka en faktor fem.



Figur 4. *Sandavvattnare.*

5.4 Innehåll av miljöstörande ämnen

Preliminära analyser indikerar att bottenaska från panna 3 klarar de riktvärden som Länsstyrelsen har beträffande användning av kolbottenaska utanför deponi. Resultaten från provtagningarna är behäftade med osäkerhet då det idag är svårt att förutsäga exakt vilken sammansättning bottenaskan kommer att ha efter en separering av askflödena. Även lakförsök kommer att utföras.

Resultaten från de kommande testerna av materialtekniska egenskaper får utvisa till vilken användning materialet är lämpligt. Det är TVL:s förhoppning att bottenaskorna ska kunna användas som konstruktionsmaterial på samma sätt som kol/gummi-bottenaska.

Generellt kan sägas att varje förändring av bränslet medför förändring av kemisk sammansättning och egenskaper hos askan, och det förligger därför behov av ny provtagning och karakterisering för att ”lära känna” materialet. Förändrad bränsleblandning kan innebära ökade (eller minskade) svårigheter att hitta avsättningsmöjligheter för askfraktionerna och detta är en av alla de praktiska och ekonomiska aspekter som behöver övervägas i arbetet med att hitta en optimal bränsleblandning.

Analyser av flygaskorna visar att de på grund av innehållet av bland annat tungmetaller även i fortsättningen måste deponeras.

6 Diskussion och slutsatser

6.1 Förutsättningarna för dränering

För det första kan konstateras att bottenaska dränerar snabbt genom självavrinning. Dräneringen sker relativt fullständigt så att den kvarvarande vattenhalten blir låg. Eftersom det finns kontinuerlig porositet i grova kanaler har evakuering ingen effekt.

Det bör observeras att denna slutsats inte gått att nå utan vidare. Systemets uppbyggnad vid Tekniska Verken i Linköping AB (TVL) är sådan att särskilda föranstaltningar behöver göras för att relevanta mängder av ren bottenaska skall kunna tas ut. Det var genom de ansträngningar som TVL gjort på provtagningssidan i kombination med försök som krävde modesta mängder aska som detta kunde undersökas och konstateras.

För det andra kan konstateras att avvattning av blandningar av flygaska och bottenaska är förenat med flera typer av svårigheter.

Ingående flygaska är så finkorning att vatten dränerar endast långsamt vid självdränering. Denna process kan dock snabbas upp avsevärt om vakuum appliceras.

I praktiken är detta emellertid inte så attraktivt eftersom blandningar av flygaska och bottenaska reagerar relativt snabbt med vatten varvid uppslamningen stelnar och blir svårdränerad. I detta tillstånd hjälper knappast ens evakuering under lång tid.

Dessutom finns indikationer på att åldringsfenomen inträder även i tidsskalan dagar - veckor varvid vattnet binds ytterligare.

Det är sannolikt att dessa eller liknande fenomen uppträder även för ren flygaska.

Mekanisk bearbetning av blandningar av bottenaska och flygaska förbättrar avvattningen men den blir ändå inte effektiv och kan inte jämföras med den hos ren bottenaska.

6.2 Slutsatser för Tekniska Verken i Linköping AB

För Tekniska Verken i Linköping AB innebär ovanstående att bottenaska kan tas ut separat med befintlig utrustning. Den dränerar då snabbt till låg fukthalt. Den kan utan vidare behandling deponeras utan att någon stor kostnad kommer till i form av deponiavgift och skatt för ingående vatten.

Arbets sättet innebär också att hantering av slam med hög vattenhalt undviks. Vidare kan ren bottenaska finna användning i en deponi som friktionsmaterial och/eller som dränerande material.

En sådan hantering innebär vidare att askan sannolikt kan användas för geotekniska ändamål. Mätningar som utförts inom ramen för det i denna rapport redovisade arbetet indikerar att halterna av miljöstörande ämnen är låga och att inga särskilda legala hinder bedöms föreligga mot användning utanför en deponi.

De ovan skisserade lösningarna för bottenaskans del innebär att något nytt behöver göras beträffande flygaskan samt slammet från rökgaskondenseringen. Dessa kan ju inte längre blandas med bottenaska och vatten i tråget under pannan.

Här finns flera tänkbara lösningar, vilka dock ligger utanför ramen för föreliggande arbete. Det kan emellertid nämnas att det redan sedan tidigare finns utrustning vid Tekniska Verken i Linköping för befuktning av flygaska genom applicering av vattenspray samt vändning av den askbädd som kontaktas av sprayen. Inför sommarsäsongen 2001 planeras därför en ombyggnad och trimning av denna utrustning samt ny väg för utmatningen av askan. Tanken är att modifieringarna skall vara genomförda inför eldnings säsongen under vinterhalvåret 2001 - 2002.

Frågan om huruvida askan blir väl släckt hänger till stor del samman med förbränningsförhållandena, dvs intrimning och justering av pannan. Ytterligare säkerställande av god släckning erhålls dessutom genom den spray som appliceras.

Erfarenheter från andra anläggningar (till exempel Igelstaverket i Södertälje) indikerar att damningsbenägenheten blir låg redan vid några procents inblandning av vatten. Detta innebär att askan kan transporteras, hanteras och deponeras utan risk för damning.

Den låga fukthalten innebär vidare att risken för instabilitet och dålig bärighet hos deponerat material elimineras eller i vart fall reduceras avsevärt.

Att flygaskan tas ut separat innebär att den eventuellt kan användas för tätningsändamål.

6.3 Slutsatser för övriga anläggningar

Resultaten från de i denna rapport redovisade studierna är tillämpbara i första hand på rosterpannor.

I fluidbäddpannor erhålls delvis andra askfraktioner. Bottenaskan från en fluidbäddpanna faller i mycket lägre andel av den totala askmängden jämfört med vad som är fallet för en rosterpanna. Dessutom innehåller bottenaskor och cyklonaskor rester från bäddmaterialet. Det kan emellertid antas att sådana askor är mera dränerande jämfört med "rena" flygaskor. Detta ligger dock utanför ramen för föreliggande studier.

För rosterpannor kan sägas att skillnaderna mellan olika pannor ligger sannolikt främst i dels olikheter beträffande de bränslen som används, dels i vilka askfraktioner som tas ut, hur de tas ut och hur de blandas.

Sannolikt föreligger ändå analogier. Bottenaskor kan förväntas vara dränerande. Flygaskor kan tas ut utan att några stora mängder fukt behöver tillföras. I vissa fall kan helt torr utmatning kanske vara att föredra. I så fall behöver transport till deponi utföras på ett sådant sätt att problem med damning inte uppkommer och sannolikt behöver vatten tillföras på deponin så att inte damningsproblem uppstår där. Tillförsel av vatten på en deponi är dock inte förenat med beskattning.

I denna rapport har undersökningsmetodik redovisats med vars hjälp var och en kan skaffa sig den kunskap som behövs som underlag för bedömningar av vilka modifieringar som är optimala i varje enskilt fall.

Följande metoder rekommenderas för följande ändamål:

Metod	Ändamål
Kemisk analys av bränslen med hjälp av provförbränning i liten skala	Planering av driften
Kemisk analys av askor	Underlag för bedömning av möjligheterna till geoteknisk användning
Försök med dränering i laboratorieskala	Uppföljning av dränerande egenskaper
Försök med dränering i halvstor skala	Underlag för bedömningar och beslut om askhanteringsstrategi
Försök med dränering i full skala	Underlag för bedömningar och beslut om askhanteringsstrategi
Försök med åldring av aska och askslam	Underlag för bedömningar och beslut om askhanteringsstrategi

7 Referenser

- 1 Sjöblom R. *Potential för askhantering, utvecklingsbehov*. Värmeforsk, under tryckning.

Bilagor A-F

A Informationssökning

Författare: Rolf Sjöblom, ÅF-Energikonsult AB

A.1 Askbildningsprocesser

Framställningen i det följande utgår i första hand från [1-11].

Förbränningen i en rosterpanna sker huvudsakligen på ytan av de olika flispartiklarna som följer med gasströmmen. I partiklarna sker pyrolys och en förångning av ämnen som sedan förbränns kring ytorna. En stor del av förbränningen sker på rostern där temperaturen är högre än längre upp i pannan.

Den höga temperaturen på rostern innebär att sådana ämnen som kan förflyktigas övergår i gasfas. Därför får man olika kemisk sammansättning hos bottenaska jämfört med flygaska.

Flygaska innehåller dels svårförångat material som ryckts med av gasströmmen, dels flyktigt material som kondenserat när temperaturen sänkts i bakre delen av pannan. Därför får man olika kemisk sammansättning hos olika storleksfraktioner av flygaska. Cyklonaska innehåller större askpartiklar jämfört med elfilteraska, och den senare har ett större innehåll av sådana ämnen som är flyktiga i pannmiljö.

A.2 Kemisk sammansättning

Som närmare framgår av [1] består askan generellt sett av huvudsakligen oxider av kisel, kalcium, aluminium, järn, kalium och natrium (i ordning efter halt i askan). Dessutom ingår kol samt svavel och klor.

Halten kol beror av hur fullständig förbränningen varit. Svavel och klor ingår i bränslet i låga halter, men anrikas i flygaskan, och särskilt filteraskan och slammet från rökgasreningen till följd av sin flyktighet i förbränningsmiljö.

Natrium och kalium samt zink som förekommer i returbränslet bildar flyktiga föreningar tillsammans med klorid, men även svavel, syre och väte.

A.3 Hydratiseringsreaktioner

Torr aska - och särskilt flygaska - genomgår hydratiseringsreaktioner när den kontaktas av vatten. I första hand kan man räkna med att det är kalciumoxid och kalciumsulfat som hydratiseras till kalciumhydroxid respektive kalciumsulfatdihydrat.

