

# RAPPORT U2011:22

Lämplig metodik för grundläggande karakterisering  
av aska för acceptans på deponi

ISSN 1103-4092





## FÖRORD

För att leva upp till kravet på provning inför deponering, de så kallade acceptanskriterierna, behövs en enkel och praktiskt användbar metod. För att uppnå detta provbereds askprover genom åldring så att lakresultaten blir någorlunda rättvisande. Lakförsök har utförts med flygaskor från olika panntyper samt olika avfalls- och återvinningsbränslen. Även vattentillsatser före åldring samt åldringstider har varierats. Inte i några av försöken observerades någon ökad lakning med ökad åldring. Det rekommenderas dock att detta undersöks från fall till fall för sådana ämnen som kan oxideras och bilda vattentrogna anjoner.

Projektet har genomförts av Rolf Sjöblom, Tekedo AB.

Malmö oktober 2011

Håkan Rylander  
Ordf. Avfall Sveriges Utvecklingskommitté

Weine Wiqvist  
VD Avfall Sverige



## SAMMANFATTNING

Enligt Naturvårdsverkets kriterier för uppläggning av avfall på deponi ska uppläggningsen styras av de egenskaper som framkommer i samband med ”grundläggande karakterisering”. I en sådan ingår perkolationstest (kolonnstest), prCEN/TS 144053, och skaktest, SS-EN 12457-3.

I den senare standarden anges bland annat att ”the procedure may not be applicable to materials reacting with the leachant”, och det finns motsvarande formuleringar för perkolationstestet.

Acceptanskriterierna anger (§§ 15-16) att ”I de fall nämnda testmetoder inte är tillämpliga skall en metod där kemisk jämvikt avses uppnås mellan avfall och lakvatten användas för jämförelse med likvärdiga gränsvärden”.

Trots att askor från förbränning av avfall och återvinningsbränslen oftast är reaktiva så testas och bedöms de i de allra flesta fall utan att hänsyn tas till reaktiviteten.

I rapporten har en metodik undersökts för åldring av aska före lakttestning. Åldringen har skett i tätslutande glasburkar så att bulkförhållanden efterliknats. Variationerna har omfattat två vattenhalter och tiderna 0, 1, 4 och 17 veckors åldring.

De askor som undersökts är flygaskor från Halmstad, Jönköping, Lidköping och Linköping. Pannan i Lidköping är en fluidbäddpanna, medan övriga är rosterpannor. I pannan i Linköping eldades vid provtagningstillfället returträflis 45 % samt bark, GROT och Stigsnäsflis, de senare med 15 % inblandning. I övriga pannor eldades huvudsakligen hushållsavfall och verksamhetsavfall.

Resultatet av arbetet innebär stöd för en rekommendation som innebär att aska ska åldras före lakttestning. Inför åldringen bör vatten tillsättas till överskott i förhållande till de kemiska reaktioner som äger rum, men utan kvarstående fritt vatten på ytan. Åldringen rekommenderas äga rum under minst en vecka och helst under mer än en månad.

Försöken visade inte på något fall där åldring skulle ge upphov till någon högre lakning jämfört med icke åldrat material. Dock rekommenderas att man undersöker detta från fall till fall och för sådana ämnen som kan misstänkas få ökad lakning.

För bl a zink, bly och koppar innebar åldringen en reduktion av lakningen med någon tiopotens. Den största reduktionen uppkom för de högsta värdena.

Reduktionen bedöms i många fall kunna innebära att lakningen därigenom underskrider Naturvårdsverkets gränsvärden för uppläggning på deponi för icke farligt avfall.

Reduktionen kan också innebära att askor kan kvalificeras för användning i geotekniska konstruktioner.



## SUMMARY

According to the Swedish Environmental Protection Agency (Naturvårdsverket), waste may be placed in a landfill only after basic characterisation and compliance with certain criteria on limits. This includes percolation tests, prCEN/TS 144053, and batch leaching tests, SS-EN 12457-3.

The latter standard states amongst other things that "the procedure may not be applicable to materials reacting with the leachant", and there are similar statements in the standard for the percolation test.

It is stated in the criteria for acceptance (§§ 15-16) that {translation by the present author} "in those cases where the test methods mentioned are not applicable, a method in which chemical equilibrium is intended to be achieved between the waste and the leachant should be used for comparison of equivalent limits".

