

Askanvändning vid samförbränning av RT-flis med olika biobränslen – försöksprogram i en 24 MW_{th} bubblande bädd

Henrik Bjurström och Karin Wikman

**Askanvändning vid samförbränning av RT-flis
med olika bibränslen**

Försöksprogram i en 24 MW_{th} bubblande bädd

**Utilisation of ash from the co-combustion of C&D
wood with biofuels**

**A series of experiments with a 24 MW_{th} bubbling
fluidised bed**

Henrik Bjurström och Karin Wikman
ÅF-Process AB

Projekt Q4-262

Abstract

Konsekvenserna av sameldning och kampanjeldning för askornas sammansättning och lakegenskaper, och därmed deras användbarhet, har studerats i en BFB-panna med returträ och skogsflis som bränslen. Användbarheten för de olika askfraktionerna har definierats. Vid kampanjeldning är omställningen relativt långsam och följer, dock inte helt, förnyelsen av bäddmaterialet för att kompensera för förlusterna i samband med uttaget av askor.

Sammanfattning

Askors sammansättning och deras användbarhet beror i stor utsträckning på bränslet. Bränslen blandas dock ofta, vilket påverkar användbarheten. I detta projekt har påverkan på askorna av såväl kampanjeldning som sameldning av biobränsle och returträ studerats i Fortum Värme Nynäshamns 24 MW_{th} BFB-panna.

I dessa försök har vi utgått från det ordinarie bränslet, d v s RT-flis (returträflis), övergått till skogsflis, sedan övergått till en blandning som är så nära hälften RT-flis, hälften skogsflis som det går att åstadkomma i en anläggning, och till sist gått tillbaka till RT-flis. Såväl bränsleprov som askprover har tagits under försökstiden och analyserats med avseende på sammansättningen av askbildande ämnen. Bäddaskans lakegenskaper har även bestämts med en två-stegs skakttest (EN 12457-3). Ändringarna av askornas sammansättning efter övergången från RT-flis till skogsflis följdes under 11 dagar.

Under försöken uppskattas ca 2,5 t/d bäddaska, ca 1 t/d ecoaska (cyklonaska plus vändschaktsaska) och ca 2,5 t/d filteraska ha producerats. Samtidigt förbrukar anläggningen i genomsnitt ca 2 t/d sand, 0,5 t/d kalk och 0,1 t/d aktivt kol.

Bäddaskan är ganska grov då fraktionen under 2 mm recirkuleras till pannan. Ur miljösynpunkt är denna likvärdig askorna i det s k pannsandsprojektet (Värmeforsk rapport nr 852) och bör kunna få användas på lika villkor, oavsett om returträ eller skogsflis eldas. Den bästa användningen är kanske inte som vägbyggnadsmaterial då den har en snäv kornstorleksfördelning, 2 – 8 mm, utan som dräneringslager.

Filteraskan kan troligtvis användas för täck- eller tätskikt på deponier, eller för återställandet av berggrum. Det är den som i huvudsak uppfyller kriterierna för återföring till skog då rent skogsflis förbränns. Askan som producerades ur skogsflis under försöksperioden går emellertid inte att återföra: dels innehåller bränslet självt för mycket krom, dels finns en ”minneseffekt” i bädden från RT-flis-förbränningen.

Ecoaskan är grövre än filteraskan och har inte studerats närmare. Den bör dock kunna komplettera filteraskans kornstorleksfördelning i ovannämnda användningar.

Innehållet av miljöstörande ämnen i RT-flis är så pass stort att det i praktiken inte går att samförbränna det med skogsflis och fortfarande få en återförbar aska.

I kampanjeldning är alla askors omställning från RT-fliskvalitet till skogsfliskvalitet långsam: under de förhållanden som rådde under försöket krävs mer än de 11 dagar vi hade till förfogande. Omställningstiden beror till stor del på den hastighet med vilken bädden byts ut.

Summary

The composition of ashes and their potential uses depend to a large extent on the fuel that is being used. However, the frequent mixing of fuels affects the usability of the ashes. In this project, the effect of alternate firing and of co-combustion on the ashes has been studied in the 24 MW_{th} BFB plant of Fortum Värme Nynäshamn.

In these experiments, we have started from the fuel ordinarily used, i.e. waste wood, switched first to logging residues, then to a mixture of waste wood and logging residues, as close to a 50 % - 50 % mixture as is feasible on a plant scale, and finally back to waste wood. The chemical composition of samples taken from fuels and from the different ashes was determined. The leaching properties of the bottom ash were determined using a two-step procedure (EN 12475-3). The composition of the ashes was followed for eleven days after switching from waste wood to logging residues.

Ca 2,5 t/d bottom ash, ca 1 t/d “eco-ash” (a mixture of cyclone ash and boiler ash) and ca 2,5 t/d baghouse filter ash were produced during the experiments. At the same time, ca 2 t/d sand, 0,5 t/d lime and 0,1 t/d active carbon were used.

The bottom ash is rather coarse as the fraction below 2 mm was recirculated to the bed. From an environmental point of view, it is equivalent to the FB bottom ashes studied in Värmeforsk report nr 852 and one should be able to use it under similar conditions, whether the fuel was waste wood or logging residues. The best use would probably not be as a road construction material as its particle size distribution is narrow, 2 – 8 mm, but as a draining layer.

The baghouse filter ash may be used under all circumstances in landfill covers, or for rehabilitation of rock caverns. This ash is the one that best meets requirements for being recycled to forestland when logging residues are burned. However, the logging residue ash in these experiments is not recyclable: the fuel itself has too high a chromium content and the fluidised bed has a memory effect.

The “eco-ash” is coarser than the filter ash and has not been studied in detail. It should be able to complement the particle size distribution of filter ash in its uses.

The content of environmentally disruptive elements in the waste wood is so much larger than that in logging residues that, in practice, they may not be co-combusted if one wish to obtain an ash that is may be recycled to forestland.

When firing waste wood and logging residues alternatively, the transition from waste wood ash to logging residue ash is slow: given the experimental conditions, it requires more than the 11 days that we had at our disposal. The transition time depends largely on the rate of turnover of the bed.

Innehållsförteckning

1	BAKGRUND	1
2	ANVÄNDNINGSSOMRÅDEN FÖR ASKA	2
3	PROJEKTET	4
4	ANLÄGGNINGEN OCH FÖRSÖKENS UPPLÄGGNING	5
4.1	FRÅN BRÄNSLE TILL ASKA OCH RÖKGAS	6
4.2	FÖRSÖKENS UPPLÄGGNING	6
5	RESULTAT	10
5.1	DRIFTSFÖRHÅLLANDEN	10
5.2	BRÄNSLENS SAMMANSÄTTNING	11
5.3	ASKORNAS SAMMANSÄTTNING OCH EGENSKAPER	13
5.4	AVKLINGNINGSFÖRLOPPET I ASKORNA	25
6	DISKUSSION	31
6.1	EXPERIMENTELLA DATA	31
6.2	FILTERASKAN	33
6.3	BÄDDASKAN	36
6.4	OMSTÄLLNINGEN FRÅN RT-FLIS TILL SKOGSFLIS	39
6.5	ECOASKAN	44
7	SAMMANFATTNING OCH SLUTSATSER	45
8	REKOMMENDATIONER OCH ANVÄNDNING	47
9	FÖRSLAG TILL FORTSATT FORSKNINGARBETE	48
10	LITTERATURREFERENSER	49

Bilagor

A PRIMÄRDATA

1 Bakgrund

Om man bortser från eventuella ofullkomligheter i förbränningen bestäms askornas sammansättning och egenskaper i huvudsak av bränslets sammansättning och av utformningen av förbränningsanläggningen. Det är dessa egenskaper som bestämmer om förbränningsresten, d v s askan, kan användas till något ändamål.

I praktiken blandas bränslen ofta vid förbränning, framför allt av ekonomiska skäl. Andra motiv kan vara att upprätthålla rätt fuktighet, t ex som fuktigt skogsflis med torrt RT-flis, eller för att hålla en högre svavelhalt i askan och därmed undvika problem med klorhaltiga beläggningar. Det innebär att under vissa perioder kan askan hålla t ex god återföringskvalitet medan en viss, a priori okänd, inblandning av returträ i skogsbränslet kan innebära att askan måste deponeras.

En ytterligare osäkerhet skapas av förbränningsanläggningens dynamik. En ändring i ingående bränslesammansättning återspeglas inte omedelbart i askans sammansättning utan tidsfördröjningar förekommer. Detta är välkänt, men det är ont om kvantitativ information. När man exempelvis byter bränsle från RT-flis till skogsbränsle tar det enligt pannstillverkaren (Kvaerner Power) för Nynäshamns anläggning ca sju dygn innan askans sammansättning nått upp till skogsbränsleaskans kvalitet.

Det finns gott om anläggningar där detta kunde kartläggas, men det är svårt att genomföra sådana försök då anläggningar sällan kan styra driften bort från optimum för dagen. Nu har Fortum Värme uppfört en ny anläggning i Nynäshamn där det varit möjligt att ändra bränsleblandningen på ett mer systematiskt sätt för att uttröna askans kvalitet i förhållande till använt bränsle.

2 Användningsområden för aska

Inom Värmeforsks askprogram har ett antal olika användningsområden för askor från biobränsle- och avfallsförbränning studerats. I Tabell 1 visas en sammanställning av några tänkbara användningsområden för aska från samförbränningsanläggningar.

Tabell 1. Användningsområden för askor [1].

Table 1. Utilization areas for ashes [1].

Grupp av användning	Användning	Krav	Typ av askor
Betong, cement	Filler i betong	Finfördelat, låg kloridhalt, låg glödförlust vid 850°C	Flygaskor, reaktiva (dvs färska)
	Ballast i betong	Kornstorlek, mekaniska egenskaper, kemin ej skadlig för hållfastheten	Bottenaskor, slagg
	Ersättning för komponenter i cement	Kemisk sammansättning, puzzolanska egenskaper	
	Lättbetong	Kan gå in istället för kalk eller sand	
Geotekniska användningar	Vägbyggen, anläggningsbyggen	Hållfasthet, låg densitet	Oftast bottenaskor
	Fyllnadsmaterial	Densitet, volym, kornstorlek	Oftast bottenaskor
	Återfyllnad av gruvor	Hållfasthet	
	Markstabilisering (kalk/cementpelare)	Reaktivt kalk, rent från störande ämnen	
Deponier	Tätskikt	Permeabilitet, hållfasthet, låg utlakning,	
	Dräneringsskikt	Permeabilitet, hållfasthet, låg utlakning,	
	Täckskikt	Permeabilitet, hållfasthet, låg utlakning,	
Skogsbruk	Kompensationsgödsling/ Återföring till skog	Näringsinnehåll, stabiliserad aska, störande ämnen under SKS gränsvärden	Askor från biobränslen (främst flygaskan måste stabiliseras men i vissa fall även bottenaskan)

Vid förbränning av skogsbränslen, d v s hyggesrester, förväntas det att askan används för kompensationsgödsling av skogsmark. För denna avsättning ställs krav på att gödningen inte skall skada skogsmarken. Om man översätter detta krav till specifika krav på askan bör askans sammansättning tillfredsställa ett antal riktvärden från Skogsstyrelsen på t ex en lägsta halt av näringsämnen och en högsta halt av miljöstörande ämnen såsom tungmetaller [2].

Vid samförbränning är i det i första hand något av de andra användningsområdena som kan bli aktuella. I tabellen framgår de tekniska krav som är nödvändiga för respektive användningsområde. Förutom dessa är de miljömässiga egenskaperna och askans klassificering av avgörande betydelse.

Om askan skall deponeras ställs krav, inte primärt på sammansättningen men på lakegenskaper [3], [4]. Dessa avgör om askan kan placeras på en deponi för inert avfall eller som farligt avfall på en deponi för icke-farligt avfall, etc.

Andra användningsområden såsom geotekniska konstruktioner (utanför deponi) har ännu inte så klart definierade kriterier som askans egenskaper kan jämföras med. Vid användning inom en deponi ska dock askan uppfylla krav som vid deponering för lakegenskaper (klassning). Ett av målen för delprogrammet "Miljöriktig användning av askor" är att bidra till framtagningen av kriterier.

3 Projektet

Det övergripande målet för projektet var att klargöra förutsättningarna för en miljöriktig avsättning för askor som härrör från samförbränning av industriavfallsbränslen. Syftet var att försöka fastställa hur askkvaliteten kan variera i en modern förbränningsanläggning som samförbränner returträflis och skogsflis, samt om olika inblandningsgrad av returträ innebär att askan kan användas för olika ändamål.

Projektet omfattade fullskaleförsök i fluidbäddpannan på Nynäshamns kraftvärmeverk där olika typer av bränsle samförbrändes och askan analyserades (filteraska, ecoaska och bottenaska) under hösten 2004.

Projektet har genomförts av ÅF-Process AB och Fortum Värme Nynäshamn AB i ett samarbete med finansiering från ÅFORSK (Ångpanneföreningens Forskningsstiftelse), Värmeforsks delprogram "Miljöriktig användning av askor" och Fortum Värme Nynäshamn AB.

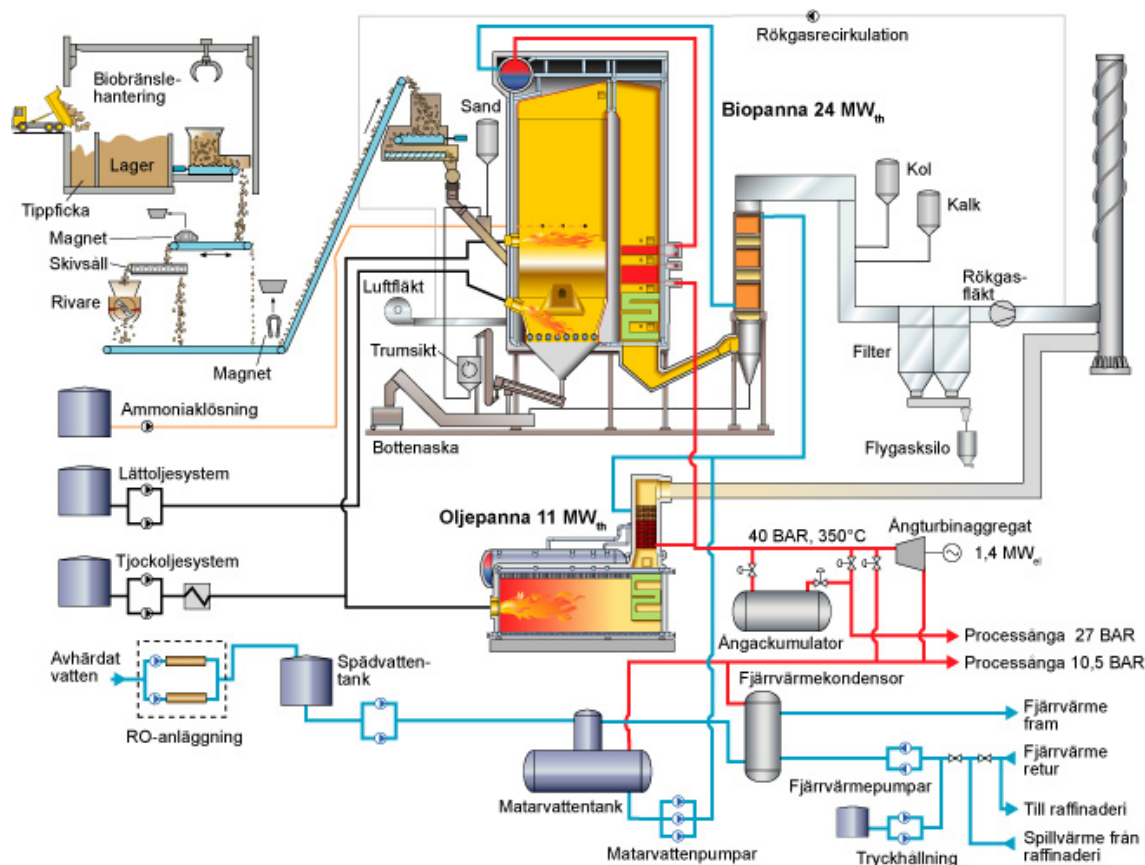
Kontaktperson för Nynäshamnsanläggningen var Jonas Dyrke vid Fortum Värme Nynäshamn AB. Projektet har följts av en referensgrupp som bestod av:

- o Claes Ribbing, Värmeforsk
- o Lars-Erik Hägerstedt, ÅF (tidigare Fortum)
- o Rickard Wrene, SRV Återvinning

4 Anläggningen och försökens uppläggning

Fortum Värme tog under hösten 2003 i drift ett nytt kraftvärmeverk utanför Nynäshamn. Anläggningen består av en bubblande fluidbäddpanna på 24 MW_{th}, en oljepanna på 11 MW_{th}, en ångturbin för hjälpkraft på 1,4 MW_{el} samt en ångackumulator. Anläggningen producerar processånga till Nynäs raffinaderi samt fjärrvärme till Nynäshamns fjärrvärmenät. Anläggningen togs i kommersiell drift i januari 2004.

Fluidbäddpannan eldas huvudsakligen med RT-flis. Pannan med rökgasreningsutrustning är därför utformad för att klara villkoren i EU:s förbränningsdirektiv 2000/76/EG för 100 % förbränning av avfall. Emellertid kan även skogsflis, bark och sågspån eldas i pannan.



Figur 1. Schematisk bild över kraftvärmeverket i Nynäshamn.

Figure 1. Schematic picture for the Nynäshamn CHP plant.

4.1 Från bränsle till aska och rökgas

Bränslet, returträflis och skogsflis, levereras med lastbil till anläggningen. Bränslet tippas i ficka från lastbilarna. Därifrån förs det över med en skopa till mellanlager med en total volym på 3600 m³.

Från mellanlagret överförs bränslet till en bränsleficka, med en kapacitet på 80 m³, motsvarande knappt 2 timmars drift. Det transporteras sedan vidare via magnetavskiljare till cellmataren före pannan.

Bäddaskan extraheras från pannan i botten och siktas i en trumma (maskvidd 2 mm). Allt under denna storlek förs tillbaka till pannan medan den överstora fraktionen förs vidare i en skruvtransportör till en täckt container utanför pannhuset.

Efter att rökgasen lämnat pannan passerar den en cyklon där de tyngre gasburna partiklarna avskiljs som den skonomizeraskan (ecoaskan, även kallad cyklonaskan). Denna fördes vidare till samma container som bäddaskan vid tillfället för askprovtagningen inom detta projekt. Nu har man emellertid byggt om utmatningen och ecoaskan förs i dagsläget ihop med flygaskan istället. Anledningen till ombyggnationen var att minska mängden aska till bottenaskcontainern eftersom denna behöver tömmas betydligt oftare än flygasksilon.

Rökgasreningen består av injicering av kalk för avsvavling och av aktivt kol för kvicksilver och organiska miljöstörande ämnen. Därefter fångas rökgasreningensresten (flygaskan alt. filteraskan) i två textila spärrfilter.

När pannan går vid full effekt förbrukas ca 840 m³ (ca 168 ton) bränsle per dygn. Askmängderna som produceras vid fullast är ca 3 ton bäddaska, ca 3 ton ecoaska och ca 4 ton flygaska (rökgasreningensrest) per dygn¹. Samtidigt förbrukas i genomsnitt ca 2 t/d sand, 0,5 t/d kalk och 0,1 t/d aktivt kol.

4.2 Försökens uppläggning

Ordinarie bränsle är returträflis. När skogsflis skall användas kan den antingen blandas in i returträflisen och bilda ett blandbränsle, eller så kan skogsflisen helt ersätta returträdet under en kampanjperiod. I princip kommer askans kvalitet eller sammansättning att återspegla bränsleblandningens sammansättning. Tolkningen av experimentella data försvåras dock av att trädbränslen är heterogena och att sammansättningen av de askbildande ämnena varierar. Tillfälliga variationer har stor betydelse i ett stickprov eller ett momentant prov medan förfarandet med ett samlingsprov utjämnar dessa tillfälliga variationer.

Erfarenheten är att det ofta förekommer fördröjningseffekter i pannan när man byter bränsle. Under en period kommer askornas sammansättning att ändras progressivt så att de motsvarar det nya bränslets innehåll av askbildande ämnen. För att kartlägga dessa

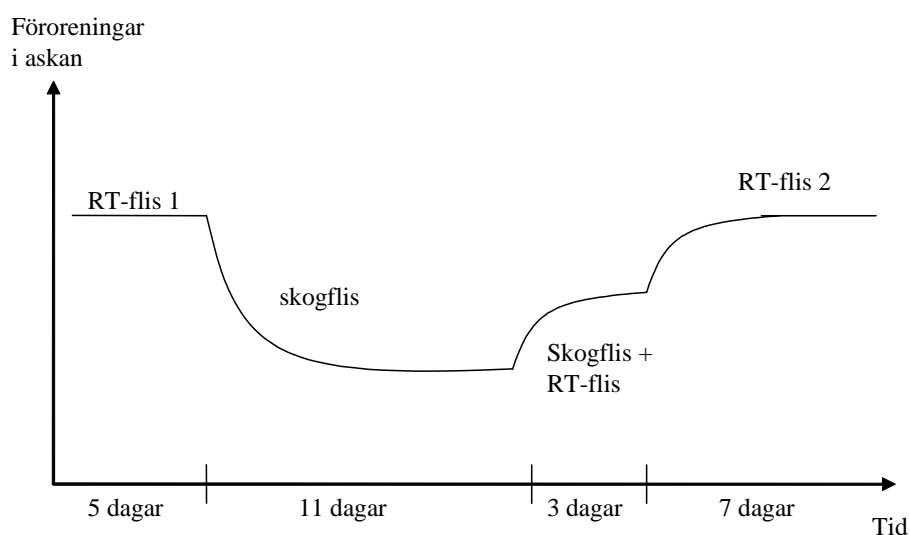
¹ Under försöken kördes anläggningen med ca 70 % last och askmängderna var då uppskattningsvis ca 2,5 t/d bäddaska, ca 1 t/d ecoaska och ca 2,5 t/d filteraska.

finns inget alternativ till momentana prov. Utgående från pannstillverkarens uppgift om att avklingningen för askans sammansättning tar sju dygn då man byter från RT-flis till skogsflis kan en lämplig längd på försöksperiod vara ett tiotal dygn eller ett par veckor.