Den största termodynamiska drivkraften för sådan hydratisering finns hos kalciumoxiden. Det kunde därför vara frestande att anta att det skulle vara denna som hydratiseras i första hand vid begränsad tillgång på vatten.

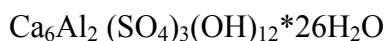
Uppgifter i litteraturen [2] indikerar emellertid att det kan vara kinetiken som styr eftersom reaktionshastigheterna för båda dessa reaktioner kan variera inom vida gränser beroende på de detaljerade betingelserna.

Det förefaller vidare rimligt att anta att den ordning i vilken reaktionerna sker kan ha en stor betydelse för slutresultatet.

Hydratisering av kalciumsulfat (gips) liksom karbonatisering av kalciumhydroxid (se vidare nedan i avsnitt A.4) ger upphov till ny fast fas med god sammanbindningsförmåga. Hydratisering av kalciumoxid innebär en volymsökning. Om denna sker efter det att hydratiseringen av gips ägt rum sprängs strukturen sönder och kan övergå till ett pulver efter några timmar.

Om hydratisering av kalciumoxid äger rum först och övriga reaktioner därefter erhålls däremot sannolikt en produkt med god sammanhållning.

En annan tänkbar reaktion i aktuell kemisk miljö är bildning av ettringit som har följande kemiska formel.



Även denna reaktion ger upphov till expansion på liknande sätt som bildning av kalciumhydroxid. Också i detta fall har ordningsföljden hos olika aktuella reaktioner betydelse.

A.4 Karbonatisering

Aska från träbaserade bränslen uppvisar en hög alkalinitet och ett högt kalkvärde. Det går åt påtagliga mängder syra om man vill försöka balansera denna alkalinitet. Sådana reaktioner sker spontant vid kontakt med luft och i närvaro av fukt. Luftens innehåll av koldioxid (i dagligt tal kallad kolsyra) reagerar nämligen med askans innehåll av kalciumhydroxid varvid kalciumkarbonat bildas. Detta är till stor del samma reaktion som man har i samband med (slut)härdning av kalkbruk och puts. Kalciumkarbonat är huvudkomponenten i kalksten och marmor. Karbonatiserad aska kan förväntas uppvisa en god sammanhållning.

Reaktionerna sker emellertid ofta långsamt av flera skäl.

- Koldioxid reagerar knappast direkt med kalciumoxid utan denna behöver först hydratiseras till kalciumhydroxid vilket kräver närvaro av vatten

- För effektiv karbonatisering krävs dessutom antagligen tillgång till kapillärt bundet vatten (d v s fukt som i fuktig sand)
- Luft innehåller bara ca 0,03 % volymsprocent koldioxid (vilket svarar mot ca 0,6 gram per kubikmeter). Det krävs alltså kontakt med stora volymer luft för att nämnvärda mängder koldioxid skall kunna bindas.
- Koldioxiden skall kontakta askan i den punkt där den skall bindas. För ett askupplag innebär detta att luft skall strömma (eller koldioxid diffundera) genom upplaget vilket går långsamt.

A.5 Utlakning

De lättlösliga salter som förekommer i aska är klorider av natrium, kalium och kalcium samt sulfater av natrium och kalium. I ett askupplag som stått en tid utomhus med förekommande perkolation till följd av regn kan dessa salter ha övergått i "lakvattnet".

Viss betydelse för perkolationsvattnets sammansättning har även kalciumhydroxid, kalciumsulfat och kalciumkarbonat (i nu nämnd ordning för aktuella kemier). Det tar emellertid lång tid innan aska i ett upplag utarmas med avseende på dessa ämnen.

A.6 Omkristallisation

Yta mellan kondenserad fas och luft är förbunden med energi. Ju mindre yta desto lägre energi. Därför är exempelvis små vattendroppar sfäriska.

För ämnen som föreligger i finkornig form - till exempel flygaska - kan energin sänkas genom omlagring till större partiklar.

I aska sker detta genom upplösning av små partiklar i porvattnet och utfällning på ytor av större partiklar. Denna mekanism sker lättare för lättlösliga ämnen jämfört med svårlösliga.

Omkristallisation och så kallad kemisk sintring av materialet sker sålunda lättast för de ovan nämnda lättlösliga salterna. I ett upplag under bar himmel observerar man ändå kanske inte denna effekt eftersom salterna förs bort med lakvattnet.

Därför är det antagligen de något lösliga salterna kalciumhydroxid, kalciumsulfat och kalciumkarbonat som med tiden ger hopbindning av askan.

Till omkristallisation kan man också räkna omvandlingsprocesser som har hög drivkraft (termodynamiskt mycket gynnsamma) men där hastigheten ändå är låg (kinetiskt hindrade). Till denna kategori hör många reaktioner med oxidiska material som innehåller kisel och aluminium.

I konventionell cementtillverkning upphettas klinkern till mycket höga temperaturer för att åstadkomma en total omvandling av inbegående material vilket ger hög homogenitet, hög reproducerbarhet, hög reaktivitet när det malda materialet försätts med vatten samt mycket goda materialegenskaper.

Den moderna betongtekniken är dock bara något hundratal år gammal. Periodvis i historien har man använd endast jordmaterial och bränd kalk (kalkbränning kan utföras vid mycket lägre temperatur än cementtillverkning), men i ett stort antal fall och under ca ett par tusen år har man blandat kalk och malt material som naturligt (vulkaner) eller konstlat (tegel) aktiverats och gjorts mindre vattenabsorberande.

Med sådana metoder kan blandningar med relativt goda hydrauliska (självhärdande d v s härddar utan tillgång till luft) egenskaper erhållas. Till stor del sker dock härdningen på ytor av partiklar medan material inuti partiklar kan vara oreagerat.

Härdningsförloppen äger rum under lång tid och man har observerat att kalk fortfarande föreligger i ohydratiserad form i "betong" som är från romartiden.

Av uppgifter i [3] framgår att bindande egenskaper erhålls för mycket stora variationer i sammansättning. (Detta skall jämföras med sammansättningen hos modern betong som hålls inom snäva gränser).

Det skulle föra alltför långt att här gå in i detaljerna i kemin. Det bör emellertid konstateras att härdningsreaktioner i aska som försatts med vatten inte inskränker sig till bara hydratisering och omlagring av någorlunda lösligt material. De innefattar också (åtminstone partiell) upplösning av ämnen som innehåller kisel och aluminium samt bildande av aluminat och silikat (sannolikt i första hand kombinationer av dessa) av de katjoner som finns i lösning, i första hand kalcium.

A.7 Slutsatser

Vatten som är i kontakt med färsk aska får ett högt pH-värde, d v s bildar lut (likt en blandning av kaustiksoda och vatten). Denna är frätande och man bör inte låta luten komma i kontakt med oskyddad hud² och man bör också skydda sig mot stänk. Även vissa salter löser sig i sådant vatten varvid askans sammansättning modifieras.

Förutom genom partiell upplösning reagerar aska med vatten genom hydratisering och omkristallisation. Dessa reaktioner ger i flertalet fall upphov till bindning mellan partiklarna i askan men kan också ge upphov till expansion och disintegrering. Ytterligare bindning kan med tiden erhållas genom karbonatisering.

²

Annat än momentant verefter ordentlig sköljning bör ske

Det är svårt att enbart på teoretisk väg avgöra hur en aska kommer att uppträda ur stelnings- och avvattningssynpunkt. Ett viktigt skäl för detta är att ett flertal reaktioner sker men det är svårt att förutsäga ordningsföljden, vilken kan ha en stor betydelse för slutresultatet.

Genom den separation som sker i samband med förbränningsprocessen kommer botenaskan att innehålla endast en ringa andel av lösliga och reaktiva ämnen. Den blir därför i stor utsträckning inert och därmed lämplig för användning geotekniskt.

Flygaskan blir i stället anrikad med avseende på reaktiva ämnen och kan genomgå de ovan nämnda processerna. Utfallet är beroende av framförallt askans kemiska sammansättning och varierar därmed för olika askor.

A.8 Referenser

- 1 Sjöblom R. Hypoteser och mekanismer för bildning av beläggningar innehållande zink och bly vid eldning av returflis. Värmeforsk under tryckning.
- 2 Barbarea Elvers, Editor. Lime and limestone. Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry, Vol 15, femte upplagan. VCH Verlagsgesellschaft mbH, D-6940 Weinheim, Germany, 1990. ISBN 3-527-20115-7.
- 3 Lea F M and Hewlett P C. Chemistry of cement and concrete. John Wiley & sons, fjärde utgåvan, 1997. ISBN 0340565896.
- 4 Barbarea Elvers, Editor. Cement and concrete. Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry, Vol 5, femte upplagan. VCH Verlagsgesellschaft mbH, D-6940 Weinheim, Germany, 1986. ISBN 3-527-20105-X.
- 5 Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry. VCH Verlagsgesellschaft mbH, D-6940 Weinheim, Germany, 1986. ISBN 3-527-20105-X. Följande uppslagsord: gypsum, potassium compounds, sodium compounds, calcium compounds, sodium chloride, calcium chloride.
- 6 Hägg G. Allmän och oorganisk kemi. Almqvist & Wiksell, Stockholm 1966.
- 7 Bailey S W, Editor. Hydrous phyllosilicates. Reviews in mineralogy, Volume 19. Mineralogical Society of America. ISBN 0-939950-23-5.
- 8 Hochella M F and White A F, Editors. Mineral-water interface geochemistry. Reviews in mineralogy, Volume 23. Mineralogical Society of America. ISBN 0-939950-28-6.
- 9 Mitchell J K. Fundamentals of soil behavior. Second edition, 1993. John Wiley & sons. ISBN 0-471-85640-1.