However, in the very most cases, ashes from incineration and combustion are tested without any consideration of their very well known reactive properties.

In this report, methodology has been investigated for the ageing of ashes before they are subjected to leach testing. Ageing has been carried out in air-tight glass vessels (jars) in order to simulate bulk conditions. The variations have included two different water contents together with 0, 1, 4 and 17 weeks of ageing.

The ashes investigated are fly ashes from facilities in Halmstad, Jönköping, Lidköping and Linköping. The furnaces at Lidköping are of the fluidized bed type and the other ones are of the grate fired type. At the time of sampling, the fuel at Linköping comprised largely recycled wood chips, and the other facilities burned mainly domestic waste and waste from industry.

The results of the work support a recommendation to age ashes before they are subjected to leach testing. Before ageing, water should be added to a surplus relative to what may be consumed in chemical reactions, but not so superfluously that a mirror comprising free water may remain on the surface. It is recommended that the ageing takes place during at least one week, and preferably for more than one month.

In no case was it observed that the ageing gave rise to an increased leach rate. Nonetheless, it is recommended that this is investigated on a case by case basis and for such elements that can be suspected to show an increase in the leach rate with time.

For e.g. zinc, lead and copper, the ageing gave rise to a reduction of the leaching by some order of magnitude. The largest reduction was observed for the highest values.

It was assessed that the ageing in many cases may imply that the leaching meets the criteria of the Swedish Environmental Protection Agency for disposal of waste on a landfill for non-hazardous waste.

The reduction may also imply that ashes can be qualified to be used in geotechnical constructions.

# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	Bakgrund och syfte och m m	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte och målsättning	2
1.3	Referensgruppen	2
2	Utförande	3
2.1	Askorna som undersökts	3
2.1.1	Halmstad	3
2.1.2	Jönköping	3
2.1.3	Lidköping	3
2.1.4	Linköping	4
2.2	Provberedning och åldring	4
2.3	Lakning och analys	6
3	Resultat	7
3.1	Totalanalyser	7
3.2	Lakresultat	9
4	Diskussion och slutsatser	16
4.1	Tolkning av data	16
4.2	Övriga slutsatser	18
5	Referenser	20



# 1 BAKGRUND OCH SYFTE OCH M M

## 1.1 Bakgrund

Enligt Naturvårdsverkets kriterier för uppläggning av avfall på deponi [1] ska uppläggningsen styras av de egenskaper som framkommer i samband med "grundläggande karakterisering". I en sådan ingår perkolationstest (kolonnstest), prCEN/TS 144053, och skakttest, SS-EN 12457-3. I den senare standarden anges bland annat att "the procedure cannot be applicable to materials reacting with the leachant", och det finns motsvarande formuleringar för perkolationstestet.

Acceptanskriterierna [1] anger (§§ 15-16) att "I de fall nämnda testmetoder inte är tillämpbara skall en metod där kemisk jämvikt avses uppnås mellan avfall och lakvatten användas för jämförelse med likvärdiga gränsvärden".

Det torde vara välkänt att askor från förbränning av träbaserade bränslen och avfall är reaktiva. Trots detta testas askor hela tiden enligt ovan nämnda standarder. Rimligen skulle analyslaboratorierna i sådana fall ange avvikelser i analysprotokollen. Någon sådan notering har emellertid inte påträffats i något av ett stort antal protokoll som författaren gått igenom, och vilka utfärdats av ett flertal laboratorier.

I diverse arbeten har iakttagits att utlakningen påverkats av åldringen. För många ämnen förefaller lakningen minska med ökad åldring, men för några förefaller den kunna öka. Undersökning av åldringens inverkan på lakningen är således betydelsefull dels för att inte riskerna för hälsa och miljö ska underskattas, dels för att skyddsåtgärder inte ska vidtas i de fall där de inte behövs och resurserna i stället bör fokuseras på andra miljöåtgärder.

Den främsta orsaken till de ovan beskrivna problemen är att det saknas metodik för att åldra askor på lämpligt sätt så att egenskaperna under jämviktsförhållanden kan bedömas.