Försöksplanen under hösten 2004 bestod därför av följande:

- o En initial period på några dagar med returträflis (RT-flis 1) där normala driften följdes upp. Syftet var att etablera en baslinje och dokumentera det naturliga variationsintervallet för olika storheter i askan. Prov togs 10/9, 11/9 och 12/9.
- o Sen byttes bränslet till skogsflis och askans kvalitet följdes under en övergångsperiod på elva dagar, fr o m 16/9 t o m 26/9, i syfte att påvisa avklingningen av föroreningar i askan.
- o Därefter eldades en blandning av hälften returträflis och hälften skogsflis i tre dagar – prover togs den andra och tredje dagen (den 28/9 och den 29/9).
- o Slutligen återgick man till förbränning av enbart returträflis (RT-flis 2) och prover togs efter några dagar (den 5/10 och den 6/10).

En schematisk bild av hur föroreningarna i askan förväntades variera under försöksperioden framgår av Figur 2.



Figur 2. Schematisk bild över den förväntade effekten på askan under provtagningsperioden.

Figure 2. Schematic figure over the expected effect on the ash during the sampling period.

Tanken var att returträflisen som användes under första perioden (RT-flis 1) skulle tas från en leverantör och den som användes efter perioden med skogsflis (RT-flis 2) skulle tas från en annan leverantör. Detta för att även kunna titta på skillnaderna mellan två olika typer av returträbränslen. I praktiken var detta inte möjligt utan returträflisen kom troligtvis från samma leverantörer (ca 6-7 st) under de båda perioderna.

Inför bytet till skogsflis tömdes mellanlagret och fylldes med skogsflis. Att tömma helt går dock inte i praktiken – det finns alltid kvar en mindre mängd i kanterna och hörnen av bunkern och i botten. Under huvuddelen av försöken tar skopan ren skogsflis, men när man börjar komma ner till botten av bunkern vid slutet av kampanjen med skogsflis kan det hända att skopan tar med sig även returträ som lämnats kvar efter förra bränsleperioden.

Prov togs, två gånger per dygn, på bränsle, bäddaska, ecoaska och filteraska varje dag som anläggningen var bemannad (i princip endast vardagar). Dessa prov slogs ihop till ett dygnsprov.

De analyser och tester som utfördes av Analytica bestod av följande:

- o Bränsleproven skickades för inaskning vid 550°C och för bestämning av askans sammansättning².
- o Askproven skickades för bestämning av den totala sammansättningen².
- o Ett prov bäddaska för varje driftfall (returträflis 1, 10/9; skogsflis, 26/9: blandat bränsle, 29/9; returträflis 2, 6/10) befuktades och lämnades att mogna i något mer än en månad inne i anläggningen. Därefter skickades dessa prov för tvåstegs-laktest enligt EN 12457-3 [5].

För att kunna bestämma det naturliga variationsintervallet och följa upp en avklingning i detalj krävs ganska många prover. Medan det inte är särskilt betungande att ta prover är det betydligt kostsammare att genomföra alla analyser och tester på alla prov. Alla uttagna askprover skickades därför inte för analys på en gång utan i första skedet skickades enbart prover med ett intervall av var andra eller var tredje dygn. Det beslutades att om granskningen av resultaten visade att ytterligare information behövdes för tätare intervall kunde askproven för mellandagarna skickas för analys i en andra omgång. Vad gäller bränsleproven togs ett ännu mindre antal ut för analys i första skedet. Ej utnyttjade prov lagrades i anläggningens källare i avvaktan på behovet.

När resultaten från den första omgången med askprov och bränsleprov anlönt visade det sig att avklingningsförloppet i askan kunde följas ganska väl. Det fanns inget behov av att ytterligare precisera dem genom att analysera de askprov som inte utnyttjats. Däremot var det glesare mellan resultaten för bränsleproven – ytterligare analyser bedömdes kunna bidra till en bättre bild över variationerna i bränslesammansättningen

² Vid analys av AS, Cd, Cu, Co, Hg, Ni, Pb, B, Sb, Se och S gäller: Analysprov har torkats vid 50 °C och elementarhalterna har TS-korrigerats till 105 °C. Upplösningen har skett i mikrovågsugn i slutna teflonbehållare samt salpetersyra / väteperoxid. För övriga grundämnen gäller: 0,125 g trokat prov smälts med 0,375 g LiBO₂ och upplöses i HNO₃. Analys har skett enligt EPA-metoder (modifierade) 200,7 (ICP-AES) och 200,8 (ICP-SMS). Analys av Cl enligt Vattenlakning.

och hur dessa påverkar askornas sammansättning. Ytterligare två bränsleprov av skogsflis valdes ut bland dem som hittills inte utnyttjats och skickades till analys.

Under hela försökstiden registrerades följande driftdata: effekt (ångproduktion), rökgasstorheter som NO_x-halt, NH₃-slip, SO₂-halt, CO-halt, THC (totala kolväten), stoft, HCl-halt, temperatur, O₂-halt samt rökgasflöde.

Askflödena vägs inte in kontinuerligt vid kraftvärmeverket utan dessa måste beräknas med ledning av ingående bränsleflöden och ångproduktion.

5 Resultat

Försöken har gett upphov till en stor samling av data om sammansättningen hos inaskade bränslen och askor i anläggningen, samt lakdata. Alla primärdata finns samlade i Bilaga A. I detta avsnitt "Resultat" grupperas bearbetade data för att ge läsaren en bättre överblick.

5.1 Driftsförhållanden

Effekten ur pannan var i medel ca 17 MW, vilket är 70 % av maximal last. Driftsförhållandena var tämligen konstanta under försöksperioden med variationer på ca ± 5 % under ett dygn m a p effekten. Undantaget är en långsam sänkning av effekten under 4/10 och 5/10 från ca 16 MW till ca 13 MW. Ett avbrott förekom, den 15/9, strax före försöksperioden med skogsflis, då pannan trippade och stod under några timmar. Pannan var dock tillbaka vid normal last sex timmar före första provtagningen den 16/9.

En granskning av de loggade utsläppsvärdena (SO_2 , NO_x , CO etc) visar inte heller att några extraordinära händelser skulle förekommit.

Tabell 2. Sammanställning över panneffekten (dygnsmedelvärden av timvisa medelvärden) under försöksperioden

Table 2. Summary of the thermal power output from the boiler (daily average of hourly averages) during the test period

RT-flis 1		Skogsflis		Skogflis + RT-flis		RT-flis 2	
dag	effekt	dag	effekt	dag	effekt	dag	effekt
08 sep	16,8	16 sep	17,3	27 sep	17,8	04 okt	15,6
10 sep	17,1	17 sep	16,4	28 sep	17,6	05 okt	14,1
11 sep	17,1	18 sep	16,2	29 sep	17,5	06 okt	13,1
12 sep	17,1	19 sep	14,8				
		20 sep	14,8				
		22 sep	15,3				
		25 sep	16,3				
		26 sep	16,7				
medel	17,0	medel	16,0	medel	17,6	medel	14,3

Det driftsproblem som förekom under inledningen av försöksperioden var att kalken som injiceras i rökgaserna för avsvavling klumpade ihop sig i matningen. Orsaken är relativt hög luftfuktighet och fallande temperaturer: kondens bildas i skruven.

5.2 Bränslens sammansättning

I en första approximation förväntas sammansättningen hos de askor som tas ut från anläggningen motsvara sammansättningen hos det inaskade bränslet. Det förväntas också att RT-flisen skall vara mer ”förorenad” än ren skogsflis, och att sammansättningen hos ett blandbränsle skall kunna beräknas genom en interpolation mellan de två ingående bränslenas sammansättning.

I Tabell 3 har data från bränsleanalyserna i Tabell 20 i Bilaga A räknats om till en sammansättning för bränsleaskan. Data är ett medelvärde för prov uttagna under flera dagar:

- o Den 10/9 och 11/9 för RT-flis 1
- o Den 25/9 och 26/9 för skogsflis
- o Den 28/9 och den 29/9 för en blandning av lika mängder RT-flis och skogsflis
- o Den 5/10 och 6/10 för RT-flis 2

För jämförelsens skull anges även de riktvärden som rekommenderas av Skogsstyrelsen för aska som skall spridas i skogsmark. För huvudämnen har värdena räknats om till oxidbasis.

Skillnaden mellan de medelvärden som räknats ut och värden för enstaka dygn är ofta liten, inom $\pm 20\%$, vilket tyder på en jämn kvalitet med det korta tidsperspektivet på ett par dagar. Några halter svänger dock mer än så, bly oftast och några ämnen som arsenik och koppar ibland.

För skogsflis finns även analyser från 16/9, 19/9 och 20/9. Oftast är skillnaden liten mellan medelvärdet för den 25/9 och 26/9 och medelvärdet för samtliga fem dagsprov. Man kan dock notera vissa avvikelser i början av skogsflisperioden och i slutet, med jämförelsevis höga halter av arsenik, koppar, krom, och i viss mån antimon, vilket troligen beror på att rester av RT-flis i bränslelagret följt med.

RT-flisen har i allmänhet högre askhalt samt högre kisel-, aluminium-, natrium- och titanhalt än skogsflisen. Skogsflisen har däremot högre halter av kalcium, kalium och fosfor. Ingen större skillnad kan iakttas för magnesium och mangan. RT-flisen är klart mer bemängd med miljöstörande spårämnen som arsenik, krom, koppar, bly, antimon och zink än skogsflis. Det finns inga markanta skillnader för kadmium, kvicksilver och nickel.

Tabell 3. Sammansättningen hos bränsleaska för de bränslen (inaskade vid 550°C) som användes under försöken (medelvärden). Kolumnen till höger är riktvärden från Skogsstyrelsen för aska som skall spridas i skogsmark.

Table 3. The composition of fuel ash for the fuels (ashed at 550°C) used during the experiments (mean values). The rightmost column (SKS) summarizes limit values recommended by the National Board of Forestry.

Ämne	Enhet	RT-flis 1	skogsflis	Blandning skogsflis/RT	RT-flis 2	SKS
Datum		10/9, 11/9	25/9, 26/9	28/9, 29/9	5/10, 6/10	
Askhalt	% TS	3,6	2,5	2,8	3,4	
SiO ₂	% aska	39,7	36,0	33,0	45,4	
Al ₂ O ₃	% aska	8,3	7,0	7,1	10,0	
CaO	% aska	20,2	30,7	30,1	17,0	17,6 ¹
Fe ₂ O ₃	% aska	4,7	2,4	3,7	3,7	
K ₂ O	% aska	5,1	11,1	8,3	5,2	3,6 ¹
MgO	% aska	3,7	3,7	3,6	2,8	3,3 ¹
MnO	% aska	0,48	0,79	0,71	0,39	
Na ₂ O	% aska	3,2	1,5	2,2	3,3	
P ₂ O ₅	% aska	1,1	3,2	2,4	0,76	2,3 ¹
TiO ₂	% aska	4,3	0,40	2,27	3,24	
As	mg/kg aska	430	20	857	164	30
Cd	mg/kg aska	13,5	12,2	10,3	39,2	30
Cr	mg/kg aska	1577	118 ²	764	1375	100
Cu	mg/kg aska	1509	176	1196	852	400
Hg	mg/kg aska	1,2	0,8	1,8	1,0	3
Ni	mg/kg aska	49	68	62	56	70
Pb	mg/kg aska	666	49	1564	725	300
Sb	mg/kg aska	15,8	2,0	16,8	11,9	
V	mg/kg aska	82	39	52	168 ³	70
Zn	mg/kg aska	12539	2111	5262	51116	7000
S	mg/kg aska	24354	11258	20290	26689	
Cl	% TS	4,0	0,5	1,9	1,9	

Fotnot till Tabell 3:

¹ koncentrationen skall vara lägst detta värde. Övriga uppgifter i denna kolumn avser högsta tillåtna halt.

² medelvärdet för proven rent skogsflis avser dagarna 19/9, 20/9 och 25/9. Värdena första dagen och den sista dagen i skogsflisperioden är betydligt högre då rester av RT-flis kan ha kommit med.

³ Värdet för vanadin den 6/10 är avvikande högt, 288 mg/kg, vilket ger utslag på medelvärdet. Det är tre gånger större än näst största värdet, 93 mg/kg för RT-flis 1 den 9/9.

Värdena för halterna i blandningen av skogsflis och RT-flis 2 ligger ofta men inte alltid mellan de för de rena bränslen, vilket är enligt förväntan. Blandningen skulle ha varit lika delar av både skogsbränsle och RT-flis, men sammansättningen av bränsleaskan är inte ett exakt medelvärde av värdena för de ingående bränslena. Sannolikt beror detta på variabiliteten hos bränslen och askan och svårigheten att blanda flis i denna skala.

Man kan för övrigt konstatera att förutsättningarna för att sprida askan efter skogsflisen tycks vara dåliga: kromhalten i bränslet är redan för hög, över SKS:s riktvärde på 100 mg/kg. Medelvärdet över alla fem provdagar med skogsflis är 226 mg/kg aska och över de tre utvalda dagarna är det ca 118 mg/kg. I övrigt ligger halterna av miljöstörande ämnen under riktvärden. Halterna av näringsämnen ligger i nivå med eller över lägsta rekommenderade värdet, med undantag för fosforhalten som är låg.

Vidare förefaller det inte finnas någon signifikant skillnad i askans sammansättning mellan det returträ som eldades före skogsflisperioden och det returträ som eldades efter. Undantaget är zink, vilket kan vara en tillfällighet. Dessa två RT-fraktioner kom också från samma leverantörer, inte från olika leverantörer såsom avsikten var.

5.3 Askornas sammansättning och egenskaper

Bränslet som eldas i Nynäshamns kraftvärmeverk ger upphov till tre strömmar av aska (filteraska, ecoaska och bäddaska). Provtagning gjordes på samtliga av dessa. Nedan sammanställs data först för varje bränsle, sedan för några asktyper.

5.3.1 Kornstorlek och sammansättning

Flygaskan (eller filteraskan) är askan med den minsta kornstorleken och ecoaskan är något grövre. Båda dessa askor är ljusgrå, med några flagor eller små bitar av förkolnat material. Ecoaskan innehåller dessutom ljusa korn som förefaller vara sand eller bitar av småstenar.

Bäddaskan består däremot av allt som har en kornstorlek över 2 mm (eftersom bäddaskan trumsiktas och fraktionen <2 mm återförs till pannan). Vid en granskning av bäddaskproverna framgår det att betydande mängder ”främmande” material ingår i denna aska: metallföremål som skruvar och spik, större föremål, småsten, bitar av byggnadsmaterial som glas³, tegel, kakel eller porslin. Askorna efter returträeldning innehåller den största andelen metallföremål, medan askan efter skogsfliseldning har färre sådana föremål.

³ Glasbitarna är inkapslade i sand och bränsleaska. Den rena glasytan syns endast på relativt färska brottsytor.

Proven av bäddaska siktades i tre fraktioner:

- o Fraktionen 2 – 5 mm, vilken består till ungefär lika andelar småsten och hopsintrade småkorn som troligen är bäddsand på vilka bränsleaskan agglomererats. Den motsvarar 75-85 % av askmängden. Det är denna fraktion som analyserats.
- o Fraktionen 5 – 8 mm, mest småsten och i fallen där RT-flis ingått som bränsle främmande metallföremål och tegel, glas, keramik.
- o Fraktionen över 8 mm, grövre sten, metallföremål, keramik, tegel och glas.

Bilder på de olika fraktionerna av bäddaskan visas i Figur 3. Resultaten från siktningen finns sammanställt i Tabell 4 och Tabell 5.



2 – 5 mm, ca 75-85 %



5 – 8 mm, ca 10 %



> 8 mm, ca 10 %



utplockade metallbitar (ej inräknat i askmängden)

Figur 3. Fotografier av de olika fraktionerna av bäddaskan samt ett urval av metallbitar i bäddaskan. För fraktionen 2-5 mm analyserades den kemiska sammansättningen.

Figure 3. Photography of the different fractions of the bottom ash and of a selection of metal objects in the bottom ash. The chemical composition was analysed for the fraction 2-5 mm.

Tabell 4. Resultat från siktningen av bäddaskorna.

Table 4. Results from a sieving of the bottom ashes.

Datum	Bränsle	Vikt i fraktionen (kg)			Andel bäddaska i fraktionen (%)		
		2 – 5 mm	5 – 8 mm	> 8 mm	2 – 5 mm	5 – 8 mm	> 8 mm
10/9	RT-flis 1	4,01	0,53	0,65	77	10	13
11/9	RT-flis 1	3,96	0,51	0,93	73	9	17
16/9	skogsflis	5,53	0,93	1,18 ¹	72	12	15
18/9	skogsflis	6,45	0,54	0,94	81	7	12
20/9	skogsflis	6,05	0,47	0,50	86	7	7
22/9	skogsflis	2,01	0,40	0,18	78	15	7
25/9	skogsflis	5,35	0,46	0,52	85	7	8
26/9	skogsflis	5,55	0,47	0,85	81	7	12
28/9	blandat	5,90	0,50	0,49	86	7	7
29/9	blandat	6,31	0,66	0,93	80	8	12
5/10	RT-flis 2	4,48	0,46	0,52	82	8	10
6/10	RT-flis 2	4,99	0,63	1,08	74	9	16

Fotnot till Tabell 4:

¹ En metallklump på 1,73 kg har uteslutits ur denna fraktion.

Provet den 16/9, första dagen med skogsflis, innehöll en metallklump på 1,73 kg. Ett senare prov innehöll ett hopklämt ca 10 cm lång kopparrör (se bild nere till höger i Figur 3). Dessa har inte tagits med i värdena för fraktionen över 8 mm. Det är för övrigt anmärkningsvärt hur konstant mängden av de två fraktionerna över 5 mm är för de olika proven.

Tabell 5. Medelvärden av resultat från siktningen av bäddaskorna.

Table 5. Mean values of the results from a sieving of the bottom ashes.

	Andel bäddaska i medeltal i fraktionerna (%)		
	2 – 5 mm	5 – 8 mm	> 8 mm
RT-flis 1	75	10	15
skogsflis	81	9	10
RT/skogsflis	83	8	9
RT-flis 2	78	9	13
Totalt medelvärde	80	9	11

5.3.2 Kemisk sammansättning

I Tabell 6-Tabell 9 visas den kemiska sammansättningen för de olika askströmmarna samt bränsleaskan och fluidiseringssanden vid de olika bränslefallen. Som jämförelse visas även riktvärdena från Skogsstyrelsen (SKS) för återföring till skogsmark.

Tabell 6. Sammansättningen hos inaskad RT-flis 1, oanvänd fluidiseringssand samt bäddaska, ecoaska och filteraska. Riktvärden från Skogsstyrelsen anges för jämförelsens skull.

Table 6. The composition of ashed fuel for waste wood 1, fluidisation sand as well as bottom ash, boiler ash and APC residue. The limit values recommended by the National Board of Forestry (SKS) are given for the sake of comparison.

Ämne	Enhet	RT-flis 1	Sand ²	Bäddaska ⁵	Ecoaska	Filteraska	SKS [1]
Datum		10/9, 11/9 (medelvärde)	10/9	10/9, 11/9 (medelvärde)			
GF/1000 ³	% TS		0,4	-0,1	1,1	14,4	
SiO ₂	% TS	39,7	75,8	67,3	60,8	32,0	
Al ₂ O ₃	% TS	8,3	12,7	13,3	11,8	8,5	
CaO	% TS	20,2	1,0	4,8	9,0	23,8	17,6 ¹
Fe ₂ O ₃	% TS	4,7	1,7	3,4	4,0	3,5	
K ₂ O	% TS	5,1	4,6	4,4	3,3	2,9	3,6 ¹
MgO	% TS	3,7	0,34	1,5	2,1	2,6	3,3 ¹
MnO	% TS	0,48	0,03	0,10	0,14	0,24	
Na ₂ O	% TS	3,2	3,4	4,1	2,5	2,0	
P ₂ O ₅	% TS	1,1	0,05	0,17	0,33	0,65	2,3 ¹
TiO ₂	% TS	4,3	0,15	0,48	2,4	2,8	
As	mg/kg	430	36 ⁴	155	201	986	30
Cd	mg/kg	13,5	<0,1	0,50	5,6	25,6	30
Cr	mg/kg	1577	50,9	386	610	1218	100
Cu	mg/kg	1509	10,4	2920	955	1460	400
Hg	mg/kg	1,2	<0,01	0,01	0,02	4,0	3
Ni	mg/kg	49	4,8	32	42	77	70
Pb	mg/kg	666	18	685	858	2810	300
Sb	mg/kg	15,8	<0,5	46	44	138	
V	mg/kg	82	15	52	54	66	70
Zn	mg/kg	12539	36	5740	7830	10340	7000
S	mg/kg	24354	1660	286	7505	21750	
Cl	% TS	4,0		<0,1	0,2	4,4	

Fotnot till Tabell 6:

¹ koncentrationen skall vara lägst detta värde. Övriga uppgifter i denna kolumn avser högsta tillåtna halt.