- 10 Faure G. Principles and applications of geochemistry. Second edition 1991. Prentice-Hall, Inc. ISBN 0-02-336450-5.
- 11 Stumm W and Morgan J J. Aquatic chemistry, chemical equilibria and rates in natural waters. Third edition 1996. John Wiley & sons. ISBN 0-471-51184-6.

B Permeabilitetsmätningar utan karbonatisering och åldring

Författare: Anna Arevius och Rolf Sjöblom, ÅF-Energikonsult AB

B.1 Huvudtext

Permeabilitetsmätningar har utförts i laboratorieskala med syfte att få underlag för försök med avvattning i halvstor skala. Försöken har utförts utan tillsats av koldioxid.

Försöken avsåg tre typer av aska: torrutmattad bottenaska från panna, aska från elfilter samt flygaska. Bränslet bestod av bark och RT-flis (45 % vardera) samt plast. För att få en uppskattning om variabilitet har aska från elfilter samt flygaska uttagits vid tre separata tillfällen studerats, bottenaskan har däremot tagits vid ett tillfälle.

Bottenaskan består av stora block med minsta dimension på huvuddelen av materialet omkring en decimeter. För att få plats i Büchnertratten som hade en diameter på 7 cm diminuerades bottenaskan med rörtång (med gapviddsbegränsning). Därefter fick den passera ett metallnät för att sortera bort de största bitarna. Nätets håll var av storleksordningen 9 mm*9 mm.

Permeabilitetsförsöken utfördes med samma mängd material varje gång, räknat som torrt material. Eftersom fukthalten varierade i de olika proverna bestämdes denna inför varje försöksomgång.

Fuktkvoten bestämdes genom torkning av ca 10 gram material i öppet glaskärl i ugn vid 105 °C över natt. All vägning ägde rum vid rumstemperatur (hos provet). Resultaten av fukthaltsmätningarna framgår av tabellen nedan.

Prov	Vikt med fukt	Vikt utan fukt	Fuktkvot(1) %
Elfilter 1	0,14992	0,14900	0,61
Elfilter 2	0,02087	0,02085	0,10
Elfilter 3	0,04883	0,04865	0,37
Flygaska 1	0,29836	0,29709	0,43
Flygaska 2	0,09119	0,07724	15,30
Flygaska 3	0,07433	0,07221	2,85
Bottenaska	2,41779	2,34739	2,83

(1) Med fuktkvot avses viktsförlusten dividerad med vikten för det torra provet.

Cirka 15 gram, räknat som torr aska, användes till försöken med elfilteraska och flygaska, vilket gav en filterkaka med tjocklek som uppgick till ca 1 cm. Bottenaskan däremot var tyngre och bestod av klumpar. Därför krävdes mer bottenaska för att ge en filterkaka med ungefär samma tjocklek.

Permeabilitetsmätningarna utfördes dels på de olika proverna dels på olika blandningar av flygaska, aska från elfilter och bottenaska, se nedan.

Försöken utfördes enligt följande.

Huvudkomponenten i utrustningen som användes var en Büchnertratt. En sådan är gjord i ett keramiskt material och har en cylinderformad överdel. Den har vidare en inbyggd platta med perforeringar på vilket ett filterpapper kan läggas. Pipen är försedd med en gummipackning som tätar till en vakuumkan av Erlen-Meyer-typ. Kolven har en nippel på vilken kopplats en vakuumslang som är förbunden med en vakuumpump. Vid användningen hålls den vätska som skall filtreras i den cylindriska delen varvid vakuomet gör att filtratet passerar filtret och rinner ner i kolven.

Askkan blandades med vatten och hölls ner i Büchnertratten. Vattensugen startades så att en filterkaka erhöles, därefter stängdes vattensugen av och en wettexduk lades på filterkakan för att förhindra att partiklar lossnade från filterkakan då vatten hölls på. Därefter startades vattensugen igen och 150 ml vatten hölls i tratten. E-kolven under Büchnertratten var graderad så att vattnets genomströmningshastighet kunde mätas med stoppur. Vattensugen stängdes av efter 3,5 minuter och fuktprov togs av filterkakan, fukthalten förväntades bli hög då filterkakan inte tilläts dränera fullständigt. Med andra ord stängdes vattensugen av medan vatten fortfarande droppade från Büchnertratten.

Permeabilitetskonstanten kunde därefter beräknas med formeln[1]:

$$Q = A \cdot k \cdot h \cdot t / L$$

Q= volym vatten som passerat filterkakan [m³]

k= permeabilitets konstant [m/s]

A= arean av filterkakan [m²]

L= filterkakans tjocklek [m]

h = höjden på vattenpelaren över filterkakan [m]

I formeln ovan betecknar h vattenpelaren över filterkakan; i fallet med Büchnertratt och vattensug har vi ett pålagt tryck orsakat av vattensugen som är ca 1 bar vilket motsvarar en vattenpelare med höjden 10,2 m.[2]

Resultaten av mätningarna framgår av tabellen på nästa sida.

Resultaten från permeabilitetsmätningarna blev som följer:

Prov	Flöde Q/t [ml/s]	Permeabilitets konstant [m/s]	Fuktkvot (1) %
100% elfilteraska			
Prov 1	3,63	$9,25 \cdot 10^{-7}$	50,2 %
Prov 2	3,50	$8,92 \cdot 10^{-7}$	40,6 %
Prov 3	3,28	$8,36 \cdot 10^{-7}$	45,1 %
100% flygaska			
Prov 1	3,50	$8,91 \cdot 10^{-7}$	37,2 %
Prov 2	2,96	$7,54 \cdot 10^{-7}$	38,8 %
Prov 3	3,00	$7,64 \cdot 10^{-7}$	45,0 %
100% bottenaska			
Prov 1	5,45	$1,38 \cdot 10^{-6}$	4,7 %
60% elfilteraska, 20% bottenaska, 20% flygaska			
Prov 1	3,20	$8,15 \cdot 10^{-7}$	28,9 %
Prov 2	3,05	$7,78 \cdot 10^{-7}$	19,1 %
Prov 3	3,15	$8,03 \cdot 10^{-7}$	23,3 %
60% flygaska , 20% bottenaska, 20%elfilteraska			
Prov 1	3,06	$7,81 \cdot 10^{-7}$	23,4 %
Prov 2	3,16	$8,07 \cdot 10^{-7}$	36,7 %
Prov3	3,11	$7,93 \cdot 10^{-7}$	31,2 %
60% bottenaska, 20% flygaska, 20% elfilteraska			
Prov 1	3,80	$9,69 \cdot 10^{-7}$	15,1 %
Prov 2	3,96	$1,01 \cdot 10^{-6}$	19,3 %
Prov 3	3,85	$9,81 \cdot 10^{-7}$	16,4 %

(1) Med fuktkvot avses viktsförlusten dividerad med vikten för det torra provet.

Ren bottenaska består huvudsakligen av klumpar och innehåller en ringa andel finfraktion. Den dränerar därför lätt och snabbt.

Övriga askor och askblandningar dränerade enligt följande. Vid vakuumpumpning svarar en permeabilitetskonstant på 10^{-6} mot en sänkning av en vattenpelare ovanför en två meter hög askbädd med ca 2 centimeter per timme. Slutsatsen från försöket är alltså att det förefaller möjligt att avvattna aska åtminstone om vakuum används.

B.2 Referenser

- 1 Braja M. Das (2000) "Fundamentals of Geotechnical Engineering" Brooks/Cole, Pacific Grove
- 2 Eva Bonde-Wiiburg (1992)"Karlebo Handbok" Liber Utbildning, Stockholm, s.53

C Permeabilitetsmätningar med karbonatisering och åldring

Författare: Anna Arevius och Rolf Sjöblom, ÅF-Energikonsult AB

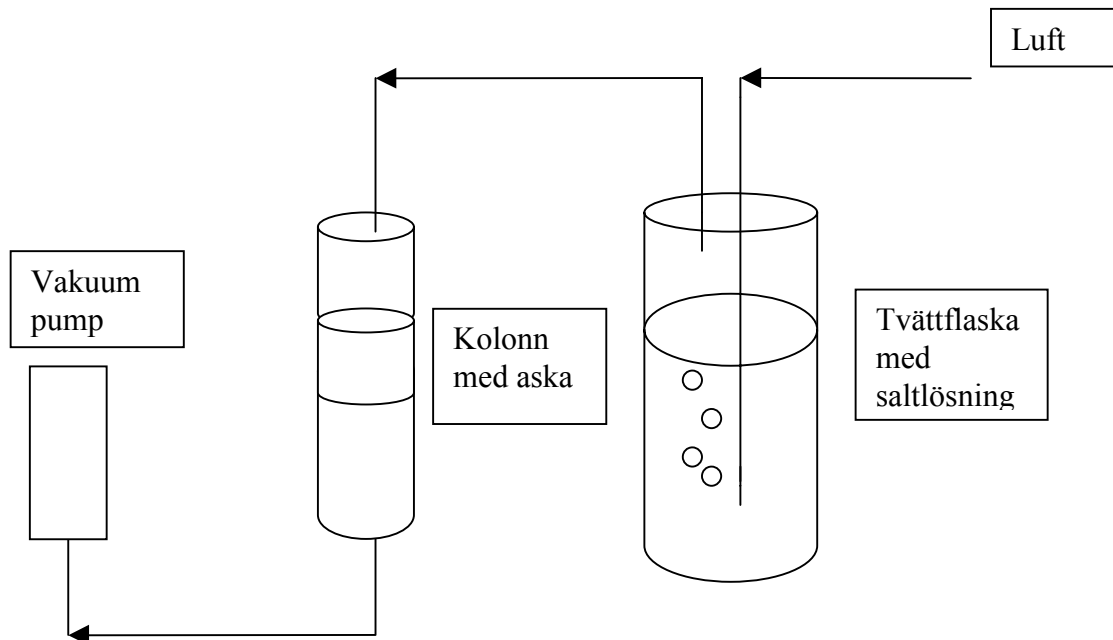
C.1 Huvudtext

Som redovisas i Bilaga A kan karbonatisering samt åldring tänkas innebära att askans egenskaper förändras och att dess genomsläpplighet för vatten minskar eller ökar. De försök som beskrivs i detta avsnitt syftade till att söka fånga upp sådana eventuella effekter.