Ofta uppfattas den åldring som sker när aska kontaktas med luft och vatten som ett resultat av karbonatisering. Undersökningar pekar emellertid på att de flesta askor åldras även utan tillgång till koldioxid.[2-3]

En orsak till denna vanliga uppfattning kan vara att de underliggande observationerna gjorts i samband med laboratoriearbete, där små poster aska hanterats, och där karbonatisering således kommit till stånd snabbt. I full skala har man dock observerat att karbonatisering bara kommit till stånd på ytan, medan åldring ändå skett av underliggande material genom andra mekanismer.[2-3]

Att karbonatisering kan ske långsamt i fullstora upplag hänger antagligen samman med luftens låga halt av koldioxid, ca 0,03 %, vilket innebär att det krävs stora volymer luft. Om askan är tät kan förloppet bli diffusionstyrt. För att karbonatisering ska kunna komma till stånd krävs också närvaro av fukt. Samtidigt kan tillgång till vatten innebära att porerna blir vattenfyllda, vilket hindrar lufttillträde.

I samband med ett antal klassningar enligt avfallsförordningen som Tekedo AB utfört har aska åldrats genom att fuktat material förvarats i glaskärl med tättslutande lock under minst en vecka. Syftet med detta har varit att efterlikna åldringen i bulkkvantiteter.

Någon systematisk studie av vilken inverkan en sådan åldring kan ha på olika askor under olika tider har dock inte utförts.

## **1.2 Syfte och målsättning**

Syftet med det uppdrag vars resultat redovisas i denna rapport är att söka få fram en enkel och praktisk möjlighet för fjärrvärmeföretagen och Avfall Sveriges medlemmar att leva upp till kraven på provning inför deponering i enlighet med våra författningar. Syftet är i synnerhet att fånga upp om något ämne ökar lakningen under åldringen. Syftet är också att identifiera de fall där tungmetaller fastläggs under åldringen och där skyddsåtgärder som kunde framstå som motiverade utgående från lakdata för färsk aska i själva verket kan visas vara omotiverade. Ett ytterligare syfte är att bidra till kvalificering av askor inför geoteknisk användning.

Målsättningen är att presentera en enkel och praktiskt användbar metod för att på lämpligt sätt provbereda askor genom åldring så att lakresultaten blir någorlunda rättvisande.

Uppdraget är praktiskt inriktat, och informationssökning har utförts inom ramen för andra uppdrag[4-11], se avsnittet med diskussion och slutsatser.

## **1.3 Referensgruppen**

Arbetet har utförts under aktiv medverkan av en referensgrupp i vilken följande personer ingått:

Caroline Alm	Renova AB
Katarina Pettersson	Renova AB
Karin Karlfeldt Fedje	Renova AB
Daniel Nilsson	AB Fortum Värme
Torbjörn Everland	Jönköping Energi AB
René Nicolaisen	Halmstads Energi och Miljö AB
Magnus Hammar	Tekniska Verken i Linköping AB

I mötena och arbetet har också deltagit

Peter Flyhammar            Avfall Sverige

I arbetet har också deltagit

Jan-Eric Isaksson            Lidköpings Värmeverk AB

Projektet har haft stor glädje och nytta av ett starkt engagemang från referensgruppens sida. Den har aktivt deltagit i planeringen av arbetet inklusive strategin för vad som bör provas. Medlemmarna har också tillhandahållit askprover till projektet.

Askorna som provats kommer från följande företag och anläggningar:

- Halmstads Energi och Miljö AB
- Jönköping Energi AB
- Lidköpings Värmeverk AB
- Tekniska Verken i Linköping AB

Författaren riktar ett stort tack till referensgruppen för allt stöd till arbetet.

## 2 UTFÖRANDE

### 2.1 Askorna som undersökts

#### 2.1.1 Halmstad

Proverna från Halmstads Energi och Miljö AB togs ut i november 2010 enligt följande: den 13 förmiddag, den 13 eftermiddag, 15 förmiddag, 15 eftermiddag och den 16 förmiddag. Askorna togs ut från asksilon på linje P3.

Pannan är en rosterpanna av fabrikat Fisia Babcock. Under provtagningsperioden var pannlasten 100 %. Inga driftstörningar förekom under provtagningsperioden.