² Baskarpsand 0,95 mm (som ej varit i pannan)

³ glödningsförlust vid 1000 °C

⁴ värdet är relativt högt jämfört med vad som normalt förekommer i natursand.

⁵ fraktion 2-5 mm, exklusive metallbitar

Tabell 7. Sammansättningen hos inaskad skogsbränsle, oanvänd fluidiseringssand samt bäddaska, ecoaska och filteraska. Riktvärden från Skogsstyrelsen anges för jämförelsens skull.

Table 7. The composition of ashed fuel for logging residues, fluidisation sand as well as bottom ash, boiler ash and APC residue. The limit values recommended by the National Board of Forestry (SKS) are given for the sake of comparison.

Ämne	Enhet	Skogsflis	Sand ²	Bäddaska ⁵	Ecoaska	Filteraska	SKS [1]
Datum		25/9, 26/9 (medelvärde)	10/9	25/9, 26/9 (medelvärde)			
GF/1000 ³	% TS		0,4	0,2	2,1	8,5	
SiO ₂	% TS	36,0	75,8	67,6	69,1	49,0	
Al ₂ O ₃	% TS	7,0	12,7	13,6	10,1	8,5	
CaO	% TS	30,7	1,0	4,3	6,5	19,9	17,6 ¹
Fe ₂ O ₃	% TS	2,4	1,7	2,5	2,6	2,7	
K ₂ O	% TS	11,1	4,6	7,4	5,1	4,5	3,6 ¹
MgO	% TS	3,7	0,34	1,0	1,3	1,8	3,3 ¹
MnO	% TS	0,79	0,03	0,09	0,16	0,18	
Na ₂ O	% TS	1,5	3,4	3,4	2,4	2,0	
P ₂ O ₅	% TS	3,2	0,05	0,27	0,66	1,0	2,3 ¹
TiO ₂	% TS	0,40	0,15	0,27	0,36	0,37	
As	mg/kg	20	36	52	59	94	30
Cd	mg/kg	12,2	<0,1	0,2	1,4	4,0	30
Cr	mg/kg	113 ⁴	50,9	152	152	208	100
Cu	mg/kg	176	10,4	648	330	380	400
Hg	mg/kg	0,8	<0,01	<0,01	<0,01	0,19	3
Ni	mg/kg	68	4,8	14,6	18,1	31,4	70
Pb	mg/kg	49	18	284	301	288	300
Sb	mg/kg	2,0	<0,5	8,8	6,7	10,2	
V	mg/kg	39	15	29,4	32,3	38,9	70
Zn	mg/kg	2111	36	2095	1370	1465	7000
S	mg/kg	11258	1660	202	874	4735	
Cl	% TS	0,5		<0,1	<0,1	0,4	

Fotnot till Tabell 7:

¹ koncentrationen skall vara lägst detta värde. Övriga uppgifter i denna kolumn avser högsta tillåtna halt.

² Baskarpsand 0,95 mm (som ej varit i pannan)

³ glödningsförlust vid 1000 °C

⁴ medelvärde för proven rent skogsflis: värdena första dagen och sista dagen i skogsflisperioden är betydligt högre då rester av RT-flis kan ha kommit med. Värdet i tabellen avser dagarna 19/9, 20/9 och 22/9.

⁵ fraktion 2-5 mm, exklusive metallbitar

Tabell 8. Sammansättningen hos inaskad blandning av skogsbränsle och RT-flis 2, oanvänd fluidiseringssand samt bäddaska, ecoaska och filteraska. Riktvärden från Skogsstyrelsen anges för jämförelsens skull.

Table 8. The composition of ashed fuel for a mixture of logging residues and waste wood 2, fluidisation sand as well as bottom ash, boiler ash and APC residue. The limit values recommended by the National Board of Forestry (SKS) are given for the sake of comparison.

Ämne	Enhet	RT/skogsflis- blandning	Sand ²	Bäddaska ⁴	Ecoaska	Filteraska	SKS [1]
Datum		28/9, 29/9 (medelvärde)	10/9	28/9, 96/9 (medelvärde)			
GF/1000 ³	% TS		0,4	0,1	1,4	10,8	
SiO ₂	% TS	33,0	75,8	66,2	63,4	41,0	
Al ₂ O ₃	% TS	7,1	12,7	13,0	11,2	8,1	
CaO	% TS	30,1	1,0	5,2	7,9	19,6	17,6 ¹
Fe ₂ O ₃	% TS	3,7	1,7	2,9	4,1	3,2	
K ₂ O	% TS	8,3	4,6	7,1	4,4	5,3	3,6 ¹
MgO	% TS	3,6	0,34	1,1	1,7	2,6	3,3 ¹
MnO	% TS	0,71	0,03	0,10	0,18	0,39	
Na ₂ O	% TS	2,2	3,4	3,6	2,4	2,0	
P ₂ O ₅	% TS	2,4	0,05	0,31	0,63	1,9	2,3 ¹
TiO ₂	% TS	2,27	0,15	0,33	1,6	1,0	
As	mg/kg	857	36	73	94	236	30
Cd	mg/kg	10,3	<0,1	0,21	3,0	11,4	30
Cr	mg/kg	764	50,9	196	282	380	100
Cu	mg/kg	1196	10,4	1131	520	640	400
Hg	mg/kg	1,8	<0,01	<0,01	<0,01	0,83	3
Ni	mg/kg	62	4,8	40,0	54,6	53,8	70
Pb	mg/kg	1564	18	292	407	730	300
Sb	mg/kg	16,8	<0,5	12,6	16,6	26,0	
V	mg/kg	52	15	28,0	41,6	42,2	70
Zn	mg/kg	5262	36	2895	4545	3785	7000
S	mg/kg	20290	1660	268	3210	13250	
Cl	% TS	1,9		<0,1	<0,1	1,3	

Fotnot till Tabell 8:

¹ koncentrationen skall vara lägst detta värde. Övriga uppgifter i denna kolumn avser högsta tillåtna halt.

² Baskarpsand 0,95 mm (som ej varit i pannan)

³ glödgningsförlust vid 1000 °C

⁴ fraktion 2-5 mm, exklusive metallbitar

Tabell 9. Sammansättningen hos inaskad RT-flis 2, fluidiseringssanden samt bäddaska (pannsand), ecoaska och filteraska. Riktvärden från Skogsstyrelsen anges för jämförelsens skull.

Table 9. The composition of ashed fuel for waste wood 2, fluidisation sand as well as bottom ash, boiler ash and APC residue. The limit values recommended by the National Board of Forestry (SKS) are given for the sake of comparison.

Ämne	Enhet	RT-flis 2	Sand ²	Bäddaska ⁵	Ecoaska	Filteraska	SKS [1]
Datum		5/10, 6/10 (medelvärde)	10/9	5/10, 6/10 (medelvärde)			
GF/1000 ³	% TS		0,4	0,2	1,4	10,1	
SiO ₂	% TS	45,4	75,8	66,0	59,2	51,2	
Al ₂ O ₃	% TS	10,0	12,7	12,8	12,8	9,5	
CaO	% TS	17,0	1,0	4,6	8,9	27,4	17,6 ¹
Fe ₂ O ₃	% TS	3,7	1,7	2,6	3,9	3,4	
K ₂ O	% TS	5,2	4,6	5,4	3,6	3,0	3,6 ¹
MgO	% TS	2,8	0,34	1,1	2,0	2,1	3,3 ¹
MnO	% TS	0,39	0,03	0,10	0,11	0,18	
Na ₂ O	% TS	3,3	3,4	3,8	2,5	1,8	
P ₂ O ₅	% TS	0,76	0,05	0,20	0,29	0,52	2,3 ¹
TiO ₂	% TS	3,24	0,15	0,37	3,4	1,9	
As	mg/kg	164	36	105	84	256	30
Cd	mg/kg	39,2	<0,1	2,2	3,2	7,1	30
Cr	mg/kg	1375	50,9	360	347	420	100
Cu	mg/kg	852	10,4	1655	700	648	400
Hg	mg/kg	1,0	<0,01	<0,01	<0,01	0,52	3
Ni	mg/kg	56	4,8	17	69	63	70
Pb	mg/kg	725	18	735	288 ⁴	794	300
Sb	mg/kg	11,9	<0,5	28	38	47	
V	mg/kg	168	15	30	48	51	70
Zn	mg/kg	51116	36	3095	12950	6170	7000
S	mg/kg	26689	1660	319	10670	13900	
Cl	% TS	1,9		<0,1	<0,1	1,4	

Fotnot till Tabell 9:

¹ koncentrationen skall vara lägst detta värde. Övriga uppgifter i denna kolumn avser högsta tillåtna halt.

² Baskarpsand 0,95 mm

³ glödgningsförlust vid 1000 °C

⁴ de två värdena för bly avviker mycket från varandra: 527 och 49 mg/kg.

⁵ fraktion 2-5 mm, exklusive metallbitar

Om uppgifterna i Tabell 6, Tabell 7, Tabell 8 och Tabell 9 håller god kvalitet bör man kunna se bl a de samband som erfarenhetsmässigt borde förväntas:

- o I allmänhet stämmer storleksordningen hos halterna i bränsleaskan rätt väl med storleksordningen hos halterna i de olika askflödena. Det förefaller inte finnas några anmärkningsvärda diskrepanser, även om vissa avvikelser förekommer, se t ex antimon i Tabell 6 och i Tabell 7, samt bly och arsenik i Tabell 7.
- o Glödförlusten vid ca 1000°C (Loss-of-Ignition, LOI, vid analysen av sammansättningen) är låg, som förväntat, för bäddaskor och ecoaskor, men ovanligt hög i filteraskorna, ca 10 %.
- o För samtliga fallen är andelen kiseldioxid högst i bäddaskan och lägst i filteraskan, medan halten kalciumoxid är högst i filteraskan och lägst i bäddaskan. Det senare är naturligt: kalk och aktivt kol doseras till rökgasen uppströms från slangfiltren. Det är dock inte enbart tillsatsen av släckt kalk som har betydelse utan en del härstammar från bränslet. Detta kan påvisas genom att magnesiumoxid och fosforoxid följer halten kalciumoxid i filteraskan. På samma sätt kan man tänka sig att bäddaskan och ecoaskan innehåller en del grus och fluidiseringssand som påverkar kiseldioxidhalten.
- o Halten av kalium och av natrium (som oxider) är högst i bäddaskan och lägst i filteraskan.
- o De flyktiga miljöstörande ämnena som arsenik, kvicksilver, bly, antimon, zink återfinns i högre koncentrationer i filteraskan än i bäddaskan. Dock är tendensen inte lika tydlig när halterna är låga.
- o Halten svavel och klor är högre i filteraskan än i bäddaskan.

Om man granskar fall för fall finns diskrepanser:

- o I Tabell 6, Tabell 7 och Tabell 9 är antimonhalten betydligt högre i askorna än i bränslet och fluidiseringssanden.
- o I Tabell 7, skogsbränsle, är halten arsenik, bly och krom betydligt högre i askorna än i bränsleaskan och i sanden, se ovan. Undantaget är halten arsenik i fluidiseringssanden som är något över riktvärdet.
- o Omvänt, halten arsenik i bränsleaskan för bränsleblandningen, Tabell 8, är väl högre än halten arsenik i askorna.

Nästa kontroll av rimligheten av data är att jämföra dem med de för liknande askor. Detta görs för bäddaskor i avsnitt 6.2.

5.3.3 Laktest

Fraktionen 2 – 5 mm från bäddaskan för fyra prov befuktades, ca 2 kg per prov, och lämnades att mogna i något mer än en månad. På dessa prov gjordes sedan laktest enligt SS-EN 12457-3⁴.

- o RT-flis 1, bäddaskan den 10/9
- o Skogsflis, bäddaskan den 26/9
- o Blandbränslet, bäddaskan den 29/9
- o RT-flis 2, bäddaskan den 6/10

En kontrollanalys av den totala sammansättningen hos de mognade proven visar att denna inte avviker från sammansättningen hos resten av proven.

Originaldata från lakförsöken återges i Tabell 25 i Bilaga A. Ett utdrag ges i Tabell 10 för första laksteget, $L/S = 2$ och i Tabell 11 för andra laksteget, $L/S = 10$. Värden som överskrider gränsen för inert avfall, men inte gränsen för icke-farligt avfall, har skrivits i kursiv stil. Värden som överstiger gränsen för icke-farligt avfall, men inte gränsen för farligt avfall, har skrivits i fet stil.

Värdena för löst organiskt material (DOC), fluorid, klorid och sulfat i lakvattnen ligger klart under de övre gränsvärdena för inert avfall i direktiven om mottagning av avfall vid deponier, 2003/33/EG⁵. De ligger i allmänhet i underkant på värdena för lagrad panssand från ett tidigare Värmeforskprojekt [7], utom DOC för vilket askorna i [7] i allmänhet har lägre värden.

För miljöstörande ämnen ligger värdena oftast under övre gränsvärden för inert avfall. Det gör även de lagrade panssandarna i det tidigare Värmeforskprojektet [7]. För arsenik, krom och antimon ligger värdena i Nynäshamns askor ofta över gränsen för inert avfall men under gränsen för icke-farligt avfall. Undantagen är arsenik i bäddaskorna från RT-flisen som båda ligger över gränsen för icke-farligt avfall (dock marginellt, klart under gränsen för farligt avfall).

Bäddaskan med ursprung i skogsflis går in som inert avfall, med undantag för krom som dock låg något högt redan i bränslet.

Det höga pH-värdet (>10) i båda lakstegen pekar på att bäddaskan inte helt karbonatiserats. Den elektriska konduktiviteten i proven är relativt låg, och då halterna klorid och sulfat också är låga är salthalten i lakvetskorna, dvs det totalt lakbara, ganska låg.

⁴ Test enligt denna standard innebär lakning i två omgångar: först vid $L/S=2$ (L/S är förhållandet mellan vätskemängd och mängden fast prov) och sedan vid $L/S=8$, d v s tillsammans $L/S=10$ [5].

⁵ Direktiven om mottagning av avfall vid deponier har tre kategorier:

- o inert avfall
- o icke-farligt och farligt avfall som får läggas på en deponi för icke-farligt avfall
- o farligt avfall som får läggas på en deponi för farligt avfall

Tabell 10. Resultat från första laksteget (L/S=2) för lakning enligt EN 12457-3 av proven bäddaska (fraktionen 2 - 5 mm). För jämförelsens skull anges (övre) gränsvärden i direktivet om mottagning av avfall vid deponier 2003/33/EG. Värdena anges i mg per kg aska utom pH (-) och konduktiviteten (mS/m).

Table 10. Results from the first leaching stage (L/S=2) in the EN 12457-3 test of the samples of bottom ash (the fraction 2 – 5 mm). The (high) limit values in the Directive 2003/33/EC are also given for the sake of comparison. The values are given in mg per kg ash except for pH (-) and conductivity (mS/m).

Storhet	Bäddaskprover från Nynäshamns KVV				Gränsvärden enl.2003/33/EG [3]		
	RT-flis 1	Skogsflis	Blandat skogflis/ RT	RT-flis 2	Inert avfall	Icke-farligt avfall	Farligt avfall
pH	>10	>10	>10	>10			
Kond.	45,3	73,2	86,2	60,6			
DOC	22	4,6	16	9,2	<240	<380	<480
Cl	18,8	7,4	18,8	19	<550	<10000	<17000
F	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<4	<6	<200
SO ₄	53,2	86	124	78,2	<560	<10000	<25000
As	1,06	0,028	0,059	0,44	<0,1	<0,4	<6
Ba	0,5	0,083	0,13	0,20	<7	<10	<100
Cd	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	<0,03	<0,6	<3
Cr	2,06	1,16	1,71	1,6	<0,2	<4	<25
Cu	0,023	0,0072	0,012	0,012	<0,9	<25	<50
Hg	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	<0,003	<0,05	<0,5
Mo	0,102	0,086	0,095	0,087	<0,3	<5	<20
Ni	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	<0,2	<5	<20
Pb	< 0,003	< 0,003	0,0064	0,0039	<0,2	<5	<25
Sb	0,073	0,016	0,060	0,073	<0,02	<0,2	<2
Se	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	<0,06	<0,3	<4
Zn	0,031	0,0046	0,0062	0,0058	<2	<25	<90

Tabell 11. Resultat från andra laksteget (L/S=10) för lakning enligt EN 12457-3 av proven bäddaska (fraktionen 2 - 5 mm). För jämförelsens skull anges (de övre) gränsvärden i direktivet om mottagningskriterier vid deponier 2003/33/EG. Värdena anges i mg per kg aska utom pH (-) och konduktiviteten (mS/m).

Table 11. Results from the second leaching stage (L/S=10) in the EN 12457-3 test of the samples of bottom ash (the fraction 2 – 5 mm). The (high) limit values in the Directive 2003/33/EC are also given for the sake of comparison. The values are given in mg per kg ash except for pH (-) and conductivity (mS/m).

Storhet	Bäddaskprover från Nynäshamns KVV				Gränsvärden enl.2003/33/EG [3]		
	RT-flis 1	Skogsflis	Blandat skogsflis/ RT	RT-flis 2	Inert avfall	Icke- farligt avfall	Farligt avfall
pH	>10	>10	>10	>10			
Kond.	36,2	58	56,2	45,6			
DOC	42,9	<12	<23	24,8	<500	<800	<800
Cl	27,7	<15	27,2	26,5	<800	<15000	<17000
F	<1	<1	<1	<1	<10	<150	<500
SO ₄	75,3	99,6	153	109	<1000	<20000	<25000
As	4,94	0,10	0,63	2,96	<0,5	<2	<25
Ba	2,91	0,68	0,80	1,10	<20	<100	<300
Cd	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,04	<1	<5
Cr	2,95	1,58	2,88	2,57	<0,5	<10	<70
Cu	0,031	<0,01	<0,02	<0,02	<2	<50	<100
Hg	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,01	<0,2	<2
Mo	0,14	0,11	0,14	0,12	<0,5	<10	<30
Ni	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,4	<10	<40
Pb	0,004	0,15	0,21	0,014	<0,5	<10	<50
Sb	0,26	0,057	0,20	0,26	<0,06	<0,7	<5
Se	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,1	<0,5	<7
Zn	0,039	<0,01	0,020	0,019	<4	<50	<200

I Tabell 12 visas hur mycket av spårämnena som lakats ut i de olika stegen (L/S 2 resp L/S 10) i förhållande till ursprunglig mängd i de olika bäddaskproverna. För de flesta ämnena är utlakningen mycket liten. Endast arsenik avviker med en något större utlakning.

Tabell 12. Utlakad mängd spårämnen (%) vid L/S 2 och L/S 10.

Table 12. Leached amount of trace elements (%) for L/S 2 and L/S 10.

Ämne	Utlakad andel (%)							
	RT-flis 1		Skogsflis		Blandat skogsflis/ RT		RT-flis 2	
	L/S 2	L/S 10	L/S 2	L/S 10	L/S 2	L/S 10	L/S 2	L/S 10
As	3,7	17,2	0,0	0,2	0,1	0,6	0,6	4,2
Ba	0,0	0,3	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1
Cd								
Cr	1,4	2,0	0,6	0,9	0,4	0,7	0,7	1,1
Cu	0,0	0,0	0,0		0,0		0,0	
Hg								
Mo								
Ni								
Pb		0,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sb	1,0	3,6	0,1	0,4	0,1	0,4	0,2	0,8
Se								
Zn	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0

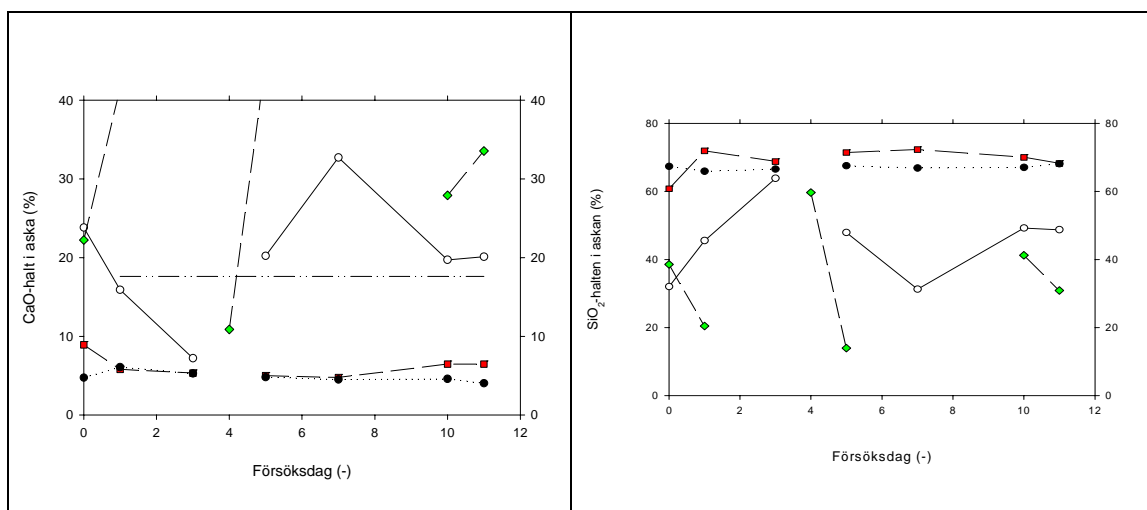
För de fall där endast ”mindre än detektionsgränsen” angetts i analysprotokollen har fältet lämnats blankt.