Elfilteraska valdes för samtliga försök därför att denna är mest reaktiv och kan förväntas genomgå de största förändringarna i samband med karbonatisering och åldring.

För att simulera koldioxidupptag luft med relativ fukthalt representativ för utomhusluft utfördes konditionering av aska från elfilter enligt följande, se nedanstående figur.

Apparatuppställning



Luft dras genom apparaturen med hjälp av en vakuumpump. Den inkommande luften fuktas då den passerar en tvättflaska med mättad saltlösning av natriumsulfat (Na_2SO_4) vilket ger luften en relativ fukthalt på 90%. Därefter passerar den fuktiga luften en ask-

bädd bestående av 16 gram aska från elfiltret. Askan tillförs därmed både koldioxid och vatten.

Askan som används hade från början en fukthalt på 0,61 % och en permeabilitetskonstant på $9,3 \cdot 10^{-7}$, se Bilaga B. I denna Bilaga har Fukthalt och permeabilitetskonstant bestämts på samma sätt som tidigare beskrivits i Bilaga B.

Flödet justerades så att det uppgick till 10 milliliter per sekund. Uppskattning av nödvändig konditioneringstid gjordes enligt följande. Provets vikt var ca 16 gram varav högst hälften bedömes kunna vara kalciumoxid. Eftersom kalciumoxid har en molvikt på 56 innebär detta att 0,14 moler koldioxid behöver tillföras.

Luft innehåller 0,03 % volymsprocent[1] (=molprocent) koldioxid, d v s 0,013 moler per kubikmeter, eftersom en mil gas vid normaltillstånd upptar en volym på 22,4 liter. Alltså åtgår ca 11 kubikmeter luft om all koldioxid upptas. För att pumpa 11 kubikmeter luft vid ett flöde på 10 milliliter per sekund åtgår ca 13 dygn.

Vid detta försök har dock askan stått i ca 34 dygn och därmed tillförts ungefär den dubbla stökiometriska mängden koldioxid. (Inga undersökningar har utförts vad gäller hur stor andel av koldioxiden som verkligen har reagerat.

Askans permeabilitetskonstant efter konditionering bestämdes till $5,9 \cdot 10^{-7}$, vilket är något lägre än före konditionering, men ungefär detsamma som tidigare erhållits för okonditionerade askor.

Slutsatsen är att de resultat som erhållits inte indikerar att några åldringseffekter skulle påtagligt ändra dräneringsegenskaperna.

C.2 Referenser

- 1 Braja M. Das (2000) "Fundamentals of Geotechnical Engineering" Brooks/Cole, Pacific Grove

D Försök i halvstor skala med bottenaska

Författare: Anna Arevius och Rolf Sjöblom, ÅF-Energikonsult; Ulf Carlson och Anders Fredriksson, Tekniska Verken i Linköping AB

D.1 Försöksuppställning

Försöksuppställningen dimensionerades för att efterlikna sådan dräneringshöjd som kan tänkas förekomma i full skala. Detta gäller såväl en askbädd med avrinning med hjälp av enbart gravitationen, som en askbädd för evakuering med vakuüm.

Askkan fylldes därför på "kolonner" i form av rör med en höjd av två meter och en diameter på tio centimeter. Rören försågs i nederändan med ett mineralullsfilter för att förhindra igensättning. Filtret vilade mot ett filterstöd, och under detta fanns en anslutning till ett avtappningsrör med en diameter på 15 mm. Avtappningsröret var försett med en kulventil.

Två kolonner tillverkades med hjälp av standardkomponenter för rörmokeri från Gjerdmans Rör i Nyköping som också stod för "detaljprojekteringen" och utförandet. Mineralullsfiltret togs emellertid från en byggfirma och var av den styva typ som används för isolering av husgrunder.

Evakueringen utfördes med hjälp av en membranpump samt en kolv av Erlen-Meyer-typ utformad för att användas i samband med vakuüm. Den vätska som samlades i kolven i samband med evakuering tömdes med jämna mellanrum över på engångsflaskor för vägning.

Försöksuppställningen var monterad på ett trästativ som tillverkades specifikt för föreliggande ändamål.

D.2 Provmaterial

Försöken avsåg torrutmata bottenaska från panna 3. Bränslet bestod av 45 % vardera av bark och RT-flis samt 10 % plast. Provtagningen ägde rum den 25 januari 2001.

Utmatning av aska sker normalt genom vattenlås. I samband med detta sker inblandning med flygaska. Att mata ut ren bottenaska är därför svårt. För att få ut prov på ren bottenaska matades denna i stället ut torr. Askkan består av stora klumpar med en minsta dimension på huvuddelen av materialet kring en decimeter. Dessa fortsätter att brinna efter uttaget. För att de skulle bli representativa behövde de därför släckas vilket skedde med hjälp av vattenbegjutning.

För att få plats i avvattningsrören som hade en inre diameter på 100 mm behövde klumparna diminueras. Detta skedde dels med hammare mot mjukt underlag, dels med rörtång (med gapviddsbegränsning) så att materialet skulle krossas så lite som möjligt, och så att så lite finfraktion som möjligt bildades. Största diametern hos klumparna av diminuerat material var ca 1/3 av rörens diameter. Till följd av den nedkrossningsmetodik som använts erhöles en mycket liten andel finfraktion. Denna fördelning skiljer sig avsevärt från vad som erhålls i till exempel stång- och kulkvarnar, i vilka finfraktionen typiskt dominerar.

Med största diametern ca 1/3 av rörens innerdiameter förväntas vissa randeffekter som påverkar den hydrauliska konduktivitet som uppmäts. Dessa bedömdes emellertid kraftigt understiga effekten av diminueringen, varför arrangemanget bedömdes som klart pessimistiskt.

D.3 Försök med färsk aska

En dag efter provtagningen fylldes två rör med provmaterial enligt ovan. Rören markerades med A respektive B. Rör B var försett med möjlighet till evakuering med hjälp av en vakuumpump.

Vardera röret fylldes med 15,0 kilo befuktad och diminuerad bottenaska. På det material som inte gick åt utfördes fukthaltsmätningar enligt följande:

Prov	vikt med fukt, kg	viktsförlust, kg	viktsförlust %
a	0,74	0,10	14
b	0,58	0,04	7
c	0,58	0,04	7
Medelvärde	1,90	0,18	9

Viktsförlusten på 9 % svarar mot en fuktkvot³ på 10 %.

Vikterna bestämdes med hushållsvåg med en upplösning/precision på <0,02 kg. Viktsförlusten bestämdes efter uppvärmning i ugn till 180 °C över natt. I samband med försöket konstaterades att konstant vikt med stor noggrannhet erhålls redan efter några timmar. Proverna uppvärmdes i en liters tomma plåtburkar av metall och utan lock.

Variationerna i vikt beror sannolikt på skillnader i kornstorleksfördelning hos de olika proverna. Finkornigt material tenderade att hamna längst ner i burkarna, och blev då också fuktigast.

Omräknat till torrhalt svarar alltså de 15,0 kilo uppvägt material mot 13,7 kilo torrt material och 1,3 kilo vatten.

³ Med fuktkvot avses vikten vatten dividerat med torrvikten

Rören fylldes med material enligt följande.

Initialdata rören	Försök A	Försök B (vakuummöjl.)
Vikt bottenaska	15 kg	15 kg
Varav torrs substans	13,7	13,7
Varav vatten	1,3	1,3
Höjd askpelare	194 cm	189 cm
Volym aska	15,2 liter	14,8 liter
Påfyllt vatten	9,0 liter	9,0 liter
Skrymdensitet, initial	0,99 ton/m ³	1,01 ton/m ³
Fuktkvot vid full vattenmättnad %	74 %	74 %
Skrymdensitet, vattenmättad*	1,56 ton/m ³	1,61 ton/m ³
Skrymdensitet, dränerad	1,00 ton/m ³	1,02 ton/m ³
Kompaktdensitet	2,67 ton/m ³	2,90 ton/m ³

* Bottenfiltret tog upp 0,23 liter vatten (före evakuering)

Efter öppning av bottenventilerna enligt försök A och B inträffade följande

Tid m m	Försök A	Försök B (vakuummöjl.)
Initialt läckage till följd av otät botten tätning, uppskattat värde	0,10 kg	0,10 kg
0-10 minuter	8,25 kg	8,22 kg
10-70 minuter	0,21 kg	0,24 kg
70-130 minuter, vakuumpumpning i rör B	0,07 kg	0,11 kg
Kvar i bottenfilter enligt vägning efteråt	0,23 kg	0,21 kg
Totalt bortfört vatten	8,86 kg	8,88 kg

Avvattningsförloppet var mycket likartat för de båda proverna. Skillnaden bestod i att en skvätt vatten kom ut i samband med att vakuumpumpen startades, vilket skedde efter 70 minuter. Som framgår av vägningarna förefaller detta ha kommit från avvattning av bottenfiltret.