Bränsleblandningen var den normala för säsongen, nämligen:

hushållsavfall	55 %
verksamhetsavfall	35 %
trä	5 %
SLF	5 %

SLF står för Shredder Light Fraction, d v s lättfraktion från bildemontering, även kallad fluff.

Ingen kalk har tillsatts till askan.

#### 2.1.2 Jönköping

Proverna från Jönköping Energi AB togs ut i september 2010 enligt följande: den 24 förmiddag, den 24 eftermiddag, den 28, den 29 och den 30.

Pannan är en rosterpanna som levererats av Fisia Babcock.

Under september månad var bränsleblandningen som följer:

hushållsavfall	26 %
verksamhetsavfall	74 %

Kalk har tillsatts till askan.

#### 2.1.3 Lidköping

Proverna från Lidköpings Värmeverk AB togs ut i november 2010 enligt följande: 1, 2, 3, 8 och 9.

Askorna kommer från tre stycken fluidbäddpannor med genensam borttransport av aska. Två av pannorna har en effekt på 15 MW och en har en effekt på 20 MW. Uppfångningen av aska sker på textilfilter. Pannorna har levererats av Metso (inklusive dess föregångare).

Bränsleblandningen var som följer:

hushållsavfall	40 %
verksamhetsavfall	40 %
returträflis	10 %

Kalk har tillsatts till askan.

#### **2.1.4 Linköping**

Proverna från Tekniska Verken i Linköping AB togs ut den 28, 29 och 30 september samt den 1 och 4 oktober 2010.

Provtagningen gjordes från elfiltret på P3 på KV1, som är en rosterpanna.

Bränsleblandningen var som följer:

returträflis	45 %
bark	15 %
GROT	15 %
Stignäsflis	15 %

GROT är GRenar Och Toppar

Stignäsflis är en blandning av rötslam och returträflis

Ingen kalk har tillsatts till askan.

## **2.2 Provberedning och åldring**

Eftersom den första snön kom samtidigt med de sista askorna dröjde det till mitten av mars innan askorna homogeniserades. Detta är en mycket dammande hantering och den utfördes utomhus av arbetsmiljöska.

Homogeniseringen av proverna utfördes genom att lika delar av var och en av delproverna för varje anläggning kördes genom en provblandare minst fem gånger.

Från början var det tänkt att försöken med askorna från Halmstad och Jönköping skulle göras med ett kompositprov, varför ett sådant bereddes på samma sätt (samt ytterligare homogenisering genom tumling > 200 gånger). Tanken var att kompositaskan skulle representera flygaskor från rosterpannor med huvudsakligen hushålls- och verksamhetsavfall som bränsle.

Askorna från Lidköping representerade flygaska från fluidbäddpannor med huvudsakligen hushålls- och verksamhetsavfall som bränsle, medan flygaskan från Linköping representerade förbränning med huvudsakligen återvinningsbränslen.

Det visade sig emellertid att blandningen av askorna från Halmstad och Jönköping fungerade helt annorlunda jämfört med askorna var för sig. Askorna reagerade med varandra och härdade inte som övriga.

I samråd med Referensgruppen beslutades därför att askorna från Halmstad och Jönköping i stället skulle undersökas var för sig.

Genom framställningen av kompositaskan hade mängden oblandad aska från Halmstad och Jönköping reducerats påtagligt. Dock kunde konstateras att volymerna var tillräckliga under förutsättning att viss hushållning iakttogs.

Alla åldringsprover utom de för åldring under en vecka bereddes under slutet av mars 2011. (Ett av skälen för detta var att avvakta resultat innan alltför mycket provmaterial förbrukats). Efter det att resultat erhållits från lakning av färsk aska samt aska som åldrats under en månad hölls ett referensgruppsmöte under vilket vi kom fram till att även vecko- och fyramånadersprover skulle undersökas. Veckoprovet bereddes därför i början av juni 2011.

De första proverna bereddes med 200 gram torr aska, men efter erfarenheterna med kompositaskan från Halmstad och Jönköping sänktes denna mängd till först 130 gram och sedan till 100 gram.

Proverna bereddes i glasburk med metallock med packning. Uppvägda mängder av aska och vatten blandades med en trästicka under minst fem minuter. Proverna åldrades med väl påsatta lock i dämpad belysning och under rumstemperatur.