5.4 Avklingningsförloppet i askorna

Enligt panntillverkaren (Kvaerner Power) tar det ca sju dygn innan en ändring av bränslesammansättningen slagit fullt ut i askans sammansättning. Sammansättningen i askorna följdes därför under 11 dagar efter att man bytt bränsle från returträflis till skogsflis. Detta bedömdes ge en tillräckligt lång försöksperiod för att verifiera förloppen för de flesta ämnena.

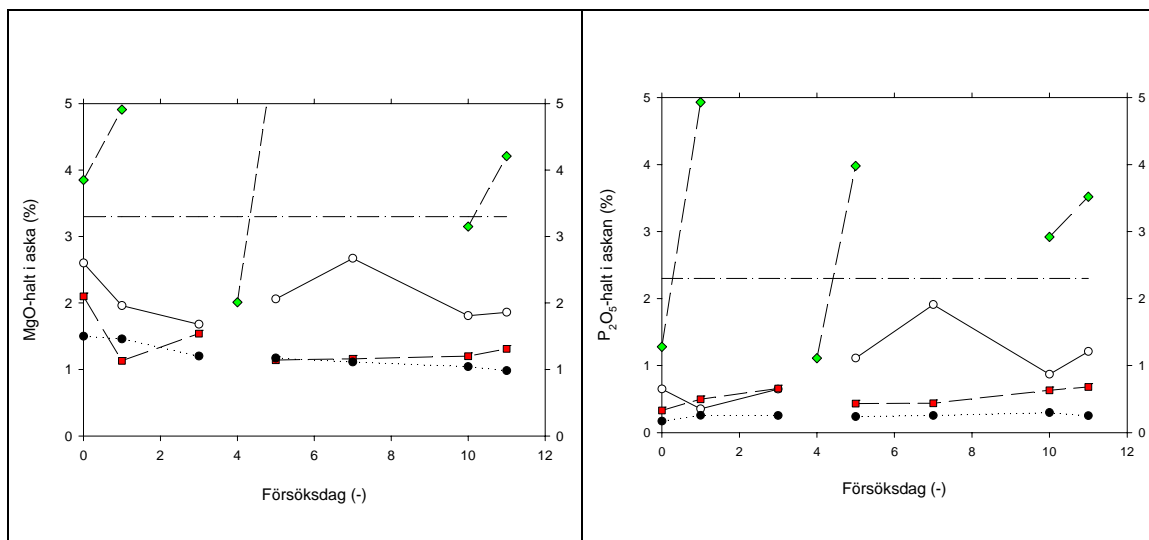
I Figur 4-Figur 11 sammanställs några bland de förlopp som följts.

Allmänt kan konstateras att i bäddaskan och i ecoaskan är halterna av huvudämnen (kisel, kalcium, kalium, magnesium, fosfor, järn, mangan, titan) ganska lika över tiden och det är svårt att se några uppenbara förändringar som kan tolkas som en avklingning. Variationerna i filteraskan och i bränsleaskan är mer uttalade, men kan inte heller (för det mesta) beskrivas som en avklingning.



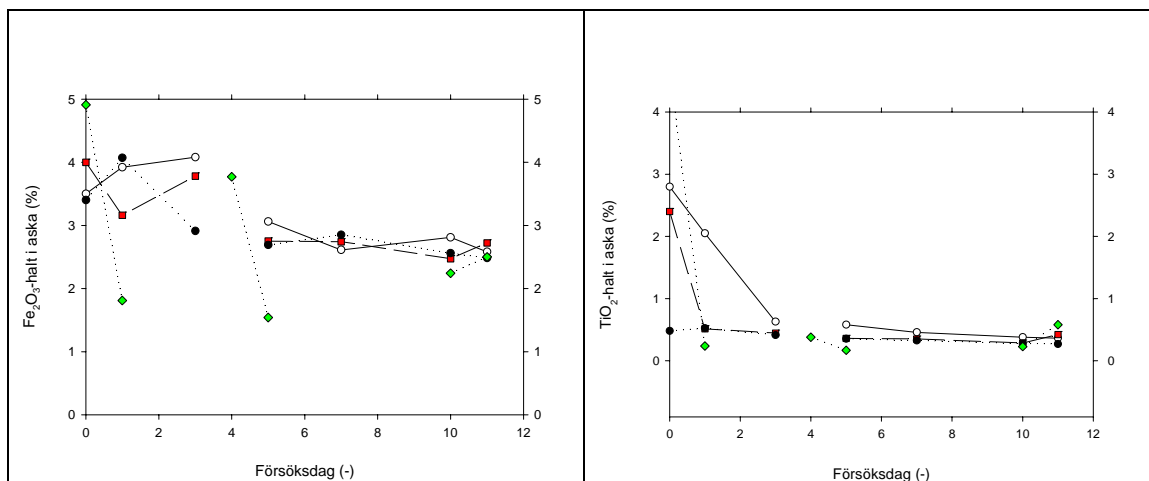
Figur 4. Halterna av kalciumoxid och av kiseldioxid i askor och bränsle under perioden då pannan eldades med skogsflis efter att ha eldats med RT-flis. Symboler: ○ filteraska, ■ ecoaska, ● bäddaska och ◆ bränsleaskan. Linjen vid 17,6 % i vänster diagram är riktvärdet från Skogsstyrelsen om lägsta halt för kalciumoxid.

Figure 4. The concentration of calcium oxide and of silicon dioxide in ashes and fuel during the period when the boiler was fired with logging residues after having been fired with waste wood. Symbols: ○ filter ash, ■ boiler ash, ● bottom ash and ◆ ashed fuel. The line at 17,6 % in the left diagram is the (low) limit value for calcium oxide.



Figur 5. Halterna av magnesiumoxid och av fosforpentoxid i askor och bränsle under perioden då pannan eldades med skogsflis efter att ha eldats med RT-flis. Symboler: ○ filteraska, ■ ecoaska, ● bäddaska och ◆ bränsleaskan. De horisontella linjerna är riktvärden från Skogsstyrelsen om lägsta halt för magnesium och fosfor på oxidbasis.

Figure 5. The concentration of magnesium oxide and of phosphorus pentoxide in ashes and fuel during the period when the boiler was fired with logging residues after having been fired with waste wood. Symbols: ○ filter ash, ■ boiler ash, ● bottom ash and ◆ ashed fuel. The horizontal lines are the (low) limit value for magnesium and phosphorus on an oxide basis.

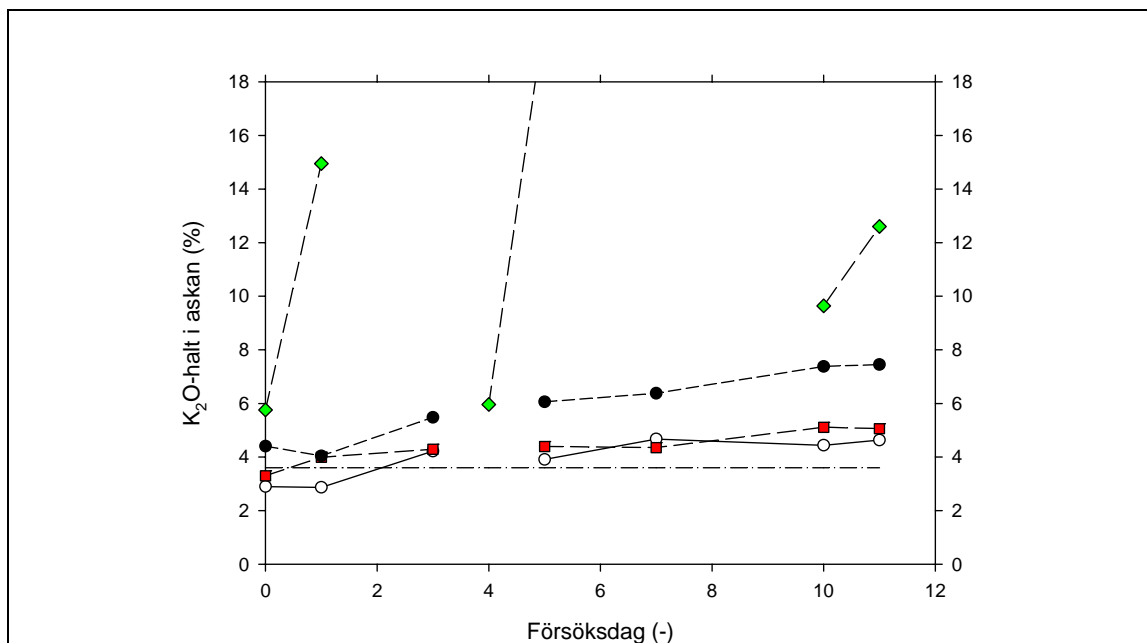


Figur 6. Halterna av järnoxid och av titandioxid i askor och bränsle under perioden då pannan eldades med skogsflis efter att ha eldats med RT-flis. Symboler: ○ filteraska, ■ ecoaska, ● bäddaska och ◆ bränsleaskan.

Figure 6. The concentration of iron oxide and of titanium dioxide in ashes and fuel during the period when the boiler was fired with logging residues after having been fired with waste wood. Symbols: ○ filter ash, ■ boiler ash, ● bottom ash and ◆ ashed fuel.

Halten av de flesta andra huvudämnen i filteraskan påverkas föga under försöken vid byte från RT-flis till skogsflis: det är svårt att se någon entydig trend. Möjligen följer magnesium-, mangan- och fosforhalten halten kalcium, vilket kan bero på en mindre andel mineraljord i bränslet i dessa prov. Järnhalten i askorna tycks minska något med tiden under försöket från ca 4 % till ca 3 % på oxidbasis.

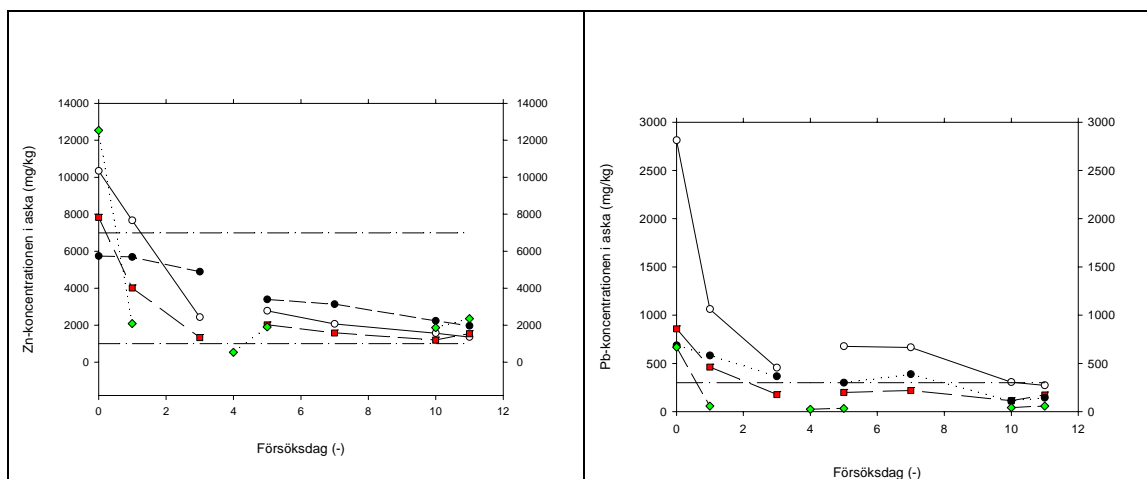
Däremot visar titanhalten en snabb avklingning vid bytet från RT-flis till skogsflis. Inom loppet av ett par dagar har filteraskan och ecoaskan kommit ner på en ny, lägre nivå.



Figur 7. Halten av kalium, räknat på oxidbasis, i askor och bränsle under perioden då pannan eldades med skogsflis efter att ha eldats med RT-flis. Symboler: ○ filteraska, ■ ecoaska, ● bäddaska och ◆ bränsleaskan. Den horisontella linjen vid 3,6 % är riktvärdet från Skogsstyrelsen om lägsta halt för kaliumoxid.

Figure 7. The concentration of potassium (on oxide basis) in ashes and fuel during the period, when the boiler is fired with logging residues after having been fired with waste wood. Symbols: ○ filter ash, ■ boiler ash, ● bottom ash and ◆ ashed fuel. The horizontal line at 3.6 % in the diagram is the (low) limit value for potassium oxide

Kalium har ett något avvikande beteende. Kaliumhalten i samtliga askor ökar kontinuerligt under försöksperioden med skogsflis. Reaktionen är trög: även om kaliumhalten i bränslet varierar rätt kraftigt tycks detta inte påverka halten i askorna. Halten kalium, uttryckt som oxid, i bäddaskan ökar kontinuerligt från något under 4 % vid försökets början till ca 8 % efter 10 dagar.

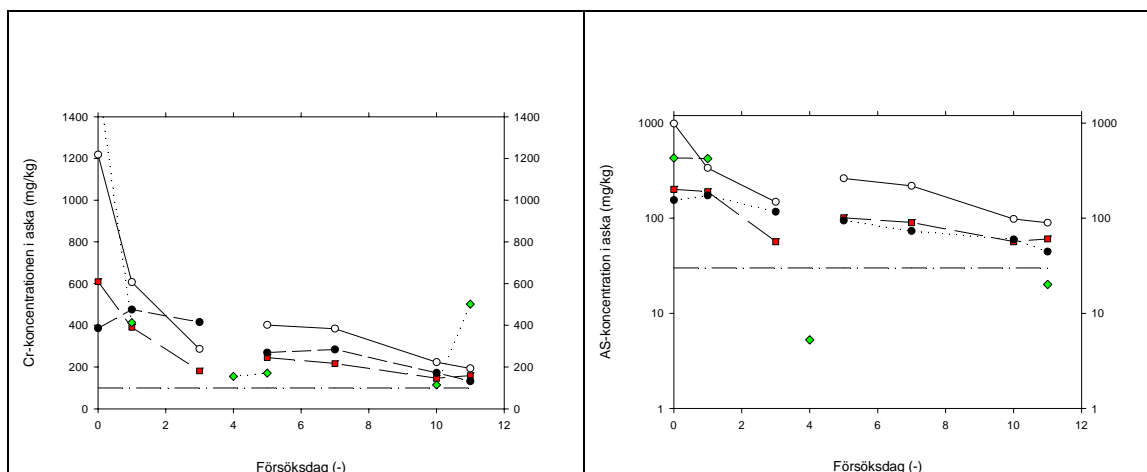


Figur 8. Halterna av zink och av bly i askor och bränsle under perioden då pannan eldades med skogsflis efter att ha eldats med RT-flis. Symboler: ○ filteraska, ■ ecoaska, ● bäddaska och ◆ bränsleaskan. De horisontella linjerna är riktvärden från Skogsstyrelsen om lägsta halt och högsta halt för zink (1000 resp 7000 mg/kg) och högsta halt för bly (300 mg/kg).

Figure 8. The concentration of zinc and lead in ashes and fuel during the period when the boiler was fired with logging residues after having been fired with waste wood. Symbols: ○ filter ash, ■ boiler ash, ● bottom ash and ◆ ashed fuel. The horizontal lines are the limit values for zinc (low at 1000 mg/kg and high at 7000 mg/kg) for lead (high at 300 mg/kg).

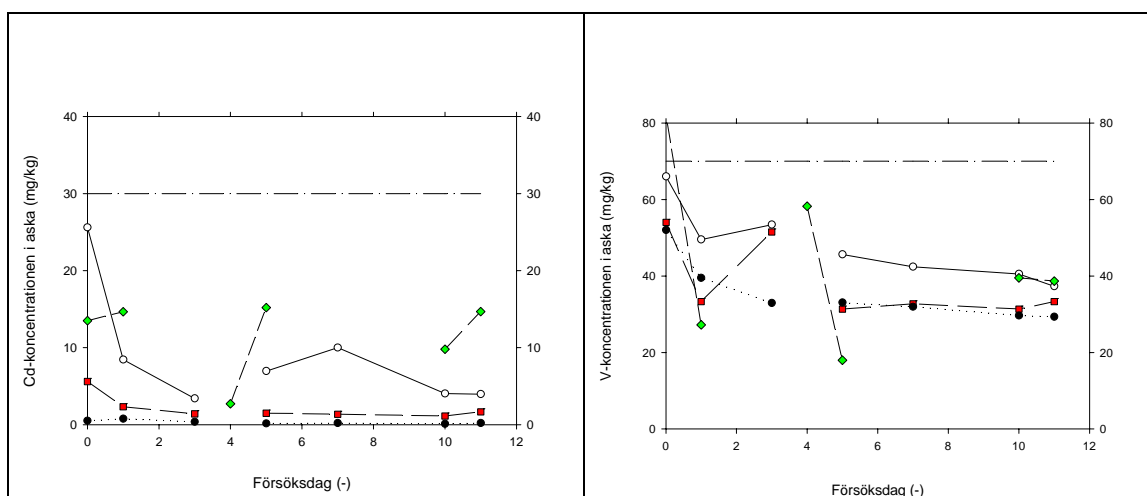
För de miljöstörande ämnena arsenik, krom, koppar, bly och zink träder följande mönster fram vid bytet från RT-flis till skogsflis: en snabb minskning av deras halt i askorna som är i stort sett klar efter tre dagar, som för titan, varefter en långdragen fortsatt minskning tar vid. Om halterna kommer under Skogsstyrelsens riktvärden varierar för de olika ämnena enligt följande:

- Zink är redan under övre riktvärdet (7000 mg/kg) efter någon dag med skogsflis och den tionde och den elfte dagen är zinkhalten i askorna på samma nivå som zinkhalten i bränsleaskan. Fluidiseringssanden bidrar inte i någon utsträckning.
- Samma mönster syns också i blys och koppars fall, fast halterna i askorna kommer under riktvärdet långt senare. Kopparhalten i bäddaskan är fortfarande över riktvärdet (400 mg/kg) efter elva dagar. Andra värden är marginellt under gränsen, trots att blyhalten i ingående bränsle och i fluidiseringssanden är mycket lägre.
- För arsenik kommer halterna i askorna över huvudtaget inte ner under riktvärdet (30 mg/kg) trots att arsenikhalten i bränslet är långt under det.
- För krom kommer inte heller halterna i askan ner under riktvärdet (100 mg/kg) men där finns orsaker. Kromhalten i skogsbränsleaskan är redan över riktvärdet och halten i fluidiseringssanden ligger på ca 50 mg/kg, d v s ganska högt.



Figur 9. Halterna av krom och av arsenik (OBS logaritmiska skalan för arsenik) i askor och bränsle under perioden då pannan eldades med skogsflis efter att ha eldats med RT-flis. Symboler: ○ filteraska, ■ ecoaska, ● bäddaska och ◆ bränsleaskan. De horisontella linjerna är riktvärden från Skogsstyrelsen om högsta halt för krom (100 mg/kg) och högsta halt för arsenik (30 mg/kg).

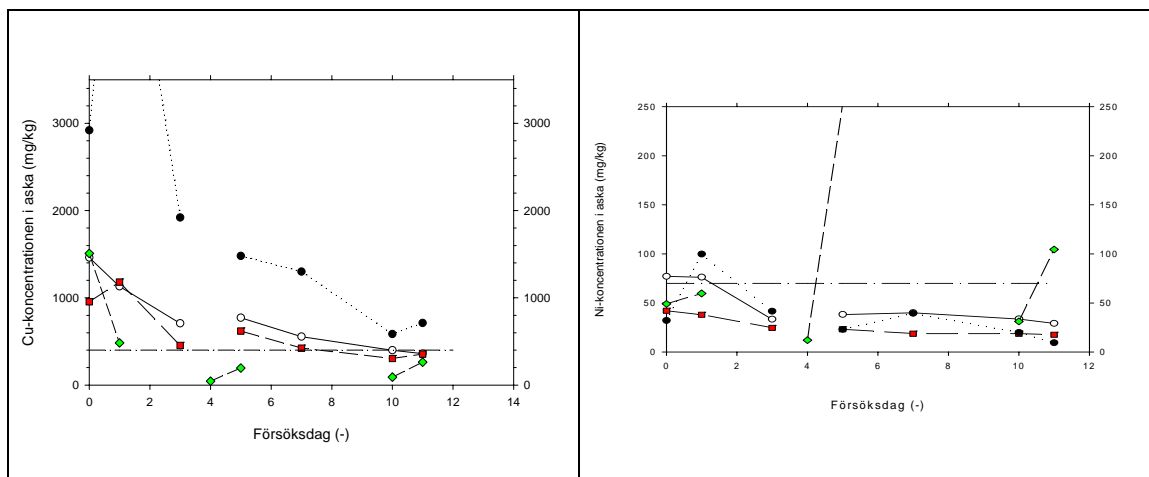
Figure 9. The concentration of chromium and arsenic (Note the logarithmic scale for arsenic) in ashes and fuel during the period when the boiler was fired with logging residues after having been fired with waste wood. Symbols: ○ filter ash, ■ boiler ash, ● bottom ash and ◆ ashed fuel. The horizontal lines are the limit values for chromium (100 mg/kg) and for arsenic (30 mg/kg).