Eftersom förloppen var så likartade och eftersom det bedömdes vara av intresse att göra om försöket med material som åldrats under vatten togs prover ut från rör B medan innehållet i rör A sparades för försök C, se nedan. Försöken med det sparade materialet redovisas nedan under rubriken "Försök med åldrad aska".

Jämförelser mellan försöken A och B visar att dräneringen sker ungefär lika snabbt. Påförd vattenmängd rinner av inom loppet av ett par timmar, och det allra mesta kommer inom loppet av mindre än tio minuter.

Efter försöken A och B sågades rör A upp med jämna intervall och prover uttogs för mätningar av fukthalt. Resultatet framgår ur nedanstående tabell.

Antal centimeter från botten	vikt med fukt, kg	viktsförlust, kg	viktsförlust %
20	0,68	0,06	9
60	0,72	0,10	14
100	0,82	0,09	11
140	0,62	0,04	6
180	0,66	0,06	9
Medelvärde	3,50	0,35	10

Variationerna i tabellen ovan härrör sannolikt - i likhet med dem enligt tabell tidigare i denna Bilaga - från fluktuationer till följd av segregering av olika kornstorlekar. Inget beroende av läget i höjded i röret kunde konstateras.

Om skillnaden på en procent är signifikant så innebär den ca 0,15 kg vatten. Denna skillnad stämmer väl med den skillnad som förväntas utgående från förlorat vatten enligt balansen enligt ovan för tillfört och uttaget vatten vilket uppgår till 0,14 kg för rör A och 0,12 liter för rör B. (Det bör dock påpekas att överensstämmelsen kopplar till vilket antagande som gjorts beträffande hur mycket vatten som läckte ut på golvet till följd av läckage och spill.)

D.4 Försök med åldrad aska

Försöket med åldrad aska, försök C, utfördes 14 dagar efter provtagningen. Vid detta försök användes samma material som i försöket utan evakuering (rör A). Under mellantiden hade materialet förvarats under vatten i ett plastkärl med tättslutande lock. På så sätt förväntades eventuella hydratiseringsreaktioner äga rum, men däremot inte karbonatisering eftersom den tillgängliga luften innehöll försumbara mängder koldioxid jämfört med kalkvärdet hos askan.

Det material som tidigare använts i kolonn A hade då fyllt röret till en höjd av 194 cm. Vid fyllningen 14 dagar efter provtagningen uppgick kolonnhöjden (vid första försöket) till 175 centimeter. Till följd av ett missöde i samband med att kolonnen höjdes till "dräneringsnivå" lossnade botten varför kolonnen fick packas om. Denna (andra) gång blev höjden 166 centimeter.

Mängden förlorat material var litet. Skillnaderna i packningshöjd beror på att bottenaskan har en låg mekanisk hållfasthet så att en viss sönderdelning sker i samband med fyllning, vilket ökar skrymdensiteten.

Röret innehöll material enligt följande.

Initialdata	Försök C
Aska torrsubstans	13,7 kg
Kompaktdensitet enligt försöken A och B	2,8 ton/m ³
Kompaktvolym torr aska	4,9 liter
Höjd askpelare†	166 cm
Volym aska	13,0 liter
Tillfört vatten†	6,6 liter
Volym vatten i påförd aska*	1,7 liter
Fuktkvot vid full vattenmättnad %	61 %
Skrymdensitet, initial	0,99 ton/m ³
Skrymdensitet, torr	0,90 ton/m ³

* Askpelarens volym - påfyllt vatten - askans kompaktvolym + filtrets volym

† Vid det första fyllningsförsöket var höjden 175 centimeter och mängden påfyllt vatten 7,0 liter.

Enligt uppskattningen ovan innehöll askan mera vatten jämfört med i försök A. Det finns flera skäl till tänkbara skillnader i fukthalt hos dränerat material mellan försöken A och B i förhållande till försök C.

- I försök A hade askan dränerat under ett dygn jämfört med bara några minuter i försök C
- Askans i försök A och B hade inte förvarats under vatten utan bara befuktats till fullständig släckning
- Vatten kan ha bundits till bottenaskan under lagringstiden
- Mindre volym innesluten luft i det material som legat under vatten
- En viss (men liten) mängd fast material förlorades i samband med att bottenstycket lossnade

Som slutsats väljs den enklaste förklaringen, nämligen att skillnaden i vattenhalt beror på materialet som användes för försöken A och B inte förvarats under vatten och därför innehöll innesluten luft i porerna.

Efter öppning av bottenventilen inträffade följande:

Tid m m	Försök C
0-5 minuter	6,58
5-15 minuter	0,22
15-118 minuter	0,16
Totalt mängd dränerat vatten	6,96

På det material som dränerats i försök C utfördes fukthaltsmätningar (180°C, 12 timmar) enligt följande:

Prov	vikt med fukt, g	viktsförlust, g	viktsförlust %
a	586	537	8,4
b	617	564	8,6
c	556	509	8,5
Medelvärde			8,5

Viktsförlusten på 8,5 % svarar mot en fuktkvot på 9,0 %.

D.5 Slutsatser

För färsk bottenaska - med samma egenskaper som den som provats - i en bädd vars höjd uppgår till två meter sker dränering från full vattenmättnad till en fukthalt på 10-15 % på mindre än 10 minuter. För huvuddelen av vattnet sker detta betydligt fortare (i försöket begränsades flödet sannolikt initialt av dimensionen hos slangar och ventiler).

Räknat på askans torrhalt har då ca 62-63 viktsprocent vatten avgått (vattenkvoten var ursprungligen 74 %).

Åldrad bottenaska dränerar ungefär lika snabbt och till samma fukthalt. I samband med hantering ökar skrymdensiteten vilket innebär att andelen vatten som dränerar minskar i förhållande till aska som inte hanterats.

Skälet för den snabba dräneringen bedöms vara dels att andelen finfraktion var liten och att vatten kunde flyta mellan klumparna, dels att de flesta porerna i klumparna var alltför stora för att det vatten som initialt fyllde dem skulle kvarhållas kapillärt.

En viss del av porerna var emellertid mindre, varför det vatten som fanns i dem hölls kvar av kapillärkrafter. Denna del svarar mot ca 10 viktsprocent av torrsustanshalten, och benämns i geotekniska sammanhang *fältkapaciteten*.

I vissa fall kan en del av sådant vatten frigöras med hjälp av vakuum. I föreliggande fall med liten andel finfraktion och en stor andel större klumpar fanns dock stora kanaler runt klumparna vilket medgav fritt luftflöde. Därför erhöles aldrig någon egentlig evakueringsseffekt.

E Försök i halvstor skala med blandaska

Författare: Anna Arevius och Rolf Sjöblom, ÅF-Energikonsult AB; Ulf Carlson och Anders Fredriksson, Tekniska Verken i Linköping AB

E.1 Försöksuppställning

Samma försöksuppställning användes som i tidigare försök, se Bilaga D.

E.2 Provmaterial

Försöken avsåg aska från panna 3. Bränslet bestod av 45 % vardera av bark och RT-flis samt 10 % plast. Provtagningen ägde rum omedelbart före försökets början den 8 februari 2001.

Provet avsåg den blandaska som genereras och våtutmatas vid anläggningen. I samband med våtutmatningen blandas flygaska, det vill säga elektrofilteraska och cyklonaska samt slam från rökgasreningen, och bottenaska. I medeltal räknar man med vid Tekniska Verken i Linköping AB med att den våtutmatade askan består av 75 % bottenaska och 25 % flygaska.

Ett alternativt sätt att erhålla provmaterial hade kunnat vara att ta ut olika typer av askor som faller torrt och att sedan blanda dem i väl bestämda proportioner samt sedan befukta.

Syftet var emellertid att erhålla ett prov som så nära som möjligt liknade den aska som genererades, varför provmaterial togs direkt ur den våta askutmatningen. Andelarna av olika askor är därför ej kända i detalj.

I samband med den automatiska hanteringen sker en diminuering av de stora klumpar som faller från rostern och ner i vattenbadet. Ett fåtal av de största klumparna krossades så att den största diametern begränsades till ca 5 centimeter, det vill säga ca halva diametern hos kolonnerna. Krossningen utfördes med försiktighet så att inte onödig finfraktion uppkom.

Partikelstorleksfördelningen var därefter sådan att endast en mindre del av materialet utgjordes av större klumpar (men fortfarande mindre i största diameter än ca 5 centimeter), och packningen i kolonnerna föreföll ske utan att håligheter uppkom i materialet.

E.3 Utförande

Materialet fylldes i två rör med 200 centimeters höjd. Rören markerades med D respektive E. Rör E var försett med möjlighet till evakuering med hjälp av en vakuumpump. Nederändan av vardera röret var försett med ett partikelfilter i form av styv mineralulls-isolering.

Rör D fylldes med 23,8 kilo och rör E med 23,6 kilo blandaska. Efter fyllningen stod vatten i nivå med överdelen av askpartiklarna, varför ingen efterfyllning med vatten utfördes.

På det material som inte gick åt utfördes fukthaltsmätningar enligt följande. Fukthalten bestämdes efter torkning i 180 °C under 11 timmar och 30 timmar. Vikten höll sig konstant mellan 11 och 30 timmar.

Prov	vikt med fukt, g	viktsförlust, g	viktsförlust %
a	497	179	36
b	368	129	35
c	418	161	39
Medelvärde			37

Fukthalten på 37 % svarar mot en fuktkvot på 59 %.