Recepten för de olika blandningarna framgår av Tabell 1.

*Tabell 1. Vattenkvoter (kilo vatten per kilo torr aska) för de olika blandningarna med aska och vatten som användes i åldringsförsöken.*

ANLÄGGNING	HÖG VATTENHALT	LÅG VATTENHALT
Beteckning fortsättningsvis i denna rapport	"v" som i "vått"	"t" som i "torrt"
Halmstad	0,535	0,462
Jönköping	0,733	0,667
Lidköping	0,594	0,526
Linköping	1,10	1,00

Samtliga prover uppvisade en tillfredsställande hårdhetsutveckling, men proverna från Lidköping blev betydligt hårdare än övriga. De proverna avgav också påtagliga mängder ammoniak.

Vid några tillfällen lossades locken för att släppa ut övertryck. Detta gjordes för att undvika att något provkärl skulle spricka.

Inför lakningen lossades askmaterialet från glaset med hjälp av ett stämjärn. Klumparna krossades därefter i en iskross till partikelstorlek < 4 mm, i enlighet med lakstandarden SS-EN 12457-3. Proverna var lätta att krossa. Inget fritt vatten (förutom porvatten) förekom vid denna hantering. Samtliga prover bedömdes innehålla porvatten, vilket bl a visade sig genom att materialen kletade i krossen. Porvatten behövs för att åldringsprocesserna ska kunna fortlöpa.

## 2.3 Lakning och analys

Lakningen utfördes enligt lakstandarden SS-EN 12457-3, men med följande preciseringar och undantag.

Mängden tillsatt aska är räknad som den torra ursprungsaskan, d v s 50 gram aska per 500 gram vatten. Det vatten som tillsatts för åldringen drogs således av från de 500 grammen. Detta innebär en viss skillnad i förhållande till standarden som säger att man ska bestämma torrhalten på den våta askan och bara dra av det fria vattnet.

Skälet till avvikelsen är att lakningen är beroende av tillsatt mängd aska. För att jämförelsen före och efter åldring ska bli rättvisande bör det handla om samma mängd aska i varje försök. Avvikelsen innebär att fastläggningen av tungmetaller under åldringen inte underskattas.

Lakningen utfördes med en lakning med L/S 10 (d v s 10 liter vatten per kilo aska) i stället för ett tvåstegsförfarande med först en lakning med L/S 2 och därefter en med L/S 8. Skälen för avvikelsen är dels att färsk aska till stor del reagerar med vatten, varför det är svårt att skilja ut vattenfasen, dels att proportionerna blir förvrängda m h t att invägningen skett m a p torr ursprungsaska.

Efter lakningen fick flaskorna stå under minst en halvtimme för att fast fas skulle kunna sedimentera. Därefter filtrerades klarlösningen genom ordinära pappersfilter för laboratoriebruk. Eventuellt kunde lägre och mera konsistenta lakvärden ha erhållits med hjälp av centrifugering samt filtrering med minsta tillåtna porstorlek i filtret enligt standarden. Det förfaringsätt som tillämpats bedöms dock inte ha lett till någon överskattning av åldringens effekt.

Analyserna utfördes av ALS Scandinavia AB (tidigare Analytica). Laklösningar analyserades enligt deras paket LV-4a, och totalanalys utfördes enligt analyspaketet MG-2 med tillägg för antimon. I några fall bestämde ALS Scandinavia även pH. Resultaten av analyserna presenteras i nästföljande avsnitt.

## 3 RESULTAT

### 3.1 Totalanalyser

Huvudelement i askorna framgår av Tabell 2. Uppgifterna i Tabell 2 finns också redovisade i Figur 1A och 1B.