Figur 10. Halterna av kadmium och av vanadin i askor och bränsle under perioden då pannan eldades med skogsflis efter att ha eldats med RT-flis. Symboler: ○ filteraska, ■ ecoaska, ● bäddaska och ◆ bränsleaskan. De horisontella linjerna är riktvärden från Skogsstyrelsen om högsta halt för kadmium (30 mg/kg) och högsta halt för vanadin (70 mg/kg).

Figure 10. The concentration of cadmium and vanadium in ashes and fuel during the period when the boiler was fired with logging residues after having been fired with waste wood. Symbols: ○ filter ash, ■ boiler ash, ● bottom ash and ◆ ashed fuel. The horizontal lines are the limit values for cadmium (30 mg/kg) and for vanadium (70 mg/kg).

Resultaten för de tre övriga tungmetaller (kadmium, nickel och vanadin) som följdes under försöket ger inte någon användbar information. En snabb minskning kan konstateras motsvarande den som diskuterades ovan, men med en betydligt mindre omfattning, och ett flackt förlopp därefter. Redan när pannan eldas med RT-flis ligger halterna under riktvärdena (30 mg/kg för kadmium, 70 mg/kg för nickel och vanadin). Halterna av dessa metaller är också mycket låga i fluidiseringssanden.



Figur 11. Halterna av koppar och av nickel i askor och bränsle under perioden då pannan eldades med skogsflis efter att ha eldats med RT-flis. Symboler: ○ filteraska, ■ ecoaska, ● bäddaska och ◆ bränsleaskan. De horisontella linjerna är riktvärden från Skogsstyrelsen om högsta halt för koppar (400 mg/kg) och högsta halt för nickel (70 mg/kg).

Figure 11. The concentration of copper and nickel in ashes and fuel during the period when the boiler was fired with logging residues after having been fired with waste wood. Symbols: ○ filter ash, ■ boiler ash, ● bottom ash and ◆ ashed fuel. The horizontal lines are the recommended limit values for copper (400 mg/kg) and for nickel (70 mg/kg).

6 Diskussion

6.1 Experimentella data

Innan de experimentella data som tagits fram inom uppdraget tolkas i syfte att bedöma askornas användbarhet bör deras värde granskas. Slutsatser kan påverkas av att proven inte är fullt representativa för materialet som undersöks eller av att ovanliga driftsförhållanden rått under försöken.

Vad angår representativiteten av proven så har detta inte undersökts för sig inom uppdraget. Normalt tas samlingsprover över en längre tidsperiod för att utjämna tillfälliga variationer. I detta uppdrag låg tyngdpunkten mer på de dynamiska förlopp som följer av bränslebyten. Proven är därför momentana prover, låt vara med provtagning två gånger per dygn, vilket bör innebära en större variation mellan proven. Denna är dock relativt liten, men ett spann från 1 till 2 för de flesta koncentrationerna av huvudämnen i askans sammansättning, såväl hos det inaskade bränslet som hos de askor som faller vid anläggningen (bäddaska, ecoaska och filteraska). Det är samma storlek på den variabilitet som iaktogs i bottenaskan från förbränningen av returträ i en rosterpanna i ett annat Värmeforskprojekt [8]. Koncentrationerna av spårämnen varierar inom bredare intervall, men det är också här som spikar kan uppträda. En första granskning av data avslöjar inte några uppenbart osannolika värden.

Representativiteten hos proven och resultaten kan också testas genom en jämförelse mellan data i denna undersökning och med historiska data från anläggningen. Inom uppsättningen av data stämmer resultaten för RT-flis 1 ganska väl med de för RT-flis 2, se Tabell 3 för bränslen, samt Tabell 6 och Tabell 9 för askorna. En jämförelse med de historiska data (9/1, 8/3 och 14/5) som finns för anläggningen ges i Tabell 13 för askorna. Anledningen till att medelvärdet av dessa historiska värden används i stället för att varje värde redovisas för sig är att den variation som kan iaktas är av samma storleksordning som den i denna undersökning (inom ett spann 1 till 2). Överensstämmelsen är ganska god, varför resultaten från försöken är representativa för den RT-flis som eldas i Nynäshamnsanläggningen. Den enda skillnaden är glödförlusten för filteraskan: ca 14 % vid 1000°C under försöken istället för ca 1 % vid 550°C i historiska värdena. Delvis beror skillnaden på glödningstemperatur, delvis på en sannolikt större halt oförbränt. Glödning förlusten för filteraskprovet från den 11/9 har inom ett annat Värmeforskprojekt [9] uppmäts till 6,6 % vid 550 °C.

Nästa fråga om representativitet för testresultaten är om resultaten för Nynäshamnsanläggningen återspeglar resultaten för andra anläggningar som förbränner returträ i en fluidbäddpanna. En fråga i detta sammanhang är om urvalet av en fraktion genom siktning skulle ha lett till avvikande egenskaper. Den uppsättning data som resultaten kan jämföras med är den för bäddaskor i det s k pansandsprojektet [7], se Tabell 16. Bränslena är dock mer varierade (rena trädbränslen, avfall, returträ m m). Här är också överensstämmelsen ganska god: egenskaperna hos de siktade fraktionerna ur Nynäshamnsaskorna avviker troligen inte från andra askor med liknande ursprung (bäddaskor, fluidbäddpanna).

Tabell 13. En jämförelse mellan Nynäshamnsaskornas sammansättning i denna studie (RT-flis 1 från Tabell 6) och ett medelvärde av historiska data (våren 2004).

Table 13. A comparison between the composition of Nynäshamns ashes in this investigation (waste wood 1 from Table 6) and an average of historical data (spring 2004).

Ämne		Bäddaska		Ecoaska		Filteraska	
		Våren -04 ²	Hösten -04 (detta projekt)	Våren -04	Hösten -04 (detta projekt)	Våren -04	Hösten -04 (detta projekt)
GF/550 ¹	% TS	0,1		0,2		1,8	
GF/1000 ¹	% TS		-0,1		1,1		14,4
SiO ₂	% TS	71,8	67,3	63,2	60,8	23,5	32,0
Al ₂ O ₃	% TS	11,7	13,3	11,0	11,8	6,7	8,5
CaO	% TS	4,6	4,8	7,1	9,0	29,0	23,8
Fe ₂ O ₃	% TS	2,9	3,4	4,2	4,0	3,9	3,5
K ₂ O	% TS	3,8	4,4	2,9	3,3	2,6	2,9
MgO	% TS	1,2	1,5	1,7	2,1	2,9	2,6
MnO	% TS	0,13	0,10	0,13	0,14	0,30	0,24
Na ₂ O	% TS	3,6	4,1	2,4	2,5	1,9	2,0
P ₂ O ₅	% TS	0,23	0,17	0,30	0,33	0,60	0,65
TiO ₂	% TS	0,42	0,48	2,1	2,4	3,8	2,8
As	mg/kg	178,5	155	843	201	2190	986
Cd	mg/kg	0,75	0,50	4,5	5,6	36,7	25,6
Cr	mg/kg	518	386	564	610	1990	1218
Cu	mg/kg	2390	2920	1033	955	2313	1460
Hg	mg/kg	<0,01	0,01	<0,01	0,02	3,1	4,0
Ni	mg/kg	46	32	110	42	104	77
Pb	mg/kg	533	685	713	858	2897	2810
Sb	mg/kg		46		44		138
V	mg/kg	40	52	44	54	61	66
Zn	mg/kg	2920	5740	7250	7830	18150	10340
S	mg/kg		286		7505		21750
Cl	% TS		<0,1		0,2		4,4

Fotnot till tabellen:

¹ Glödförlust vid 550°C respektive 1000°C

² Medelvärde för två dagar 2004: 8/3 och 14/5, övriga askor: dessa två dagar och 9/1

Effekten under försöksperioden i Nynäshamns kraftvärmeverk var ca 16 MW_{th}, vilket motsvarar ca 70 % av märkeffekten på 24 MW_{th}. Bortsett från panntrippet den 15/9 var driftförhållandena jämna utan störningar som skulle ha kunnat påverka resultaten för askorna, se Tabell 2.

6.2 Filteraskan

Den fråga som närmast motiverade denna studie var om askan från ett rent skogsbränsle kan spridas i skogsmark om man övergår från t ex RT-flis till skogsbränsle i en fluidbäddpanna. Eftersom askornas sammansättning beror på det ingående bränslets sammansättning är svaret a priori att det borde vara möjligt. Förbehållen för detta svar är vilka ”minneseffekter” som kan förekomma i en panna. Beläggningar i pannan, bäddmaterialet m m utgör en reservoar för potentiellt störande ämnen.

Innan värden för halter av grundämnen diskuteras mot bakgrund av riktvärden (eller gränsvärden) är det lämpligt att påminna om att samtliga mätvärden i denna undersökning är s k momentana värden. För en fullödig bedömning av användbarheten av askorna skall egentligen samlingsprov tas och ett årsmedelvärde bestämmas eller beräknas. Bedömningarna i denna rapport görs utgående från de värden som kom fram inom projektet och bör bekräftas i ett kvalitetssäkringsprogram.

Det första förbehållet till slutsatsen i inledningen av detta avsnitt, aska från skogsflis kan principiellt återföras, är att det endast är filteraskan som är aktuell. Halten av näringsämnen (kalcium, kalium, magnesium och fosfor) i denna aska är tillräckligt hög, medan den är definitivt för låg för såväl ecoaska som bäddaska. Filteraskan från såväl skogsbränslet som RT-flisen innehåller dock lite för låga halter av fosfor och magnesium. RT-flisen har även för låg halt av kalium.

Det förväntas inte att askorna från returträ skall kunna spridas i skogsmark, och resultaten från försöken visar att de inte heller kan det, Tabell 6 och Tabell 9. Halten av några spårämnen överskrider riktvärdena från Skogsstyrelsen med god marginal: arsenik, krom, bly, koppar.

Det andra förbehållet för utsagan att aska från skogsflis kan spridas i skog är att halten av miljöstörande ämnen i askan inte kan bli lägre än det viktade medelvärdet av halten i bränsleaskan (inaskade bränslet) och i sanden. Samtliga prov av ingående skogsflis hade redan en högre halt krom än Skogsstyrelsens riktvärde på 100 mg/kg. Sanden, liksom mineraljord, har också en jämförelsevis hög halt krom, ca 50 mg/kg, varför marginalerna för utspädning av bränslets kromhalt är ytterst små. I de få undersökningar som finns i litteraturen ligger ren stamved ungefär på samma nivå, något över 100 mg/kg, se [10] och andra arbeten citerade i [11], även om bark ligger lägre. På denna punkt kan inte frågan om möjligheten att återföra besvaras generellt med hjälp av de experimentella resultaten.

Vid en granskning av siffrorna för skogsflis i Tabell 7 framgår att för de flesta ämnen ligger filteraskan från skogsbränslet under det övre riktvärdet från Skogsstyrelsen, med ett par undantag (arsenik och krom). Halterna av bly och koppar ligger under riktvärdet, men marginellt. En hastig slutsats skulle då vara att askan är olämplig för spridning i skogsmark därför att provens värden är olämpliga. Emellertid stämmer inte de höga halterna i anläggningens askor med halterna av miljöstörande ämnen i bränsleaskan som är betydligt lägre och under riktvärden (med undantag för krom). Orsaken kan inte vara annat än den s k minneseffekten: det tar tid att rensa systemet från dessa ämnen vid ett byte av bränsle. Detta diskuteras senare, i avsnitt 6.4.

I princip kan en blandning av skogsbränsle och RT-flis fortfarande ge upphov till en aska som kan spridas i skogsmark. Det är dock svårt att sprida filteraskan efter blandbränslat i försöken: halten av miljöstörande ämnen i RT-flisen är för högt för att halten i en blandaska skall vara tillräckligt låg. Värdena för spårämnen i flygaskan från skogsflis har jämförts med flygaskan från RT-flis i Tabell 14 för att kunna bedöma hur mycket RT-flis som kan samförbrännas med skogsflis utan att Skogsstyrelsens riktvärden för flygaskan överskrids. Halterna av koppar och bly överskrider riktvärden redan vid ett par procent inblandning av RT-flis i bränsemixen. För övriga ämnen är det inte lika kritiskt, först vid över 60 % RT-flis överskrider zinkhalten i flygaskan. Resultaten från denna viktade beräkning stämmer väl överens med analysresultaten från flygaska som togs ut vid förbränning av 50 % skogsflis/50% RT-flis (se Tabell 8).

Tabell 14. Uppskattning av andelen RT-flis som kan samförbrännas med skogsflis i Nynäshamns panna utan att skogsstyrelsens riktvärden för flygaskan överskrids. (Analysresultat från detta projekt)

Table 14. Estimation of the percentage of waste wood that may be co-combusted in the Nynäshamn boiler without exceeding the recommended values from the National Board of Forestry (SKS). (Results from analyses from this project)

Ämne	Enhet	Flygaska RT-flis 10/9, 11/9 (medelvärde)	Flygaska Skogsflis 25/9, 26/9 (medelvärde)	SKS [1]	Andel RT-flis som kan samförbrännas med skogsflisen utan att SKS riktvärden överskrids
As	mg/kg	986	94	30	-
Cd	mg/kg	25,6	4	30	100 %
Cr	mg/kg	1218	208	100	-
Cu	mg/kg	1460	380	400	2 %
Hg	mg/kg	4	0,2	3	74 %
Ni	mg/kg	77	31	70	85 %
Pb	mg/kg	2810	288	300	0,5 %
V	mg/kg	66	39	70	100 %
Zn	mg/kg	10340	1465	7000	62 %

I jämförelsen ska dock beaktas att skogflisaskans värden för arsenik, krom, koppar och bly i Tabell 14 troligtvis är något höga p g a minnes effekter från RT-flisförbränningen (proverna togs efter 10-11 dagar med skogsfliseldning). I Tabell 15 har därför en alternativ jämförelse gjorts för dessa ämnen med antagna värden som flygaskan från skogsflis bör kunna innehålla i en ren biobränslepanna utan minnes effekter. Dessa värden har antagits utifrån tidigare analyser i biobränslepannor [6].

Tabell 15. Uppskattning av andelen RT-flis som kan samförbrännas med skogsflis i Nynäshamns panna utan att skogsstyrelsens riktvärden för flygaskan överskrids. (Värdena för skogsflisen härstammar från analyser i ett annat projekt)

Table 15. Estimation of the percentage of waste wood that may be co-combusted in the Nynäshamn boiler without exceeding the recommended values from the National Board of Forestry (SKS). (Values for the bio fuel are taken from analysis in another project)

Ämne	Enhet	Flygaska RT-flis 1 10/9, 11/9 (medelvärde)	Aska från trädbränslen enligt tidigare analyser [6]	SKS [1]	Andel RT-flis som kan samförbrännas med skogsflisen utan att SKS riktvärden överskrids
As	mg/kg	986	21	30	1 %
Cr	mg/kg	1218	69	100	2 %
Cu	mg/kg	1460	190	400	17 %
Pb	mg/kg	2810	175	300	5 %

Resultatet från beräkningarna i Tabell 15 visar på att även om minneseffekterna i pannan bortses ifrån är det troligtvis inte möjligt att samförbränna med särskilt mycket RT-flis utan att SKS riktvärden för flygaskan överskrids. Redan vid 5 % inblandning av RT-flis kan riktvärdena för As, Cr och Pb komma att överskridas.

Alltså, den aska från skogsflis som producerades under försöksperioden kan inte spridas förbehållslöst i skogsmark. Koncentrationerna av några spårämnen är för hög: arsenik och krom. Det går i och för sig att minska givan så att tillskottet av dessa ämnen inte överskrider Skogsstyrelsens värden, men minskningen är så pass stor att det begränsar filteraskans användbarhet.

För filteraskan skulle istället några av de andra användningsområdena i Tabell 1 kunna vara aktuella, t.ex. sluttäckning av deponier. Ett lokalt alternativ skulle även kunna vara utfyllnad av bergrum på Nynäs Refinings område.

Ecoaskan är en något grövre aska än filteraskan som kunde komplettera dennas kornstorleksfördelning, och därmed göra den lättare att packa, med högre hållfasthet som resultat.

6.3 Bäddaskan

Nästa fråga är bäddaskans användbarhet. Med tanke på att bäddaskan består till stor del av småsten borde den kunna användas som geotekniskt material. I detta projekt har dock endast en del av miljöegenskaperna (tvåstegslakning enligt EN 12475-3) undersökts för den mognade 2-5 mm fraktionen⁶ från bäddaskan, inte de geotekniska egenskaperna.

Observera att de gränsvärden som askorna jämfördes med i Tabell 10 och Tabell 11 är mottagningskriterier för avfall som deponeras enligt EU⁷. Dessa kriterier används som jämförelseobjekt därför att det f n inte finns några riktvärden för miljöegenskaper hos askor i geoteknisk användning, med vilka en jämförelse hade varit relevant.

I Tabell 16 jämförs den kemiska sammansättningen hos fraktionen 2-5 mm i Tabell 6 till Tabell 9 med sammansättningen hos proven bäddaska i det s k panssandsprojektet [7]. I Tabell 17 och Tabell 18 jämförs lakresultaten för bäddaskfraktionen 2-5 mm med lakresultaten för färsk respektive åldrad bäddaska/panssand i det tidigare projektet [7].

Om man bara ser till sammansättningen är bäddaskan från Nynäshamn ganska lik askorna i panssandsprojektet och ligger ofta nära lägre gränsen för panssandsintervallet. Nynäshamns askor har kanske lite högre halter av kalium och natrium. På spårämnenas sida är det arsenik, koppar, bly som ligger lite högt i någon Nynäshamnsaskas fall. Lakegenskaperna är också ganska lika. Möjligen lakas arsenik ut mer i Nynäshamnsaskornas fall, utom askan från ren skogsflis, än för proven i panssandsprojektet.

Om panssandsprojektets askor bedöms vara möjliga att använda ur en miljösynpunkt bör även Nynäshamns askor vara det.

Ur en geoteknisk synpunkt skiljer sig bäddaskorna i Nynäshamn något från bäddaskorna i det s k panssandsprojektet. Med ca 80 % av proven i intervallet 2-5 mm, 10 % i intervallet 5-8 mm och 10 % över 8 mm är Nynäshamnsaskan ”ensgraderat”, d v s den har en snäv kornstorleksfördelning. Bäddaskan är också betydligt grövre än de CFB-askor i panssandsprojektet och bör snarare betraktas som ett panngrus. Askorna i panssandsprojektet har en mycket bredare fördelning och bör därmed vara enklare att packa. Emellertid kan inte användbarheten avgöras endast utgående från kornstorleksfördelningen utan de relevanta testerna av funktionen måste göras.

Det är osäkert om en blandning av ecoaskan med bäddaskan kan kompensera för den snäva fördelningen av kornstorleken eftersom ecoaskan är finkornig. Blandningen skulle vara mer bimodal än välgraderad.

⁶ Den motsvarar 75 à 85 % av hela bäddaskan och innehåller allt sintrat bäddmaterial.

⁷ EU-direktivet innehåller gränsvärden för utlakning vid L/S=2 och L/S=10 från antingen satstest eller perkolationstest. Naturvårdsverkets föreskrifter utgår från perkolationstestet.

Den snäva kornstorleksfördelningen gör att bäddaskan däremot bör kunna användas som dräneringslager.

I det sammanhanget bör påpekas att andelen metalliska föremål i bäddaskan var ganska hög. Detta påverkar möjligheterna till användning: dels blir hanteringen besvärlig med spikar i ”gruset”, dels utgör dessa metaller en källa till metalljoner som lakas ut. Det bör övervägas om det finns metoder att minska deras andel.

Tabell 16. Jämförelse mellan den kemiska sammansättningen av fraktionen 2-5 mm av bäddaska i detta projekt och sammansättningen hos proven pannsand i ett tidigare Värmeforsksprojekt [7], uttryckt som max och min för respektive koncentration.