Vikterna bestämdes med hushållsvåg med en upplösning/precision på 0,001 kg. Viktsförlusten bestämdes efter uppvärmning i ugn till 180 °C över natt. I samband med försöket konstaterades att konstant vikt med stor noggrannhet erhålls redan efter några timmar. Proverna uppvärmdes i en liters tomma plåtburkar av metall och utan lock.

Som framgår nedan uppkom solidifieringsreaktioner i askorna i båda kolonnerna. Det kunde därför befaras att en del av tillfört vatten skulle kunna bindas kemiskt på så sätt att det inte skulle komma med i mätningen av fukthalt.

För att undersöka om detta var fallet togs två prov vardera av cyklonaska och flygaska. Proverna tog ut torrt. Materialet vägdes in i plåtburkar och försattes med känd mängd vatten varefter materialet omrördes. Efter härdning i ett dygn torkades proverna tills konstant vikt erhöles. Burkarna med innehåll vägdes efterhand och resultatet är som följer:

Prov	Torrt pulver, g	Tillsatt vatten, g	Pulver efter torkning, g
cyklonaska, a	90	132	91
cyklonaska, b	103	136	104
elektrofilteraska, a	86	132	89
elektrofilteraska, b	88	135	90

Som framgår av tabellen ovan avgick i stort sett allt vatten som tillsatts. Detta indikerar att det inte kan ha varit hårt bundet. Det bör dock samtidigt konstateras att olika härdningsreaktioner kan kräva olika lång tid och att ordningsföljd med mera kan bero av hur kemin ser ut i detalj, se Bilaga A.

Omräknat till torrhalt motsvarar alltså för rör D 23,8 kilo uppvägt material 15,0 kilo torrt material och 8,8 kilo vatten. För rör E motsvarar 23,6 kilo uppvägt material 14,9 kilo torrt material och 8,7 kilo vatten.

Rören fylldes med material enligt följande.

Initialdata rören	Försök D	Försök E (vakuummöjl.)
Vikt blandaska	23,8 kg	23,6 kg
Varav torrs substans	15	14,9
Varav vatten	8,8	8,7
Höjd askpelare	195 cm	195 cm
Volym aska	15,3 liter	15,3 liter
Påfyllt vatten	0,0 liter	0,0 liter
Skrymdensitet, initial	1,56 ton/m ³	1,54 ton/m ³
Kompaktdensitet†	2,24 ton/m ³	2,19 ton/m ³

† Ej beaktat: förångning och expansion, se nedan

Efter fyllning fick rören stå en halvtimme före dränering för att materialet skulle "sätta sig". Inom ca en timme efter det att dräneringen hade startats konstaterades att nivån hos askan i försök D (utan evakuering) höjdes för att efter ytterligare någon timme svämma över rörets överände. Endast en liten mängd material förlorades emellertid.

Påföljande morgon kunde konstateras att askorna i båda rören hade härdat. I rör D var askan relativt mjuk, men i rör E kunde den nätt och jämnt tryckas in med hjälp av ett finger.

Tätningen mellan ändstycke och rör var utförd i enlighet med rörens konstruktion med gummipackning samt pålagt tätningsfett. Mot bakgrund av den ringa dränering som erhöles ställdes frågor huruvida denna anordning verkligen medgav fullt vakuum. För att säkerställa detta tätades påföljande morgon alla skarvar på utsidan med silikonmassa. Ingen ökad dränering kunde observeras.

Efter öppning av bottenventilerna enligt försök D och E inträffade följande:

Tid m m	Försök A	Försök B (vakuummöjl.)	
0-3 minuter	0,046 kg	0,107 kg	ej vakuum
3-106 minuter	0,290 kg	0,888 kg	vakuum
2-13 timmar	0,297 kg	0,809 kg	vakuum
13-19 timmar	0,084 kg	0,138 kg	vakuum
1-2 dygn	0,123kg	0,155 kg	vakuum
2-3 dygn	0,004kg	0,026 kg	vakuum
3-4 dygn	0,000 kg	0,003 kg	vakuum
4-6 dygn	0,000 kg	0,001 kg	vakuum
Kvar i bottenfilter enligt tidigare vägning efteråt	0,23 kg	0,21 kg	vakuum
Totalt bortfört vatten	1,07 kg	2,32 kg	vakuum

Efter försöken D och E sågades rören upp med jämna intervall och prover uttogs för mätningar av fukthalt. Fukthalten bestämdes efter torkning i 180 °C under 10 timmar och 20 timmar. Vikten höll sig konstant mellan 10 och 20 timmar. Resultatet framgår ur nedanstående tabeller.

Försök D (utan vakuum)				
Antal centimeter från botten	vikt med fukt, g	viktsförlust, g	viktsförlust %	fuktkvot %
20	504	36	7,1	7,7
60	639	139	22	28
100	472	141	30	43
140	561	153	27	38
160	514	150	29	41
Medelvärde			23	32

Försök E (med vakuum)				
Antal centimeter från botten	vikt med fukt, g	viktsförlust, g	viktsförlust %	fuktkvot %
20	576	43	7,5	8,1
60	518	91	18	21
100	474	114	24	32
140	439	75	17	21
160	365	18	4,9	5,2
Medelvärde			14	17

Vissa av variationerna i tabellen ovan härrör sannolikt - i likhet med dem enligt tabell tidigare i denna Bilaga - från fluktuationer till följd av segregering av olika kornstorlekar. Variationerna i höjdled indikerar följande.

- Dränering ägde rum i de nedre delarna av rören.
- Dräneringen blev betydligt effektivare i det fall när vakuum användes
- I övre delen av röret på vilket vakuum applicerats var vattenhalten lägre. Detta kan tänkas bero på uttorkning till följd av flöde av luft genom röret (flödet begränsades dock av motståndet mot genomströmning eftersom vakuum hela tiden upprätthölls i den nedre delen.

Utgående från känd mängd vatten i rören vid försökets början samt uppmätta totala volymer dränerat material kan uppskattningar göras av medelhalterna vatten i rören efter dränage. Dessa blir 51 % för rör D och 43 % för rör E, räknat som fuktkvot. Dessa värden är betydligt högre än dem som erhållits ovan som medelvärden för rören D och E, nämligen 32 % respektive 17 %. Skillnaderna är stora och kan kanske inte förklaras helt för närvarande.

Tänkbara orsaker är som följer.

- Luftflöde genom rör E (som vakuumpumpades)
 - Vatten löser sig i luften
 - Vakuum innebär att en viss mängd luft - till exempel ett visst antal molekyler - löser mera vatten
- Uppvärmning till följd av härdning
 - Luften löser mera vatten
 - Vatten kan tänkas koka av
 - Vatten kan tänkas fördela sig olikformigt i röret på så sätt att fukthalten blir högre nära den kalla ytan hos röret⁴
 - Salt kan anrikas i de inre varmare delarna och "ersätta" vatten i porerna, vilket innebär lägre uppmätt fukthalt
- En annan förklaring kan vara att vattnet binds hårdare efterhand. Detta har dock inte undersökts. Om detta skulle vara fallet kan fukthaltsmätningar av aska på uppdrag ge en missvisande bild av avvattningsförloppet.

Man kan också ställa sig frågan något fel förelegat beträffande provtagning, provadministration och mätning. Härvid kan följande konstateras. Alla vägningar har skett efter det att konstant vikt erhållits. Vidare har ett separat försök (se ovan) utförts varvid konstaterades att allt vatten avgår vid dessa betingelser. Den fukthalt som bestämdes hos det material som blev över i samband med packningen av kolonnen ger ett rimligt värde på kompaktensiteten. (Denna är lägre än för bottenaska, vilket man också förväntar sig med hänsyn till att flygaskan innehåller oförbränt).

⁴

Uttagning av prov skedde företrädevis i mitten av röret

E.4 Resultat i sammanfattning

Färsk vattenmättad blandaska har ungefär samma densitet som vattenmättad bottenaska. Torrhalten är emellertid högre, vilket innebär att kompaktdensiteten är lägre.

Den vattenmättade blandaskan har emellertid mycket annorlunda dräneringsegenskaper jämfört med vattenmättad bottenaska.

Utan vakuum dränerar under de första 13 timmarna bara ca 4 % vatten räknat som fukt-kvot. Med vakuum dränerar med samma förutsättningar ca 12 %. Räknat på totalvikten är dessa halter 3 respektive 8 %.

Under det första dygnet sker ett antal kemiska reaktioner som leder till att materialet hårdnar och blir tätande.

E.5 Slutsatser i sammanfattning

Slutsatserna från detta försök är i sammanfattning:

- Blandaska släpper ifrån sig betydligt mindre vatten jämfört med bottenaska
- Dräneringen sker mycket långsammare än för bottenaska
- Blandaska dränerar 2-3 gånger snabbare med hjälp av vakuum jämfört med utan vakuum
- Mängden tillgängligt vatten minskar till följd av hydratisering (kemiska reaktioner)
- Mängden mobilt kapillärt bundet vatten minskar genom utveckling av gelartade fällningar
- De uppmätta vattenhalterna i kolonnerna efteråt är oväntat låga
- Eventuellt kan dränering med vakuum utföras för lägre höjd om den kan ske innan hårdningen kommer till stånd

E.6 Rekommendationer för det fortsatta arbetet

Följande rekommendationer kan göras för det fortsatta arbetet:

- Bottenaska kan tas ut separat via vattenlåset under ugnen och dränera under kort tid genom fri avrinning
- Flygaska bör tas ut separat och helst torrt
- Det finns utrustning för torr utmatning med kylning men utan tillsats av luft
- Torr och kall flygaska kan hanteras med allmänt tillgänglig teknik för pulverhantering (jämför cement)

- Torr (och gärna också kall) flygaska kan sannolikt göras icke dammande samt kompakterbar för bärande underlag med hjälp av lämplig blandare med möjlighet till samtidig befuktning.
- Härdreaktionerna för olika askor bör redas ut ytterligare. Detta inkluderar bland annat temperaturutveckling och eventuell avgång av vatten.