Table 16. Comparison between the chemical composition of the 2-5 mm fractions of the bottom ash in this project and the composition of the bottom ash samples in another project [7], expressed as minimum and maximum for each concentration

Ämne	Enhet	Bäddaska (2-5 mm) från detta projekt				Pannsand [7]	
		RT-flis 1 10/9, 11/9	Skogsflis 25/9, 26/9	Blandat 28/9, 29/9	RT-flis 2 5/10, 6/10	Lägsta värde	Högsta värde
GF/1000 ¹	% TS	-0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,8
SiO ₂	% TS	67,3	67,6	66,2	66,0	56,2	73,8
Al ₂ O ₃	% TS	13,3	13,6	13,0	12,8	5,0	12,0
CaO	% TS	4,8	4,3	5,2	4,6	4,8	13,4
Fe ₂ O ₃	% TS	3,4	2,5	2,9	2,6	1,8	12,6
K ₂ O	% TS	4,4	7,4	7,1	5,4	2,2	6,1
MgO	% TS	1,5	1,0	1,1	1,1	1,1	2,3
MnO	% TS	0,10	0,09	0,10	0,10	0,10	0,59
Na ₂ O	% TS	4,1	3,4	3,6	3,8	0,88	4,9
P ₂ O ₅	% TS	0,17	0,27	0,31	0,20	0,21	0,74
TiO ₂	% TS	0,48	0,27	0,33	0,37	0,12	0,89
As	mg/kg	155	52	73	105	13,4	134
Cd	mg/kg	0,50	0,2	0,21	2,2	0,14	8,1
Cr	mg/kg	386	152	196	360	34,1	2180
Cu	mg/kg	2920	648	1131	1655	20,9	7030
Hg	mg/kg	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,1	<0,1
Ni	mg/kg	32	14,6	40,0	17	9,0	128
Pb	mg/kg	685	284	292	735	9,8	1070
Sb	mg/kg	46	8,8	12,6	28	<0,5	393
V	mg/kg	52	29,4	28,0	30	19,5	55,9
Zn	mg/kg	5740	2095	2895	3095	284	15300
S	mg/kg	286	202	268	319	354	3630
Cl	% TS	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1		

Fotnot till Tabell 16:

¹ glödningsförlust vid 1000 °C

Tabell 17. Jämförelse mellan resultatet efter det första laksteget (L/S=2) för den åldrade fraktionen 2-5 mm av bäddaskan i detta projekt och resultaten för proven färsk resp åldrad pannsand i projekt [7], uttryckt som max och min för respektive storhet. Enheter: mg/kg aska.

Table 17. Comparison between the results in the first leaching stage (L/S=2) of the 2-5 mm fractions of the bottom ash and the results for the bottom ash samples, fresh and aged respectively in project [7], expressed as minimum and maximum for each variable. Unit: mg/kg ash.

Ämne	Bäddaska (2-5 mm) från detta projekt				Pannsand [7]			
	RT-flis 1	skogsflis	blandat	RT-flis 2	Färsk pannsand		Åldrad pannsand	
					min	max	min	max
pH	>10	>10	>10	>10	11,5	12,4		
Kond.	36,2	58	56,2	45,6	178	1024		
DOC	42,9	<12	<23	24,8			2,0	4,8
Cl	27,7	<15	27,2	26,5	7	322	8,6	660
F	<1	<1	<1	<1			2	2,2
SO ₄	75,3	99,6	153	109	2	1846	600	3200
As	4,94	0,10	0,63	2,96	<0,003	0,12	0,0056	0,34
Ba	2,91	0,68	0,80	1,10	0,60	5,3	0,12	0,32
Cd	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,0002	0,0006	<0,0001	0,00038
Cr	2,95	1,58	2,88	2,57	0,02	0,52	0,013	1,71
Cu	0,031	<0,01	<0,02	<0,02	<0,003	1,3	0,0023	0,006
Hg	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,0001	0,0003	<0,0004	0,00042
Mo	0,14	0,11	0,14	0,12	0,004	0,51	0,15	0,52
Ni	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,001	0,002	0,0012	0,0041
Pb	0,004	0,15	0,21	0,014	<0,0006	11,1	<0,0004	0,0075
Sb	0,26	0,057	0,20	0,26	0,0003	0,026	0,0058	0,79
Se	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,00012	0,132	0,00011	0,0063
Zn	0,039	<0,01	0,020	0,019	0,0008	0,45	<0,002	0,004

Tabell 18. Jämförelse mellan resultatet efter det andra laksteget ($L/S=10$) för den åldrade fraktionen 2-5 mm av bäddaska och resultaten för proven färsk resp åldrad pannsand i projekt [7], uttryckt som max och min för respektive storhet. Enheter: mg/kg aska.

Table 18. Comparison between the results in the second leaching stage ($L/S=10$) of the 2-5 mm fractions of the bottom ash and the results for the bottom ash samples, fresh and aged respectively in project [7], expressed as minimum and maximum for each variable. Unit: mg/kg ash.

Ämne	Bäddaska (2-5 mm) från detta projekt				Pannsand [7]			
	RT-flis 1	skogsflis	blandat	RT-flis 2	Färsk pannsand		Åldrad pannsand	
					min	max	min	max
pH	>10	>10	>10	>10	11,0	12,5		
Kond.	45,3	73,2	86,2	60,6	59	969		
DOC	22	4,6	16	9,2			6,4	16,4
Cl	18,8	7,4	18,8	19	29	356	53	730
F	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2			<10	<10
SO ₄	53,2	86	124	78,2	101	3394	926	6615
As	1,06	0,028	0,059	0,44	<0,02	1,83	0,02	1,7
Ba	0,5	0,083	0,13	0,20	2,7	12,3	0,47	1,4
Cd	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	<0,001	<0,002	<0,0005	0,0009
Cr	2,06	1,16	1,71	1,6	0,02	0,93	0,02	2,1
Cu	0,023	0,0072	0,012	0,012	0,014	1,15	<0,01	0,02
Hg	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	<0,001	0,003	<0,002	<0,002
Mo	0,102	0,086	0,095	0,087	0,08	0,77	0,18	0,73
Ni	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	<0,005	0,035	<0,0065	0,0086
Pb	< 0,003	< 0,003	0,0064	0,0039	<0,01	11,6	<0,002	0,030
Sb	0,073	0,016	0,060	0,073	<0,01	4,2	0,014	5,1
Se	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	0,001	0,42	0,001	0,013
Zn	0,031	0,0046	0,0062	0,0058	<0,03	3,95	<0,01	0,013

6.4 Omställningen från RT-flis till skogsflis

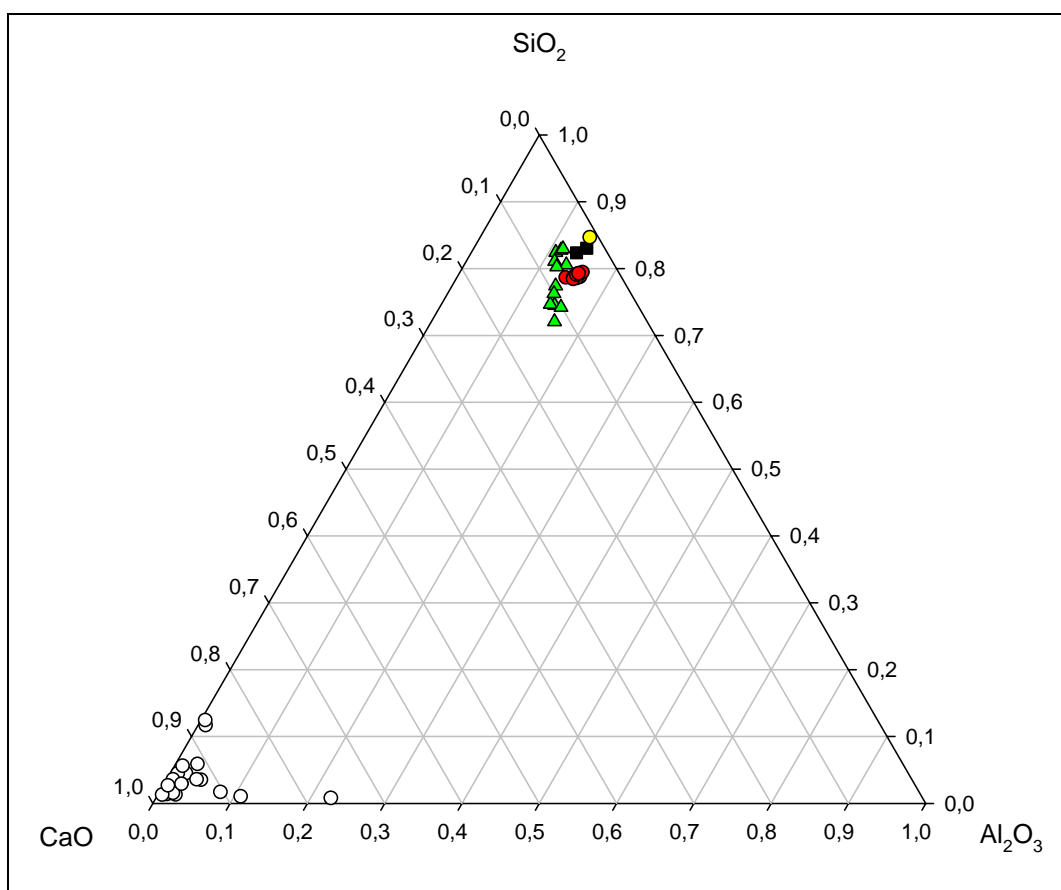
Genom att följa bränslets och askornas sammansättning under ett tiotal dagar har omställningen i askornas sammansättning kunnat registreras, från en sammansättning som motsvarar RT-flisaskor till en sammansättning som motsvarar skogsflisaskor. De grundämnen som ingick i analysprogrammet är de som oftast analyseras.

När ett förlopp som ändringarna i askornas sammansättning som följer av bytet från RT-flis till skogsflis studeras är det viktigt att utreda i vilken utsträckning de korta variationerna i bränslekvalitet skymmer denna stora ändring.

6.4.1 Snabba variationer

Man kunde förvänta sig att en variation i bränslets sammansättning (bränsleaska och sk föroreningsaska) snabbt ger motsvarande variation i något askflödes sammansättning eller i samtliga askors sammansättning. I verkligheten är pannan en väl omblandad reaktor med volym och uppehållstid för ämnen vilka tenderar att dämpa snabba variationer. Det är inte säkert att de förväntade effekterna av en variation med kort varaktighet kommer att synas. Närvaron eller frånvaron av koppling mellan bränsle och aska på sikt måste dock bekräftas innan effekter på längre tidsperspektiv kan diskuteras.

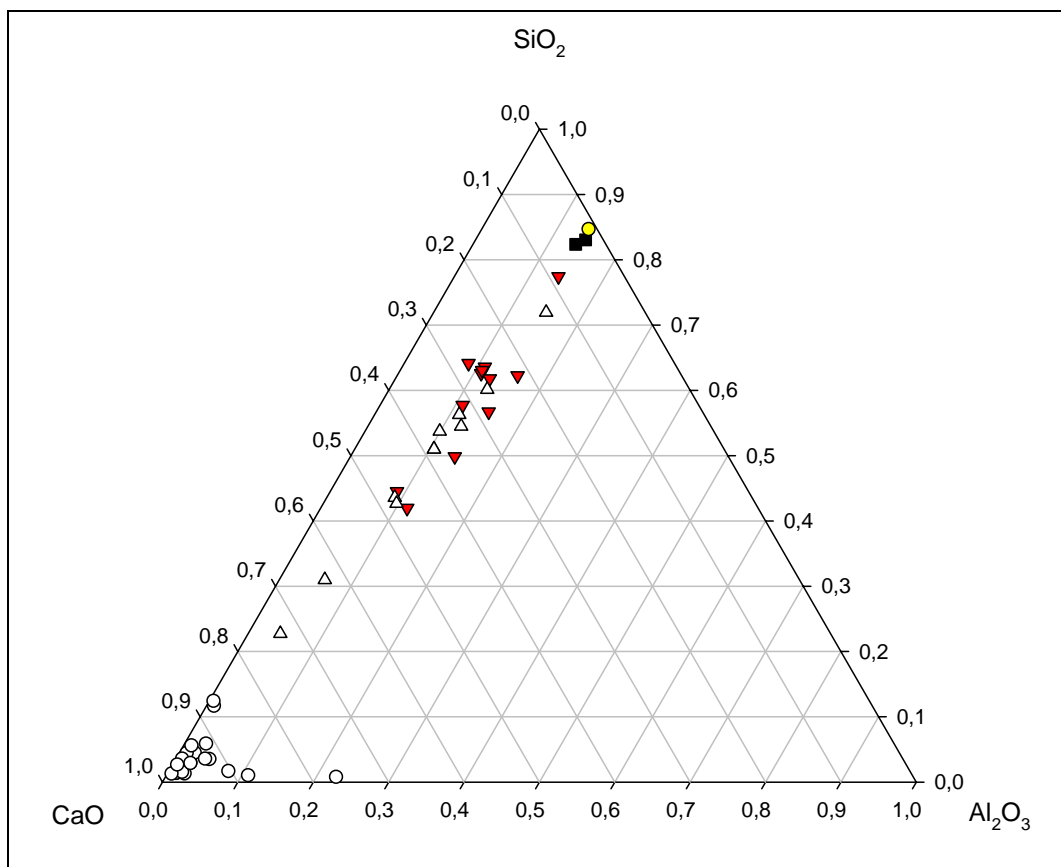
Inledningsvis kan konstateras att sammansättningen hos bäddaskan och hos ecoaskan är ganska stabil inte endast under omställningsperioden men över hela försöksperioden, se Figur 12. Ecoaskans sammansättning är något mer variabel än bäddaskans. Deras sammansättning motsvarar i stort sett den hos mineraljord. Fluidiseringsanden, Baskarp 95, har också i dessa försök mer karaktär av mineraljord än av kvartssand, med ca 76 % kiseldioxid och ca 13 % aluminiumoxid.



Figur 12. Sammansättningen hos aska och andra material i ett ternärt $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ diagram. Symboler: o ren träaska, ■ mineraljord (båda [11]), ● Baskarp 95 sand, ● bäddaska, ▲ ecoaska.

Figure 12. The composition of ash and other materials in a ternary $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ diagram. Symbols: o clean wood ash, ■ mineral earth (both [11]), ● Baskarp 95 sand, ● bottom ash, ▲ economizer or boiler ash.

Sammansättningen hos filteraskan är däremot betydligt mer variabel, liksom sammansättningen hos glödresten efter inaskning av bränslet. Anledningen till att askhalten i bränslet varierar är till stor del förekomsten av främmande ämnen. Mineraljord (grus och småsten) som plockats upp under hanteringen påverkar sammansättningen, se [11] och referenser i denna rapport.



Figur 13. Sammansättningen hos filteraska och andra material i ett ternärt $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ diagram. Symboler: o ren träaska, ■ mineraljord (båda [11]), ● Baskarp 95 sand, ▼ filteraska, Δ bränslet.

Figure 13. The composition of APC residue and other materials in a ternary $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ diagram. Symbols: o clean wood ash, ■ mineral earth (both [11]), ● Baskarp 95 sand, ▼ APC residue, Δ fuel.

Eftersom filteraskan är mer variabel kunde det vara så att den snabbare speglar ändringar i bränslet. I så fall skulle ändringar i bränslets sammansättning (bl a med avseende på den sk föroreningsaskan, framförallt mineraljord) synas även i filteraskan. Plottas andelen CaO i bränslet mot CaO-andelen i filteraskan samma dag syns inget samband: i det ternära diagrammet i Figur 13 är andelen kalciumoxid i filteraskan tämligen konstant vid 0,3. Man skall dessutom komma ihåg att filteraskan består till en betydande del av kalk som injicerats för avsvavling. Däremot följer halten SiO_2 i bränslet ganska väl askhalten, se Tabell 19.

Tabell 19. Samband mellan bränslets askhalt, halten kalciumoxid och halten kiseldioxid i bränsleaskan respektive filteraskan.

Table 19. The correlation between the ash content of the fuel (chipped logging residues), the concentrations of calcium oxide and silicon dioxide in the fuel ash and the filter ash (APC residue).

Dag	0	1	3-4*	5	10	11
Bränsle	RT-flis	skogsflis	skogsflis	skogsflis	skogsflis	skogsflis
Askhalt i bränslet (%)	3,6	1,4	8,8	1,1	3,3	2,1
CaO i bränsleaskan (%)	22	41	11	45	28	34
SiO ₂ i bränsleaskan (%)	39	20	59	14	41	31
CaO i filteraskan (%)	24	16	7	20	20	20
SiO ₂ i filteraskan (%)	32	46	64	48	49	49

*askproverna togs dag 3 och bränsleproverna dag 4.

Mot bakgrund av systemets svarstider (volym och uppehållstid) och med den provtagning som använts går det inte att se någon effekt av korta variationer i bränslets sammansättning för huvudämnena. En ytterligare bekräftelse finns i Figur 7: kaliumhalten i bränslet varierar mycket kraftigare än kaliumhalten i askorna.

6.4.2 Stegändringen från RT-flis till skogsflis

I resultaten i avsnitt 5.4 syns inte bytet från RT-flis till skogsflis leda till några stora ändringar i askornas sammansättning av huvudämnen, kanske beroende på att dessa två bränslen ändå är rätt lika. Det konstaterades ovan att bäddaskans sammansättning och ecoaskans sammansättning är stabila. Filteraskans sammansättning är mer variabel, men effekter av snabba variationer syns inte. Konsekvenserna av ett bränslebyte för koncentrationerna av huvudämnen är nog en viss minskning av järnkoncentrationen i askorna, Figur 6, och en kontinuerlig ökning av kaliumhalten från ca 4 % oxid i början av omställningsperioden till ca 6 % (bädd- och ecoaska) eller ca 8 % (filteraska) på oxidbasis, Figur 7. Eftersom förloppet följts under endast ett tiotal dagar kan inte något asymptotiskt slutvärde identifieras.

De stora skillnaderna mellan RT-flis och skogsflis återspeglas av koncentrationerna av spårämnen. För denna diskussion räknas titan in bland spårämnen trots att den traditionellt redovisas tillsammans med huvudämnena.

Även för spårämnen är ändringarna vid bränslebytet relativt långsamma, utan spikar som kunde orsakas av snabba variationer i ingående bränsle. Tittar man på Figur 6 för titan, Figur 8 för zink och bly, Figur 9 för krom och arsenik, Figur 10 för kadmium och vanadin synes den första reaktionen på ett byte av bränsle vara snabb och är över efter en till tre dagar. Därefter vidtar en långsam anpassning av koncentrationen ner mot ett

slutvärde som borde motsvara bränsleaskans koncentration av spårämnet. De sju dygn som pannstillverkaren anger om omställningstid än nog en god approximation men i detta fall inte tillräckliga för att helt nå till ett slutvärde. Betydligt längre försökstider skulle behövts. Variationen av halten i bränsleproven stör bestämningen av det slutvärde som halterna i askorna borde ha.

Koncentrationen av arsenik har plottats i en logaritmisk skala i Figur 9 därför att i en linjär skala skulle det höga ingångsvärdet på 986 mg/kg i filteraskan (Tabell 6) komprimerat de låga värdena efter några dagar till oläsbarhet i nedre delen av diagrammet. I en logaritmisk skala är förloppet nära linjärt vilket tyder på att en exponentiell avklingningsfunktion kunde vara en god approximation. Plottar man om övriga diagram i Figur 6, Figur 8, Figur 9 och Figur 10 till en logaritmisk skala får de samma linjära utseende efter en kort inledning.

Om det snabba initiala svaret på ändringen i koncentration av spårämnen motsvarar pannans aktiva delar, så kan den långsamma avklingningen som följer bero på att bädden släpper långsamt sitt innehåll av dessa spårämnen. Om så är fallet borde en avklingningstid kunna beräknas ur omsättningen av sand⁸.

Enligt uppgift från anläggningen har 330 ton sand förbrukats av Nynäshamnsverket under perioden 2003-12-16 till 2004-05-31, och på helårsbasis 756 ton sand. Det innebär en sandförbrukning på ca 2 t/d⁹. Bäddens volym upp till fribordet är 31 m³ vilket innebär att bädden innehåller ca 46 ton sand. Med en omsättning på ca 2 t/d ger detta en tidskonstant på ca 0,06 d⁻¹.

Avklingningen av halten arsenik i bäddaskan i Figur 9 har också en tidskonstant på ca 0,1 d⁻¹ (d v s en något snabbare avklingning) Det gäller även för ecoaskan och filteraskan. Även om de inte är lika är dessa två tidskonstanter i samma storleksordning.

Bädden utgör en reservoar för alla spårämnen [12] och påverkar sammansättningen hos askan långt efter att man bytt bränsle. Den radikala lösningen för att askan från skogsbränsle skall vara ”ren” en kort tid efter bytet är att byta ut även bädden. Det är en kostnad som man vill helst undvika, inte bara därför att sand kostar, men för att det innebär ett driftsstopp. Ett alternativ kunde vara att förnya bädden lite fortare än vanligt för att förkorta omställningstiden, t ex låta bli att recirkulera bäddaskan under denna period. Kostnaden för sanden är densamma, men man kan undvika kostnaderna för driftstoppet och bytet av bädd.

Det är frestande att räkna ut tidskonstanter för omställningen av halten av de andra metallerna i askorna och jämföra dem. För att komma längre än den empiriska kunskap detta skulle ge för just detta fall krävs dock en bättre uppfattning om när en ny jämvikt ställt sig in mellan inflöde av spårämnen med bränslet, ackumulering i eller utsläpp från bädden, samt utflöde genom askorna. Det vore också önskvärt att mäta materialflöden

⁸ Pannans väggar eller andra delar kan också utgöra en reservoar för spårämnen, men med hänsyn till massan och ytan hos sandbädden bör denna vara den största reservoaren.

⁹ Ursprungligen omsattes sanden snabbare: man har infört en recirkulering av bäddaskan efter att ha sållat ifrån fraktionen över 2 mm för att spara sand och därmed reducera kostnaderna.

för att kunna upprätta en balans. Metodfrågor om balanser för spårämnen diskuteras i en rapport av Tolvanen [13]. För att kunna beskriva en omställning krävs också en bättre kunskap om de naturliga variationerna i bränslet och askorna.