F Försök i pilotskala

Författare: Ulf Carlson, Anders Fredriksson och Inge Lindahl, Tekniska Verken i Linköping AB

F.1 Mellanlagring av träslag på kolgården

Som ett första led i att avvattna askan från träbränslepannan, Panna 3, beslöts att tömma ett befintligt upplagsområde för kol och använda det som tillfälligt upplag för aska för att man skulle kunna studera vad som händer med fukthalten om den får ligga några månader.

Upplaget är asfalterat och försett med betongkanter men saknar tak. En dagvattenbrunn placerades i en lågpunkt så att avrunnet vatten kunde samlas upp, mätas och vid behov analyseras. Det första lasset lades dit vid eldningssäsongens början i september 2000.

Efter ca en vecka kunde konstateras att mycket lite vatten rann från högarna som tippats på området. Det vatten som samlats upp kunde härledas till nederbörd. Fuktprov tog stickprovvis varje vecka på askan som lades dit. Medelfukthalten var 48%.

I februari beslöts att avbryta projektet då provtagning visat att någon minskad fukthalt inte uppkom i de upplagda högarna.

F.2 Undersökning av avrunna vattenmängder på askvagn

Försök utförda 2000-09-27--28

Vagnen togs från fyllningsplatsen och ställdes upp bredvid denna. Uppsamlingskärl ställdes bakom vagnen och vattnet samlades in efterhand som det rann av. Uppsamlat vatten mättes och journalfördes. Det vatten som rann av flaket var klart.

Efter cirka 4 timmar lades träbitar under flakets främre kortsida för att åstadkomma en lutning på flaket. Höjden på träbitarna var 80 mm. Flaket är 6 meter långt. Lutningen blev 0,76 grader.

Före försöket gick panna 3 på minimilast. Tidigare hade observerats att påtagliga vattenvolymer rann av under lastning. Tiden för lastning är relativt lång när pannan går på minlast.

Efter två dygn rann inget ytterligare vatten från flaket. Flaket höjdes då ytterligare till 160 mm men endast två liter vatten rann sedan ur ytterligare under sex timmar.

Askans vikt vid tömning var 18,5 ton och fukthalten var ca 30%.

F.3 Skruvpress

Skruvpressen höll för slaggen, trots att slaggen innehöll en hel del skrot och sintrat material. I slaggen hittades bland annat en hästsko, en lyftkrok och ett gångjärnsbeslag. Det krävdes en magnet för att avskilja skrotet oavsett vilken metod som prövades. Samma material fick gå genom skruven cirka 15 till 20 gånger. Syftet var att få fram hur låg vattenhalten kunde bli. Vattnet pressades ut vid samtliga avvattningstillfällen, men det innehöll mer substans, troligen krossat kol. Efter de två första avvattningarna var materialet hårt och kompakt. Efter de följande avvattningarna blev materialet allt mer plastiskt. Detta bedömdes bero på att kolfraktionen maldes sönder och vatten frigjordes. Kolet har troligen en konsistens som liknar aktivtkol och innehåller mycket hålrum som kan hålla betydande mängder vatten. Absorptionsförmågan bedöms vara hög när det oförbrända kolet föll ner i asksläckningstråget. När kolet krossades i skruvpressen frigjordes vatten. Efter 20 avvattningar var fukthalten 25%. Fukthalten i ursprungsmaterialet var 62%.

F.4 Tvättning av träslag i sandavvattnare

Försöken med sandavvattnaren utfördes under september månad 2000.

Uppmätta värden för innehållet av olika ämnen i tvättad respektive otvättad träslag redovisas i tabellen nedan. Proverna var tagna 2001-10--11. TS = torrsubstans.

Ämne	Tvättad träslag, mg/kg TS	Otvättad träslag, mg/kg TS	Träslag direkt från panna, mg/kg TS
Aluminium	11 000	12 000	13 000
Arsenik	47	200	61
Bly	99	490	67
Järn	10 000	11 000	31 000
Kadmium	1	6	0,77
Kalcium	31 000	42 000	45 000
Kalium	6 200	9 300	8 400
Kobolt	6	8	8,1
Koppar	110	150	190
Krom	34	53	84
Magnesium	4 300	6 000	5 400
Mangan	1 100	1 800	1 300
Molybden	1	3	10
Natrium	2 400	3 100	3 300
Nickel	16	28	33
Vanadin	31	41	38
Zink	660	3 300	15 000

Tvättning innebar genomgående sänkningar av halterna av olika analyserade ämnen i slaggen. Som framgår av tabellen ovan blev kadmiumhalten 5,7 gånger lägre, blyhalten 4,9 gånger lägre och zinkhalten 5,0 gånger lägre. Jämfört med samlingsprovet av träslag direkt från pannan och den tvättade träslaggen är alla metallhalter lägre i den tvättade utom halten av bly.

F.5 Sällning av cyklonaska

Utmatningen av aska från en av de två grovcyklonerna byggdes om så att aska kunde tas ut torrt. Analys visade att askan innehöll en stor del oförbränt och det beslöts att försök skulle göras med att blanda askan med träbränsle och med att förbränna blandningen i pannan. Försöken fortgick under cirka en vecka varefter en mindre glödbrand upptäcktes i en bränsle/ask-hög och försöken avbröts.

Ett sällningsförsök gjordes för att undersöka cyklonaskan ytterligare. Den siktades i en 1 mm sikt och analyser utfördes på de olika fraktionerna. Resultatet blev som följer.

	Finfraktion cyklonaska	Grovfraktion cyklonaska
Volymvikt ⁵ , g/dm ³	792	127
Fukthalt, viktsprocent	0,5	2,8
Oförbränt, viktsprocent	13,1	91, 2
Energi, MWh/ton	1,1	8,2

Beslut togs att inför nästa driftsäsong bygga om askutmatningen så att den stora andelen oförbränt skall kunna eldas igen utan att risk för brand föreligger.

⁵ = skrymdensitet

RAPPORTFÖRTECKNING

Förteckning över tidigare publicerade rapporter, kan beställas hos Värmeforsk.

Telefax: 08-677 25 35

Telefon: 08-677 27 54

<http://www.varmeforsk.se>

Siffrorna inom parentes anger forskningsgrupp/program:

1 = Material- och kemiteknik
2 = Miljö- och förbränningsteknik
3 = Anläggningsteknik
6 = Tillämpad förbränningsteknik

8 = Skogsindustriella programmet
9 = Processtyrning
10 = Miljöriktig användning av askor
11 = Gemensamma potten

- | | | | | | | | |
|-----|--|--------|-----|-----|--|--------|------|
| 782 | Marknadsstudie av låg NO _x -brännare för olja, gas och träpulver
Anders Eklund
juni 2002 | F9-833 | (2) | 788 | Provedning i fastbränslepanna för att kartlägga emissioner vid inblandning av olika avfallsfraktioner
Elisabet Blom, Rickard Lundborg, Lars Wrangensten
september 2002 | F9-848 | (2) |
| 783 | Översikt av fältbussar och deras kommunikation med kringutrustning
Fredrik Nordbladh
juli 2002 | P9-809 | (9) | 789 | Möjligheter till förbättrad drift av skogsindustrins barkpannor genom optimerad förbränningsteknisk styrning – etapp 3
Robert Schuster
oktober 2002 | B9-902 | (6) |
| 784 | Inventering av tillgängliga Service Gateways lämpliga för anslutning av mindre anläggningar
Omar Bagdadi
juli 2002 | P9-811 | (9) | 790 | Förslag till handlingsplan för askåterföring
Henrik Bjurström
oktober 2002 | Q4-110 | (10) |
| 785 | TPS Branschforskningsprogram för Energiverk 2000-2001
Alf Almgren, Niklas Berge, Klas Engvall, Ulf Gamer, Magnus Hagström, Marc Landtblom, Jenny Larfeldt, Torbjörn Nilsson, Erik Ramström, Lars Rudling, Birgitta Strömberg, Frank Zintl
september 2002 | C2-001 | (6) | 791 | Förbränning av flytande animaliska/vegetabiliska restprodukter
Karin Wikman, Magnus Berg
oktober 2002 | F4-204 | (2) |
| 786 | Stoftreningsteknik för bibränsleanläggningar mindre än 10 MW – teknikläge och utvecklingspotential
Marie Rönnbäck, Lennart Gustavsson, Lars Martinsson, Claes Tullin, Linda Johansson
september 2002 | F9-840 | (2) | 792 | Rökgaskondensering; Fördelning av emissioner mellan gas och kondensat
Fredrik Axby
oktober 2002 | A9-837 | (3) |
| 787 | SCR vid bibränsleeldning – etapp 3
Regenerering i fullskala
Christer Andersson, Åsa Kling, Ingemar Odenbrand, Raziye Khodayari
september 2002 | F9-835 | (2) | 793 | Avancerad processtyrning av fastbränsleeldade rostpannor, etapp 2
Rickard Ehleskog, Rickard Lundborg, Robert Schuster, Lars Wrangensten
oktober 2002 | P9-805 | (9) |
| | | | | 794 | Demonstration av vakuumtorktekniken på skogsindustriellt slam
Anders Eklund
januari 2003 | E2-001 | (6) |