För en mer detaljerad kunskap behövs undersökningar av ackumuleringen i bädden, se t ex studien av risken för bäddagglomering [14], och av mekanismerna för spårämnenas fastläggning i bäddmaterialet.

6.5 Ecoaskan

Ecoaskan har inte studerats i detalj i denna undersökning. Det är en mindre ström som dessutom matas ut antingen med bäddaskan eller med filteraskan.

När anläggningen togs i drift matades ecoaskan ut med bäddaskan och bidrog med en finfraktion till kornstorleksfördelning. Det gav upphov till en bimodal fördelning som inte är så lätt att nyttiggöra. Containern med bäddaska och ecoaska måste hämtas i stort sett varje dag eller varannan dag, även under helger.

Efter försöken byggdes anläggningen om för att mata ut ecoaskan med filteraskan. Därigenom har man uppnått följande fördel: containern med bäddaska behöver inte hämtas så ofta och framför allt inte under helgdagar. Att blanda ecoaskan med filteraskan påverkar inte hämtningsrutinerna för denna. Samtidigt får man en komplettering av filteraskans kornstorleksfördelning med en något grövre fraktion, vilken bör ge ett material som är lättare att packa.

7 Sammanfattning och slutsatser

Används skogsbränslen förväntas det att askan återförs för kompensationsgödsling av skogsmark. Kraven är här en lägsta halt av minerogena näringsämnen och en högsta halt av miljöstörande ämnen såsom tungmetaller.

Emellertid blandas oftast bränslen, oftast av ekonomiska skäl, ofta efter tillgänglighet eller för att anpassa fukthalten i det bränsle som förs in i pannan. Det kan vara så i vissa lägen att returträ, ett a priori förorenat bränsle vars aska inte skall spridas i skog, blandas med ett rent träbränsle vars aska bör spridas i skogen. Alternativt kan en anläggning tänkas kampanjelda dessa olika bränslen.

Frågan är hur det påverkar möjligheterna att sprida askan i skogsmark:

- o om man sameldar skogsbränsle och returträ. Finns det något lämpligt mellanläge i blandningen där aska fortfarande går att använda till kompensationsgödsling?
- o om man kampanjeldar skogsbränsle och returträ. Finns det några hinder för spridning av skogsbränsleperiodens aska?

Försök har genomförts i en BFB-panna i Fortum Värme Nynäshamns anläggning med såväl kampanjeldning och blandeldning. I dessa har vi utgått från det ordinarie bränslet, d v s RT-flis, bytt till skogsflis, bytt sedan till en blandning som är så nära hälften RT-flis, hälften skogsflis som det går att åstadkomma i en anläggning och till sist bytt tillbaka till RT-flis. Såväl bränsleprov som askprov har tagits under försökstiden och analyserats på sammansättningen av askbildande ämnen.

Slutsatserna som dras från en granskning av resultaten är följande för *filteraskan*:

- o Den enda askan som är aktuell för återföring (eller spridning till skogsmark) är filteraskan då den har tillräckligt eller nästan tillräckligt hög halt av näringsämnen som kalcium, magnesium, kalium och fosfor. Det har varken bäddaskan eller ecoaskan som har en sammansättning som liknar mineraljords.
- o Den filteraska som producerades ur skogsflis under försöken är inte återförbar: halterna av miljöstörande ämnen (arsenik och krom) är för höga. Till viss del beror det på att det använda skogsbränslet i sig redan har för höga halter av dessa ämnen, särskilt krom. Det kan vara en tillfällighet. Huvudorsaken är dock att omställningen från RT-flis till skogsbränsle inte slagit fullt ut på askornas sammansättning även vid försöksperiodens slut.

Medan möjligheten att sprida filteraskan i skogsmark avgörs av den kemiska sammansättningen (om man antar att den kan stabiliseras) beror möjligheten att använda *bäddaskan* till en geoteknisk konstruktion på dess egenskaper. Resultaten från lakttesterna visar att Nynäshamns bäddaska, från förbränning av såväl RT-flis som skogsflis, är lik de panssander som studerades i det s k panssandsprojektet [7] och bör ha samma goda miljötekniska förutsättningar. Förbehållet är att de riktvärden eller gränsvärden som vi kan jämföra med gäller för deponering av avfall och är inte riktigt relevanta. Eftersom de geotekniska egenskaperna inte undersökts kan vi inte säga något med säkerhet om den tekniska användbarheten. Man kan dock notera att den studerade

bäddaskan från Nynäshamn har en snävare kornstorleksfördelning än panssanderna i panssandsprojektet och borde därmed vara svårare att packa. Detta kan ha betydelse för möjligheten att använda askan i t.ex. vägar eller som fyllnadsmaterial. Svårigheten att packa bäddaskan gör den däremot lämplig som dräneringslager. Det vore önskvärt att metallföremålen avlägsnades i högre grad.

Ecoaskan har inte studerats i detalj. När anläggningen i Nynäshamn togs i drift matades den ut tillsammans med bäddaskan. Efter försöken byggdes utmatningen om och den matas nu ut med filteraskan. *Ecoaskan* är något grövre än flygaskan och bör kunna komplettera den senares kornstorleksfördelning.

För sameldningen kan följande konstateras: innehållet av miljöstörande ämnen i RT-flis är så pass stort att det i praktiken inte går att samelda med skogsflis och bibehålla en kvalitet som duger till återföring.

För kampanjeldning är slutsatsen att de 11 dagar som anslagits åt försöket inte räckte för en fullständig omställning av askornas kvalitet från RT-flisaska till skogsflisaska:

- o RT-flis och skogsflis är för lika som bränslen för att någon slutsats kan dras om askans omställning från det första bränslet till det andra utgående från makronäringsämnen.
- o De snabba variationerna i bränslets askhalt och bränsleaskans sammansättning dämpas i ett fluidbäddsystem och askornas sammansättning är relativt stabil.
- o Halterna av de miljöstörande spårämnena i askorna klingar av långsamt.
- o Avgörande för omställningen av koncentrationen av spårämnena i alla askor är troligen omsättningen av sand. En hög omsättning av bäddmaterial kan innebära en snabb omställning. En låg omsättning av bäddmaterial, som i Nynäshamnsanläggningens fall (2 t/d), kan innebära en långsam omställning.

8 Rekommendationer och användning

Utifrån resultaten i detta projekt kan följande rekommendationer ges för användningen av askorna från Nynäshamns kraftvärmeverk:

Flygaskan

- o Flygaskan från skogsfliseldning bör kunna innehålla en kvalitet som gör det möjligt att återföra den till skogsmark med nuvarande omsättning av bäddmaterialet. Detta förutsätter emellertid att man eldat skogsflis en längre tid efter RT-flisförbränning. Exakt hur lång tid skogsfliseldningen måste pågå innan flygaskkvaliteten blir tillräckligt god är inte fastställt eftersom försöksperioden med skogsflis inom detta projekt avslutades efter elva dagar.
- o Vid samförbränning av 50 % returträ och 50 % skogsflis är det inte möjligt att erhålla en flygaska med en sammansättning som gör det möjligt att sprida den till skogsmark. Det returträ som används vid Nynäshamns kraftvärmeverk har betydligt högre halter av miljöstörande ämnen än vad Skogsstyrelsens riktvärden tillåter. Redan vid en relativt liten inblandning av RT-flis överskrids troligtvis Skogsstyrelsens riktvärden. De kritiska ämnena är framförallt arsenik, krom, koppar och bly.
- o Alternativa användningsområden för flygaskan skulle t.ex. kunna vara sluttäckning av deponier eller utfyllnad av bergrum.

Bäddaskan

- o Bäddaskan har vid eldning av såväl skogsflis som RT-flis, goda förutsättningar ur miljösynpunkt för användning till t.ex. vägbyggnad, fyllmaterial etc. Det återstår emellertid att klargöra de geotekniska förutsättningarna för detta. Med den aktuella kornstorleksfördelningen är den lämplig som dräneringslager.
- o Närvaron av metalliska föremål som spikar och skruvar minskar dess värde som geotekniskt material. Dessa bör avlägsnas i högre grad än vad som görs idag.

9 Förslag till fortsatt forskningsarbete

Närvaron av metalliska föremål är ett problem inte endast för bäddaskan från Nynäshamn utan även för andra askor. Det vore värdefullt att undersöka vilka möjligheter som finns att rensa bort flera metallföremål från askorna.

Eftersom bäddaskan tycks ha goda miljömässiga förutsättningar för att kunna utnyttjas till t.ex. vägbyggnad, fyllmaterial etc. bör man gå vidare och undersöka de geotekniska förutsättningarna. Dock bör användningen som dräneringslager prioriteras framför rena vägkonstruktioner.

Denna undersökning har visat på betydelsen av förloppen under omställningen från ett bränsle till ett annat för halterna av spårämnen i askströmmarna, däribland miljöstörande tungmetaller. Processen är tämligen långsam – den var inte slut efter 11 dagar i försöken. Om en snabbare omställning utan avbrott för bäddbyte önskas borde man undersöka möjligheterna att tillåta en snabbare förnyelse av bädden med ett större uttag av bäddaska under omställningen och vilken effekt detta har på omställningstiden.

En mer grundläggande undersökning av hur de olika spårämnena fastläggs i bäddmaterialet ger däremot en grundläggande förståelse för hur askans sammansättning beror på bränslets innehåll av askbildande ämnen. I det sammanhanget är det önskvärt att variationerna i bränslet och i askan är bättre kända: det underlättar tolkningen.

10 Litteraturreferenser

- [1] Berg M., Andersson C., Ekvall A., Eskilsson D., de Geyter S., Helgesson A., Myringer Å., Wikman K., Öhman M., "Förbränning av utsorterade avfallsfraktioner", Värmeforsk, Stockholm mars 2005, rapport nr 917
- [2] Skogsstyrelsen; "Rekommendationer vid uttag av skogsbränsle och kompensationsgödsling", Skogsstyrelsen, Jönköping 2001, Meddelande 2001:2
- [3] 2003/33/EG, Rådets beslut av den 19 december 2002 om kriterier och förfaranden för mottagning av avfall vid deponier
- [4] NFS 2004:10, Naturvårdsverkets föreskrifter om deponering, kriterier och förfaranden för mottagning av avfall vid deponering av avfall
- [5] SS-EN 12457-3; "Karaktärisering av avfall – Laktest – Kontrolltest för utlakning från granulära material och slam – Del 3: tvåstegs skaktest vid L/S 2 l/kg och L/S 8 l/kg för material med hög fastfashalt och med partikelstorlek mindre än 4 mm (utan eller med nedkrossning)", SIS, Stockholm februari 2003
- [6] Bjurström H, Steenari B-M., "Våt rening av askor – metodöversikt", Värmeforsk, Stockholm oktober 2003, rapport nr 829
- [7] Pettersson R, Rogbeck J och Suér P; "Pannsand som kringfyllnadsmaterial för fjärrvärmerörgravar", Värmeforsk, Stockholm januari 2004, rapport nr 852
- [8] Bjurström H, Berg M, Arm M, Suér P och Håkansson K; "En förenklad testmetodik för kvalitetssäkring – Etapp 1", Värmeforsk, Stockholm januari 2004, rapport nr 856
- [9] "Vad är oförbränt", pågående Värmeforskprojekt, projektnr Q4-260
- [10] Isberg S; "Elementkoncentration i gran utmed en markfuktighetsgradient", Sveriges Lantbruksuniversitet, Inst f skoglig marklära, Uppsala 2002, examensarbete nr 2-2002
- [11] Bjurström H; "De minerogena näringsämnenas flöden genom pannorna", Energimyndigheten, Eskilstuna 2005, rapport TB-05/2
- [12] Kouvo P; "Formation and control of trace metal emissions in co-firing of biomass, peat and wastes in fluidized bed combustors", doktorsavhandling vid Lappeenranta University of Technology, Villmanstrand 2003, Acta Univ. Lappeenrantaensis nr 148 (2003)
- [13] Tolvanen M; "Mass balance determination for trace elements at coal-, peat- and bark-fired power plants", VTT, Esbo 2004, VTT publication nr 524
- [14] Öhman M, Nordin A, Brus E, Skrifvars B-J och Backman R; "Förbrukning av bäddmaterial i biobränsleeldade fluidbäddar p g a bäddagglomereringsrisk – beläggingsbildning och möjligheter till regenerering", Värmeforsk, Stockholm juni 2001, rapport nr 739

Bilagor

A PRIMÄRDATA

A Primärdata

I denna bilaga har samlats alla primärdata från analyser av bränslen, askor och fluidiseringsand samt resultaten från lakttesterna enligt EN 12457-3 för fyra bäddasksprover.

Tabell 20. Primärdata för bränsleanalyserna i undersökningen, huvudämnen

Table 20. Primary data in the analyses of fuels in this investigation, main elements

Ämne	Enhet	10 sep	11 sep	16 sep	19 sep	20 sep	25 sep	26 sep	28 sep	29 sep	05 okt	06 okt
		RT 1	RT 1	skogs	skogs	skogs	skogs	skogs	Skog+RT	Skog+RT	RT 2	RT 2
TS	%	79,9	77	54,2	61,6	57,4	62,5	67,2				
Aska	% TS	3,6	3,5	1,4	8,8	1,1	3,3	2,1	3,3	3,8	4,7	3,8
SiO ₂	% TS	1,34	1,17	0,262	4,24	0,115	1,18	0,517	0,799	1,17	2,27	1,24
Al ₂ O ₃	% TS	0,29	0,233	0,0511	0,881	0,0216	0,218	0,107	0,182	0,241	0,486	0,282
CaO	% TS	0,598	0,675	0,532	0,773	0,369	0,798	0,562	0,891	0,882	0,478	0,753
Fe ₂ O ₃	% TS	0,15	0,149	0,0232	0,268	0,0127	0,064	0,0419	0,0955	0,124	0,115	0,158
K ₂ O	% TS	0,144	0,175	0,192	0,424	0,168	0,276	0,211	0,25	0,24	0,226	0,166
MgO	% TS	0,119	0,117	0,063	0,143	0,0487	0,09	0,0706	0,108	0,103	0,0783	0,126
MnO	% TS	0,014	0,016	0,0144	0,0131	0,0063	0,0224	0,0133	0,0218	0,0196	0,0097	0,0181
Na ₂ O	% TS	0,104	0,098	0,015	0,199	0,0094	0,0435	0,024	0,0558	0,0778	0,142	0,107
P ₂ O ₅	% TS	0,0311	0,0389	0,0633	0,0786	0,0328	0,0835	0,0589	0,0758	0,0647	0,0193	0,0355
TiO ₂	% TS	0,128	0,143	0,0031	0,0273	0,0014	0,0066	0,0097	0,0612	0,0734	0,117	0,123
S	mg/kg	775	762	199	224	64,3	289	208	634	554	931	1040
Cl	% TS	0,22	0,04	0,02	0,01	0,03	0,01	0,01	0,05	0,06	0,11	0,04

Tabell 19, forts.

Primärdata för bränsleanalyserna i undersökningen, fortsättning, spårämnen

Tabel 19, contd

Primary data in the analyses of fuels in this investigation, continued, trace elements

Ämne	Enhet	10 sep	11 sep	16 sep	19 sep	20 sep	25 sep	26 sep	28 sep	29 sep	05 okt	06 okt
		RT 1	RT 1	skogs	skogs	skogs	skogs	skogs	Skog+RT	Skog+RT	RT 2	RT 2
As	mg/kg	16,2	11,1	5,43	0,373	<0.1	<0.1	0,336	31	18,5	3,85	7,81
Ba	mg/kg	177	117	27,5	68,2	16,4	51,2	29,8	140	111	86,9	141
Be	mg/kg	0,0782	0,0462	<0.009	0,128	<0.006	0,0288	0,018	0,0308	0,0427	0,129	0,0596
Cd	mg/kg	0,314	0,528	0,188	0,192	0,125	0,28	0,246	0,345	0,255	0,174	2,45
Co	mg/kg	2,14	0,671	0,158	0,29	0,0811	0,195	0,205	1,26	0,792	0,55	1,4
Cr	mg/kg	38,9	59,8	5,31	11	1,41	3,28	8,4	25,1	19,4	30	67,5
Cu	mg/kg	60,9	35,3	6,2	3,14	1,61	2,6	4,39	41,3	28,1	12,3	46,7
Hg	mg/kg	0,0224	0,0539	<0.02	0,0266	<0.02	0,0222	<0.02	0,0606	0,0449	0,0373	0,0389
La	mg/kg	0,24	0,553	0,133	1,99	0,359	0,703	0,205	0,319	0,398	<0.3	0,382
Mo	mg/kg	0,26	0,271	0,158	<0.5	0,0914	<0.2	0,194	0,268	0,461	<0.3	0,4
Nb	mg/kg	0,815	0,706	<0.09	<0.5	<0.07	<0.2	<0.1	<0.2	0,253	0,648	0,714
Ni	mg/kg	1,58	1,51	0,765	0,861	2,07	0,892	1,75	1,61	2,07	1,7	2,41
Pb	mg/kg	14,1	27,4	0,721	1,62	0,272	1,15	0,972	76	11,2	5,96	43,2
Sb	mg/kg	0,667	0,341	0,119	0,0478	0,0287	0,0314	0,0483	0,564	0,414	0,204	0,627
Sc	mg/kg	0,268	0,238	0,0386	0,58	0,0189	0,128	0,0785	0,119	0,135	0,17	0,226
Sn	mg/kg	<0.9	<0.8	<0.3	2,45	<0.3	1,14	<0.5	<0.8	<0.9	<1	1
Sr	mg/kg	17,7	17,5	15,5	29,9	13	20,9	16,6	22,8	21,5	14,7	21,1
V	mg/kg	3,06	2,15	0,349	4,14	0,148	1,13	0,648	1,5	1,59	2,09	9,5
W	mg/kg	4,59	<2	<0.9	<5	<0.7	<2	<1	<2	<2	<3	3,86
Y	mg/kg	0,743	0,843	0,147	1,26	0,142	0,402	0,248	0,456	0,489	0,809	0,762
Zn	mg/kg	274	508	26,8	38,1	15,7	53,5	39,4	165	143	94,6	3300
Zr	mg/kg	8,31	4,92	1,17	9,79	0,387	2,72	1,57	2,78	4,01	5,75	5,41

Tabell 21. Primärdata för filteraskorna, huvudämnen

Table 21. Primary data for the air pollution control residues, main elements

Ämne	Enhet	10sep	11 sep	16 sep	18 sep	20 sep	22 sep	25 sep	26 sep	28 sep	29 sep	05 okt	06 okt
		RT 1	RT 1	skogs	skogs	skogs	skogs	skogs	skogs	Skog+RT	Skog+RT	RT 2	RT 2
TS	%	99,7	99,5	99,9	100	100,2	100,3	100,2	100,2	100,2	100	100	100,2
LOI	% TS	14,2	14,6	9,6	3,6	7,8	12,9	9,1	7,9	10,6	11,1	12,2	8,0
SiO ₂	% TS	38,4	25,5	45,5	63,8	47,9	31,2	49,2	48,7	40	42,1	35	37,4
Al ₂ O ₃	% TS	10,1	6,98	11,7	11,4	8,41	6,22	8,51	8,42	7,6	8,53	8,67	10,4
CaO	% TS	19,2	28,3	15,9	7,21	20,2	32,7	19,7	20,1	21,7	17,5	27,7	27,2
Fe ₂ O ₃	% TS	3,79	3,24	3,92	4,08	3,06	2,61	2,81	2,58	3	3,5	3,4	3,31
K ₂ O	% TS	2,83	3,03	2,87	4,22	3,91	4,67	4,44	4,63	5,44	5,09	3,16	2,86
MgO	% TS	2,48	2,68	1,96	1,68	2,06	2,67	1,81	1,86	2,62	2,48	2,08	2,18
MnO	% TS	0,189	0,3	0,147	0,134	0,223	0,288	0,152	0,208	0,395	0,376	0,212	0,143
Na ₂ O	% TS	2,01	1,93	2,18	2,44	1,97	1,55	2,02	2,02	1,91	2,02	1,79	1,78
P ₂ O ₅	% TS	0,478	0,817	0,353	0,649	1,11	1,91	0,872	1,21	2,03	1,68	0,635	0,396
TiO ₂	% TS	2,84	2,82	2,05	0,631	0,581	0,457	0,38	0,363	0,79	1,23	1,75	2,12
S	mg/kg	14300	29200	9760	3170	8220	11200	4240	5230	12700	13800	14700	13100
Cl	% TS	3,4	5,3	e.a.	e.a.	e.a.	e.a.	0,4	0,4	1,1	1,5	1,7	1,2

e.a. = ej analyserat

Tabell 20, forts.

Primärdata för filteraskorna, fortsättning, spårämnen

Tabel 20, contd

Primary data for the air pollution control residues, continued, trace elements

Ämne	Enhet	10sep	11 sep	16 sep	18 sep	20 sep	22 sep	25 sep	26 sep	28 sep	29 sep	05 okt	06 okt
		RT 1	RT 1	skogs	skogs	skogs	skogs	skogs	skogs	Skog+RT	Skog+RT	RT 2	RT 2
As	mg/kg	622	1350	337	148	262	218	98	89,5	178	294	335	176
Ba	mg/kg	3900	3840	3110	1170	1180	1080	858	900	1600	2090	2300	2640
Be	mg/kg	2,44	1,55	1,97	1,82	1,43	1,04	1,52	1,48	1,44	1,73	1,56	1,52
Cd	mg/kg	15,5	35,8	8,42	3,4	6,94	9,99	4,02	3,94	10,6	12,2	8,67	5,49
Co	mg/kg	22,9	24	15,5	11,3	12,7	13,6	9,22	8,26	14,8	18,2	18,1	19
Cr	mg/kg	986	1450	607	287	401	384	223	193	321	440	486	354
Cu	mg/kg	1180	1740	1130	707	772	555	399	360	600	679	727	569
Hg	mg/kg	2,24	5,77	0,664	0,21	0,376	0,454	0,164	0,211	0,568	1,1	0,676	0,369
La	mg/kg	13,1	11,1	12,8	19,7	18,1	16,4	20,9	15,8	15,9	18,9	14,1	15,4
Mo	mg/kg	<6	9,87	<6	<6	<6	7,63	<6	<6	7	6,59	7,44	<6
Nb	mg/kg	13,2	11,9	10,4	6,92	<6	<6	<6	<6	<6	7,28	10,8	14,6
Ni	mg/kg	79,4	75,3	76,2	33,3	38,1	40	33,7	29,2	46,5	61,2	62,4	63,5
Pb	mg/kg	1750	3870	1060	455	675	665	305	272	633	827	925	661
Sb	mg/kg	102	175	e.a.	e.a.	e.a.	e.a.	10,8	9,7	21,4	30,6	52,8	41,6
Sc	mg/kg	5,08	3,7	4,67	7,2	4,98	4,51	4,94	4,73	4,42	4,68	4,59	5,43
Sn	mg/kg	31,1	47,4	31,7	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Sr	mg/kg	414	509	359	284	444	613	394	412	539	483	446	429
V	mg/kg	62,4	69	49,5	53,4	45,6	42,4	40,5	37,3	40,2	44,3	48,7	52,8
W	mg/kg	<60	<60	<60	<60	<60	<60	<60	<60	<60	<60	<60	<60
Y	mg/kg	17,2	14,9	17,4	17,9	14,6	15,4	15,1	14,1	15,2	15,6	16,7	19,4
Zn	mg/kg	8780	11900	7670	2430	2780	2070	1570	1360	3130	4440	5850	6490
Zr	mg/kg	169	130	162	174	147	107	139	125	113	131	136	177

e.a. = ej analyserat

Tabell 22. Primärdata för economizeraskan, huvudämnen

Table 22. Primary data for the boiler ash, main elements

Ämne	Enhet	10sep	11 sep	16 sep	18 sep	20 sep	22 sep	25 sep	26 sep	28 sep	29 sep	05 okt	06 okt
		RT 1	RT 1	skogs	skogs	skogs	skogs	skogs	skogs	Skog+RT	Skog+RT	RT 2	RT 2
TS	%	100,1	100	99,9	100,1	100	100	100,1	100,1	100,1	100,1	100,1	100,1
LOI	% TS	1,1	1,1	1,6	1,4	1,7	1,4	2,2	2,0	1,2	1,5	1,6	1,1
SiO ₂	% TS	60,6	60,9	71,9	68,8	71,4	72,3	70	68,2	64,6	62,1	56,9	61,5
Al ₂ O ₃	% TS	12	11,5	9,54	11,3	9,86	10,1	9,88	10,3	11,2	11,2	12,6	13
CaO	% TS	8,75	9,17	5,78	5,31	5	4,75	6,45	6,46	7,65	8,12	9,47	8,35
Fe ₂ O ₃	% TS	3,91	4,07	3,16	3,78	2,75	2,74	2,47	2,72	3,86	4,26	4,02	3,7
K ₂ O	% TS	3,19	3,32	3,99	4,29	4,39	4,35	5,11	5,06	4,56	4,31	3,54	3,72
MgO	% TS	2,23	2	1,13	1,54	1,14	1,16	1,2	1,31	1,65	1,79	2,11	1,97
MnO	% TS	0,127	0,147	0,167	0,106	0,106	0,0971	0,163	0,154	0,173	0,183	0,109	0,103
Na ₂ O	% TS	2,47	2,58	2,53	2,4	2,48	2,5	2,43	2,45	2,4	2,38	2,4	2,57
P ₂ O ₅	% TS	0,298	0,353	0,499	0,658	0,433	0,439	0,63	0,681	0,657	0,595	0,307	0,278
TiO ₂	% TS	2,77	2,08	0,513	0,446	0,362	0,351	0,287	0,425	1,43	1,75	3,42	3,35
S	mg/kg	6360	8650	1980	884	831	798	789	959	2840	3580	12700	8640
Cl	% TS	0,1	0,3	e.a.	e.a.	e.a.	e.a.	<0.1	<0.1	<0.1	0,1	<0.1	<0.1

e.a. = ej analyserat

Tabell 21, forts.

Primärdata för economizeraskan, fortsättning, spårämnen

Table 21, contd

Primary data for the boiler ash, continued, trace elements

Ämne	Enhet	10sep	11 sep	16 sep	18 sep	20 sep	22 sep	25 sep	26 sep	28 sep	29 sep	05 okt	06 okt
		RT 1	RT 1	skogs	skogs	skogs	skogs	skogs	skogs	Skog+RT	Skog+RT	RT 2	RT 2
As	mg/kg	168	234	190	56,7	101	89,8	56,7	60,5	86,9	101	82	86,3
Ba	mg/kg	4060	3760	1300	824	927	863	849	1000	2620	2960	5180	5280
Be	mg/kg	2,04	1,89	1,44	1,98	1,54	1,64	1,52	1,65	1,61	1,66	1,89	1,75
Cd	mg/kg	4,17	6,98	2,31	1,39	1,47	1,35	1,12	1,64	2,79	3,21	3,2	3,16
Co	mg/kg	18,4	16,9	8,41	8,27	6,93	6,39	5,95	6,82	11,4	14,6	24,3	24,8
Cr	mg/kg	623	597	391	181	246	216	145	159	257	307	342	352
Cu	mg/kg	810	1100	1180	454	620	422	305	354	509	530	735	664
Hg	mg/kg	0,014	0,0183	0,0123	0,0134	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
La	mg/kg	17,3	18	16,4	28,4	19,1	18,9	17,7	20,3	20,2	18,7	20,3	18
Mo	mg/kg	<6	<6	<5	<6	<6	<6	<6	<6	<6	<6	<6	<6
Nb	mg/kg	17,3	13,8	<5	6,98	<6	<6	<6	<6	10,5	12,8	22,2	20,9
Ni	mg/kg	77,2	76,3	37,9	24,6	23,1	18,7	18,7	17,5	53,8	55,3	65,8	71,9
Pb	mg/kg	616	1100	462	175	199	218	112	172	368	446	527	449
Sb	mg/kg	40,9	46,2	e.a.	e.a.	e.a.	e.a.	6,36	7,12	15,1	18	36,3	40,5
Sc	mg/kg	5,5	5,4	4,03	7,73	4,34	4,91	4,56	5	5,42	5,58	6,06	5,3
Sn	mg/kg	32	55,6	46,4	<20	<20	<20	<20	<20	22,3	22,9	<20	<20
Sr	mg/kg	328	339	265	256	272	263	297	305	327	326	381	354
V	mg/kg	53,9	55	33,3	51,5	31,3	32,7	31,3	33,3	40,3	42,8	50,8	45
W	mg/kg	<60	<60	<50	<60	<60	<60	<60	<60	<60	<60	<60	<60
Y	mg/kg	18	18,9	13,6	20,9	14,9	15,9	13,9	15	16,6	21,1	23,3	21,5
Zn	mg/kg	8190	7470	4010	1330	2020	1580	1200	1540	4650	5560	12000	13900
Zr	mg/kg	196	198	134	220	159	152	154	157	172	192	210	223

e.a. = ej analyserat

Tabell 23. Primärdata för bäddaskan, fraktionen 2-5 mm, huvudämnen

Table 23. Primary data for the bottom ash, 2-5 mm fraction, main elements

Ämne	Enhet	10sep	11 sep	16 sep	18 sep	20 sep	22 sep	25 sep	26 sep	28 sep	29 sep	05 okt	06 okt
		RT 1	RT 1	skogs	skogs	skogs	skogs	skogs	skogs	Skog+RT	Skog+RT	RT 2	RT 2
TS	%	99,9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
LOI	% TS	-0,1	-0,1	-0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1
SiO ₂	% TS	67,4	67,2	65,9	66,5	67,5	66,8	67	68,1	66,7	65,7	67,4	64,7
Al ₂ O ₃	% TS	13,2	13,4	11,8	12,7	13	13	13,5	13,6	13,2	12,7	13	12,6
CaO	% TS	4,88	4,65	6,06	5,28	4,79	4,5	4,57	4,02	4,97	5,35	4,84	4,29
Fe ₂ O ₃	% TS	3,45	3,45	4,07	2,91	2,69	2,85	2,56	2,48	2,88	3	2,63	2,63
K ₂ O	% TS	4,31	4,4	4,04	5,48	6,06	6,38	7,38	7,45	7,31	6,85	5,63	5,16
MgO	% TS	1,56	1,46	1,46	1,2	1,17	1,11	1,04	0,983	1,07	1,16	1,1	1,11
MnO	% TS	0,0968	0,105	0,121	0,113	0,0968	0,0932	0,0952	0,0821	0,1	0,108	0,105	0,0919
Na ₂ O	% TS	4,11	4,13	4,52	3,85	3,68	3,51	3,43	3,4	3,56	3,61	3,82	3,77
P ₂ O ₅	% TS	0,172	0,174	0,257	0,254	0,239	0,253	0,298	0,25	0,313	0,302	0,219	0,179
TiO ₂	% TS	0,48	0,47	0,524	0,415	0,354	0,328	0,278	0,269	0,315	0,342	0,391	0,357
S	mg/kg	271	301	536	244	194	187	204	201	266	269	357	281
Cl	% TS	<0.1	<0.1	e.a.	e.a.	e.a.	e.a.	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1

e.a. = ej analyserat

Tabell 22, forts.

Primärdata för bäddaskan, fortsättning, spårämnen

Table 22, contd.

Primary data for the bottom ash, continued, trace elements

Ämne	Enhet	10sep	11 sep	16 sep	18 sep	20 sep	22 sep	25 sep	26 sep	28 sep	29 sep	05 okt	06 okt
		RT 1	RT 1	skogs	skogs	skogs	skogs	skogs	skogs	Skog+RT	Skog+RT	RT 2	RT 2
As	mg/kg	159	151	173	117	94,3	73,1	59,6	44,3	72,1	74	110	100
Ba	mg/kg	1220	1220	1300	1300	1170	1160	1120	1090	1240	1160	1230	1070
Be	mg/kg	2,79	2,67	2	1,97	2,08	2,11	2,14	2,14	2,03	1,97	2,18	2,17
Cd	mg/kg	0,571	0,42	0,764	0,357	0,144	0,197	<0.1	0,195	0,208	0,219	0,257	0,383
Co	mg/kg	11,3	10,7	19,3	9,18	8,62	7,03	5,51	5,38	7,44	7,68	7,8	7,39
Cr	mg/kg	366	406	475	415	269	284	172	132	185	206	264	455
Cu	mg/kg	2700	3140	6440	1920	1480	1300	584	712	1270	991	1700	1610
Hg	mg/kg	<0.01	0,0103	0,0124	0,0148	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
La	mg/kg	25	25	17,5	15,4	19,8	18,1	19	17,6	15,7	14,2	19,7	16,4
Mo	mg/kg	<5	<5	<6	<6	<6	<6	<6	<5	29,4	<6	<6	<6
Nb	mg/kg	6,47	6,69	<6	<6	<6	<6	<6	<5	<5	<6	<6	<6
Ni	mg/kg	33,8	30,6	99,7	41,4	22,9	39,2	19,8	9,35	16,7	63	12,6	21,2
Pb	mg/kg	807	563	581	364	298	387	110	142	156	428	567	903
Sb	mg/kg	47,2	45,5	e.a.	e.a.	e.a.	e.a.	10,4	7,19	12,8	12,4	26,4	29,4
Sc	mg/kg	6,89	7,05	4,77	4,18	5,15	4,83	4,67	4,92	4,18	4,52	4,65	4,88
Sn	mg/kg	92,8	63,8	66,3	47,9	45,7	34,7	<20	<20	27,5	34,3	29,7	35,4
Sr	mg/kg	259	271	256	290	283	283	294	275	295	295	267	248
V	mg/kg	52,7	50,9	39,5	32,9	33	31,9	29,6	29,3	27,6	28,4	29,7	30,2
W	mg/kg	<50	<50	<60	<60	<60	<60	<60	<50	<50	<60	<60	<60
Y	mg/kg	19,2	17,9	16,9	16,2	16,2	15,3	14,8	15,2	14,5	15,3	16,4	17,2
Zn	mg/kg	6020	5460	5680	4890	3390	3130	2230	1960	2870	2920	2660	3530
Zr	mg/kg	222	220	216	184	151	148	121	139	140	157	155	143

e.a. = ej analyserat

Tabell 24. Primärdata för sammansättningen hos fluidiseringssanden och hos proven mognad bäddaska i laktesterna

Table 24. Primary data on the composition of fluidisation sand and on aged bottom ash in the leaching tests

Ämne	Enhet	Sand*	Bäddaska			
			10 sep	26 sep	29 sep	06 okt
TS	%	99,9	99,9	99,9	99,9	99,8
LOI	% TS	0,4	0,2	0,2	0,2	0,3
SiO ₂	% TS	75,8	66,5	66,2	65,5	67,8
Al ₂ O ₃	% TS	12,7	13	13	12,3	12,4
CaO	% TS	1,04	4,46	4,19	5,11	4,36
Fe ₂ O ₃	% TS	1,71	3,44	2,43	3,16	2,63
K ₂ O	% TS	4,56	4,4	7,42	6,65	5,23
MgO	% TS	0,338	1,32	0,963	1,11	1,1
MnO	% TS	0,0308	0,102	0,0936	0,108	0,0981
Na ₂ O	% TS	3,41	3,98	3,31	3,45	3,81
P ₂ O ₅	% TS	0,0469	0,187	0,286	0,319	0,201
TiO ₂	% TS	0,152	0,47	0,266	0,334	0,353
S	mg/kg	1660	318	215	324	283
Cl	% TS	e.a.	<0.1	<0.0	<0.1	<0.1
As	mg/kg	36	112	28,8	59,3	71,3
Ba	mg/kg	1010	1250	1130	1260	1080
Be	mg/kg	1,99	2,54	2,16	4,18	2,25
Cd	mg/kg	<0.1	0,255	<0.1	0,346	0,257
Co	mg/kg	2,22	13,2	5,48	7,72	8,37
Cr	mg/kg	50,9	419	144	180	238
Cu	mg/kg	10,4	3720	1450	1190	1650
Hg	mg/kg	<0.01	0,0146	0,0128	<0.01	0,0126
La	mg/kg	18	39	24,1	29,1	33,2
Mo	mg/kg	<6	<6	<6	<6	<6
Nb	mg/kg	<6	<6	<6	<6	<6
Ni	mg/kg	4,84	111	13,2	15,7	91
Pb	mg/kg	18	696	596	207	328
Sb	mg/kg	<0.5	46,5	7,33	14,1	33,5
Sc	mg/kg	2,54	5,89	4,26	4,41	4,94
Sn	mg/kg	<20	59,3	<20	40,7	113
Sr	mg/kg	189	260	279	294	246
V	mg/kg	15,1	44,2	26,8	27,5	31,9
W	mg/kg	<60	<60	<60	<60	<60
Y	mg/kg	13,1	18,5	15,4	16,2	17,2
Zn	mg/kg	35,9	9870	2330	2950	3570
Zr	mg/kg	119	187	133	156	151

*Barkarsand 0,95 mm, e.a.= ej analyserat

Tabell 25. Primärdata för laktesterna av mognad bäddaska, fraktionen 2-5 mm,

Table 25. Primary data for leaching tests on aged bottom ash, 2-5 mm fraction

Analys	Enhet	Prov			
		10 sep Mognad bäddaska		26 sep Mognad bäddaska	
		L/S=2	L/S=10	L/S=2	LS=10
TS innan lakning	%	99,99	99,99	99,96	99,96
Invägning	g	175,02	175	175,06	175,1
Volym efter filtr. L/S2	ml	318		326	
Volym tillsatt	ml	350	1400	350	1400
Ca	mg/kg TS	129	492	103	608
Fe	mg/kg TS	<0.008	<0.04	<0.008	<0.04
K	mg/kg TS	17,7	25,9	59,2	87,4
Mg	mg/kg TS	1,37	4,42	0,45	2,36
Na	mg/kg TS	34,4	41,5	98,6	124
S	mg/kg TS	17,5	24,8	28,6	33,6
Al	mg/kg TS	0,324	4,7	2,76	16,6
As	mg/kg TS	1,06	4,94	0,0282	0,103
Ba	mg/kg TS	0,5	2,91	0,0832	0,684
Cd	mg/kg TS	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003
Co	mg/kg TS	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003
Cr	mg/kg TS	2,06	2,95	1,16	1,58
Cu	mg/kg TS	0,0226	0,0311	0,00718	<0.01
Hg	mg/kg TS	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003
Mn	mg/kg TS	<0.003	0,00377	<0.003	0,00961
Mo	mg/kg TS	0,102	0,143	0,0862	0,113
Ni	mg/kg TS	<0.003	<0.005	<0.003	<0.005
Pb	mg/kg TS	<0.003	0,00437	<0.003	0,0151
Sb	mg/kg TS	0,0734	0,264	0,0161	0,0574
Se	mg/kg TS	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003
Zn	mg/kg TS	0,0312	0,039	0,00458	<0.01
pH		>10.0	>10.0	>10.0	>10.0
Kond.	mS/m	45,3	36,2	73,2	58
DOC(NPOC)	mg/kg TS	22	42,9	4,6	<12
Cl	mg/kg TS	18,8	27,7	7,4	<15
F	mg/kg TS	<0.2	<1	<0.2	<1
SO ₄	mg/kg TS	53,2	75,3	86	99,6

Tabell 24, forts.Primärdata för laktesterna av mognad bäddaska, fraktionen 2-5 mm, fortsättning

Table 24, contd. Primary data for leaching tests on aged bottom ash, 2-5 mm fraction, continued

Analys	Enhet	Prov			
		29 sep Mognad bäddaska		06 okt Mognad bäddaska	
		L/S=2	L/S=10	L/S=2	LS=10
TS innan lakning	%	99,97	99,97	99,97	99,97
Invägning	g	175,05	175,1	175,05	175,1
Volym efter filtr. L/S2	ml	325		322	
Volym tillsatt	ml	350	1400	350	1400
Ca	mg/kg TS	165	658	137	552
Fe	mg/kg TS	<0.008	<0.04	<0.008	<0.04
K	mg/kg TS	47,6	68,4	15,9	23,7
Mg	mg/kg TS	0,19	2,14	0,598	2,93
Na	mg/kg TS	57,8	72,9	32	39,4
S	mg/kg TS	40,2	49,9	26,8	37,9
Al	mg/kg TS	13,4	34,2	5,92	20,1
As	mg/kg TS	0,0594	0,628	0,442	2,96
Ba	mg/kg TS	0,128	0,796	0,197	1,1
Cd	mg/kg TS	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003
Co	mg/kg TS	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003
Cr	mg/kg TS	1,71	2,88	1,6	2,57
Cu	mg/kg TS	0,0118	<0.02	0,0125	<0.02
Hg	mg/kg TS	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003
Mn	mg/kg TS	<0.003	0,00993	<0.003	0,00467
Mo	mg/kg TS	0,0952	0,139	0,0872	0,123
Ni	mg/kg TS	<0.003	<0.005	<0.003	<0.005
Pb	mg/kg TS	0,00636	0,0212	0,0039	0,0141
Sb	mg/kg TS	0,0604	0,201	0,0732	0,26
Se	mg/kg TS	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003
Zn	mg/kg TS	0,00618	0,0201	0,00578	0,0187
pH		>10.0	>10.0	>10.0	>10.0
Kond.	mS/m	86,2	56,2	60,6	45,6
DOC(NPOC)	mg/kg TS	16	<23	9,2	24,8
Cl	mg/kg TS	18,8	27,2	19	26,5
F	mg/kg TS	<0.2	<1	<0.2	<1
SO ₄	mg/kg TS	53,2	153	78,2	109

Värmeforsk är ett organ för industrisamverkan inom värmeknisk forskning och utveckling. Forskningsprogrammet är tillämpningsinriktat och fokuseras på energi- och processindustriernas behov och problem.

Bakom Värmeforsk står följande huvudmän:

- Elforsk
- Svenska Fjärrvärmeföreningen
- Skogsindustrin
- Övrig industri

VÄRMEFORSK SAMARBETAR MED
STATENS ENERGIMYNDIGHET

VÄRMEFORSK SERVICE AB
101 53 Stockholm
Tel 08-677 25 80
Fax 08-677 25 35
www.varmeforsk.se

Beställning av trycksaker
Fax 08-677 25 35