- 795 Hur påverkas slamhanteringen av nya och förväntade lagar och förordningar?
Mikael Ahlroth, Åsa Sivard
december 2002 S2-224 (8)
- 796 Kolväteutsläpp vid lagring av biobränsle
Katarina Rupar, Mehri Sanati
december 2002 S1-111 (8)
- 797 Kontinuerlig AE-övervakning i Gruvöns sodapanna T5
Anja Klarin, Björn Warnqvist
januari 2003 S2-212 (8)
- 798 Effekter av PFG vid indunstning och förbränning av bioslam i ett massabruks sodapanna
Johan Dahlbom
januari 2003 S2-226 (8)
- 799 Mätning av emissioner vid förbränning av RT-flis för att identifiera eventuella ombyggnadsåtgärder
Leif Lindau
januari 2003 F9-851 (2)
- 800 Materialval vid rökgaskondensering
Barbara Goldschmidt, Magnus Nordling
februari 2003 M4-202 (1)
- 801 Mätningar av temperaturer enligt EUs direktiv om förbränning av avfall, undersökande temperaturmätningar och simuleringar
Elisabet Blom, Roland Gårdhagen, Jonas Hägglund, Hans Lindqvist, Krister Wahlström, Dan Loyd
mars 2003 P9-817, P4-201 (9)
- 802 Metoder för kartläggning av bränslepartiklars rörelse- och temperaturhistorik i rosterpannor och avfallsugnar – etapp 2
Elisabet Blom, Lennart Gustavsson, Jan Oskarsson, Mats Petersson
mars 2003 F9-808 (2)
- 803 TPS Branschforskningsprogram för energiverk 2001/02
Niklas Berge, Ulf Gamer, Henrik Harnevi, Jenny Larfeldt, Boo Ljungdahl, Lena Nyqvist, Nader Padban, Magnus Paulander, Erik Ramström, Birgitta Strömberg, Frank Zintl
mars 2003 D2-002 (6)
- 804 Insamling av praktiska erfarenheter från fältbussinstallationer i industriella anläggningar
Björn Johansson
mars 2003 P9-815 (9)
- 805 Krav på brandvägg för styrsystem samt undersökning av tillgänglig programvara
Christine Nilsson, Fredrik Nordbladh
april 2003 P9-810 (9)
- 806 Nedbrytningsmönster för cellulosa i närvaro av aska
Karin Wikman, Magnus Berg, Malin Svensson, Holger Ecke
april 2003 Q4-105 (10)
- 807 Termisk rening av askor
Karin Wikman, Magnus Berg, Henrik Bjurström, Anders Nordin
april 2003 Q4-128 (10)
- 808 Korrosionsprovning med korttids-exponerade sondprover
Jan Högberg
maj 2003 M9-832 (1)
- 809 Krypskador i svetsar av X 20 CrMoV 121 1 stål, etapp 1
Jan Storesund, Kjeld Borggreen
maj 2003 M4-207 (1)
- 810 Avlagringstrender i pannor eldade med biobränsle
Mattias Andersson
maj 2003 M4-204 (1)
- 811 Fältprovning av lågtrycksturbinskovlar med förbättrad hårdighet mot korrosionsutmattnings
Jüri Tavast
juli 2003 M4-213 (1)

- 812 CO-reduktion i FB-panna via dosering av elementärt svavel
Leif Lindau, Erik Skog
juli 2003 F9-842 (2)
Kling, Christian Mueller, Jan Sieurin, Claes Tullin, Karin Wikman
augusti 2003 F9-861-865, M9-841
- 813 Råvaror för framtida tillverkning av bränslepellets i Sverige
Lars Martinsson
juli 2003 A4-214 (3)
821 Rosterövervakning – nya metoder för reglering och övervakning av förbränningsroster
Åsa Rodin, Jürgen Jacoby, Elisabet Blom
augusti 2003 D2-001 (6)
- 814 Vakuamtorkning av skogsindustriellt slam – en potentialstudie
Anders Eklund
juli 2003 S2-223 (8)
822 Teknik för kontinuerlig mätning av HC1, HF och TOC – etapp 1; konsekvensanalys
Henrik Harnevie, Lennart Gustavsson, Torgny Viberg
augusti 2003 F4-202 (2)
- 815 Skogsindustriell energiforskning syntesrapport 1997-2002
Anders Kjörk, Olle Nyström
juli 2003 S2-225 (8)
823 SCR som metod för kombinerad dioxin- och kväveoxidreduktion vid samförbränning av bibränsle och avfall
Johanna Aurell, Per Liljelind, Stellan Marklund, Åsa Kling, Christer Andersson
augusti 2003 F9-859, F4-214 (2)
- 816 Tillförsel av skogsindustriellt slam till eldstäder; Etapp 3 – Projektering inför fullskaleförsök
Lars Eriksson, Rolf Njurell, Anders Eklund
juli 2003 S2-228 (8)
824 Tillvaratagande av spillvärme
Fredrik Olsson, Helen Hansson, Mats Egard, Mats Barring
augusti 2003 S2-218 (8)
- 817 Tester av torkeffekten på rörlig bränsleroster med nya murverk i testrigg
Aktiva murverk och brännare – etapp 2B
Anders Eklund S2-220, M4-206, E2-002
juli 2003 (8, 1, 6)
825 Undersökning av metoder för strukturering av mjukvara
Björn Johansson
augusti 2003 P9-814 (9)
- 818 Beläggningar på värmeväxlare, orsaker i blekprocessen och åtgärder
Henrik Bjurström, Charlotte Ståhl, Lars Widell
juli 2003 S2-229 (8)
826 Indikation av förbränningsituationen i nedre del av eldstad genom temperaturmätning på rostens första del
Erik Ramström, Jenny Larfeldt
augusti 2003 P4-202 (9)
- 819 Lutlagringstidens och lutföringens inverkan på inkrustering i industningsapparater och cisterner
juli 2003 S2-230 (8)
827 Lambdabaserad reglering
Mikael Svensson
augusti 2003 P4-209 (9)
- 820 Förbränning av returträflis – Etapp 2 av ramprojekt returträflis – CD-skiva
Annika Andersson, Christer Andersson, Bo von Bahr, Magnus Berg, Annika Ekvall, Jan Eriksson, David Eskilsson, Henrik Harnevie, Bengt Hemström, Jenny Ljungstedt, Juha Keihäs, Åsa
Förbränning av returträflis i betongrelaterade tillämpningar; normer, praxis och erfarenheter
Erik Nordström, Per-Erik Thorsell
oktober 2003 Q4-133 (10)
829 Våt rening av askor, metodöversikt
Henrik Bjurström, Britt-Marie Steenari
oktober 2003 Q4-129 (10)

- 830 Injektering av sulfathaltig flygaska i hushållsavfallsdeponi
Karin Wikman, Magnus Berg, Lale Andreas, Anders Lagerkvist, Sara Jannes, Gustav Tham, Rolf Sjöblom
oktober 2003 Q4-106 (10)
- 831 Probleminventering bränsle- och askhantering
Rolf Njurell, Karin Wikman
oktober 2003 A4-207 (3)
- 832 Utvärdering av Hyttsand som bäddsand i FB-anläggningar
Anders Eklund, Elisabet Brus, Marcus Öhman, Henry Hedman, Dan Boström, Anders Nordin
oktober 2003 A4-215 (3)
- 833 Ramprojekt – Askproblem vid skogsbränsleeldning i fluidbädd, etapp 2
Sören Hansson, Per Kallner, Boo Ljungdahl, Lars Wrangensten, Annika Stalenheim, Barbara Goldschmidt
oktober 2003 M9-840, A9-851 (1, 3)
- 834 Process- och sensordiagnostik
Christer Karlsson, Erik Dahlquist
oktober 2003 P9-816 (9)
- 835 Larmsanering med generella metoder
Jonas Ahnlund, Tord Bergquist, Martin Råberg
oktober 2003 P4-211 (9)
- 836 Korrosion i massaindustrins indunstningsanläggningar – Spänningskorrosions-
sprickningsprovningar och polarisations-
mätningar
Pernilla Andreasson
oktober 2003 S2-213/M9-831 (8, 1)
- 837 Linermaterial med aska och rötslam –
Underlag för genomförande av pilotförsök
med stabiliserat avloppsslam (FSA) som
tätskiktmaterial
J Mácsik, Y Rogbeck, B Svedberg, O
Uhlander, A Mossakowska
november 2003 Q4-111 (10)
- 838 Rökgasrening vid samförbränning i
biobränslepannor i storleken 10-25 MW
Marianne Gyllenhammar, Sara Larsson
november 2003 F4-215 (2)
- 839 Att bygga med avfall
Anna Wilhelmsson, Maria Paijkull
november 2003 Q4-144 (10)
- 840 Slam från skogsindustrin, fas II
Marianne Gyllenhammar, Solvie Herstad
Svärd, Anders Kjörk, Sara Larsson, Olle
Wennberg
november 2003 D2-003 (6)
- 841 Behovsstyrd sotblåsning för bio- och
avfallseldade pannor – inventering och
teknikval
Anders Kjörk
november 2003 A4-211 (3)
- 842 The Effect of Wood Fuels on Power Plant
Availability
Markku Orjala, Janne Kärki, Pasi Vainikka
november 2003 G9-903 (11)
- 843 Syntesrapport för Värmeforsks basprogram
1999-2003
Charlotte Dejfors, Åsa Lindeberg, Christer
Knutås, Johan Nordling
november 2003 G4-104 (11)
- 844 Förbränningsförhållanden vid omblandning
i bränslebäddar på rörlig rost vid eldning av
biobränsle och sameldning med
returbränslen – etapp 1; Försök i en kall
anläggning
november 2003 E2-003 (6)
- 845 Robust instrumentering
Anders Wik
december 2003 M9-829 (1)
- 846 Avvattning av aska från blandbränslen;
Erfarenheter och resultat från Tekniska
Verken i Linköping
december 2003 A9-835 (3)