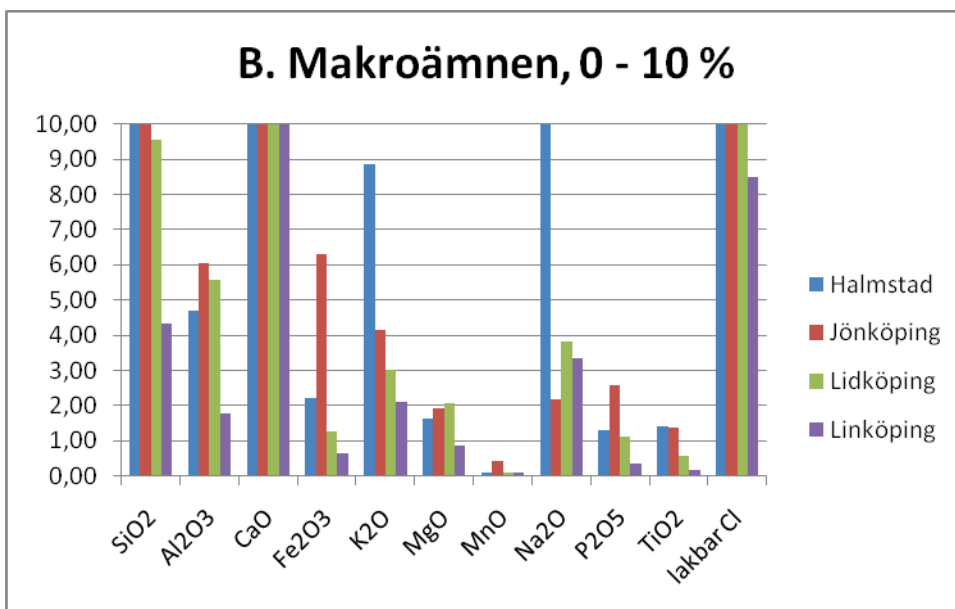
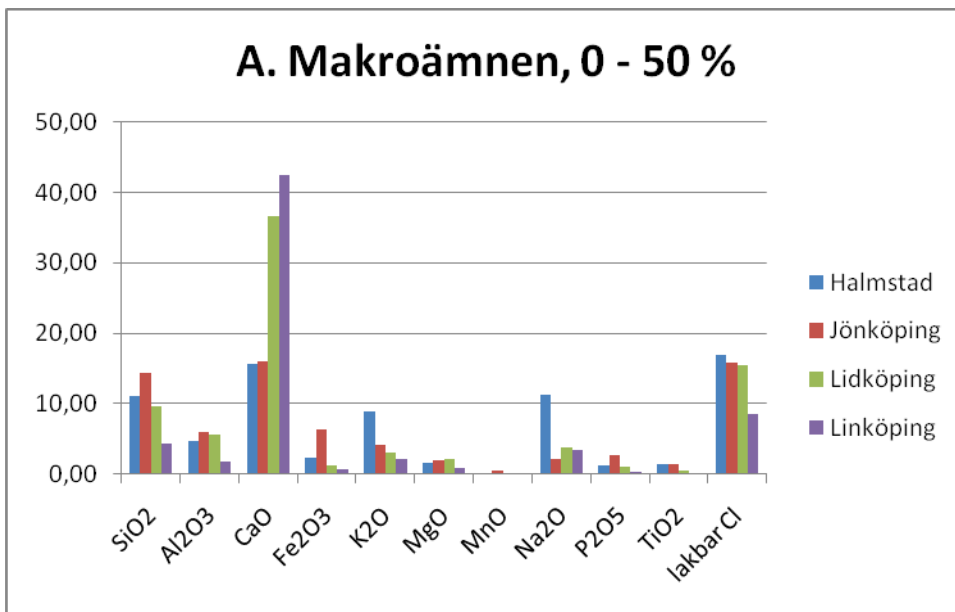
Tabell 2. Huvudelementen i de askor som undersökts i viktprocent. De metalliska ämnena är räknade som oxider.

	HALMSTAD	JÖNKÖPING	LIDKÖPING	LINKÖPING
SiO <sub>2</sub>	11	14	9,6	4,3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,7	6,0	5,6	1,8
CaO	16	16	37	42
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,2	6,3	1,3	0,63
K <sub>2</sub> O	8,8	4,2	3,0	2,1
MgO	1,6	1,9	2,1	0,88
MnO	0,093	0,41	0,094	0,089
Na <sub>2</sub> O	11,	2,2	3,8	3,4
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,3	2,6	1,1	0,34
TiO <sub>2</sub>	1,4	1,4	0,56	0,17
lakbar Cl	17	16	15	8,5

Tabell 3. Spårelementen i de askor som undersökts i milligram per kilo.

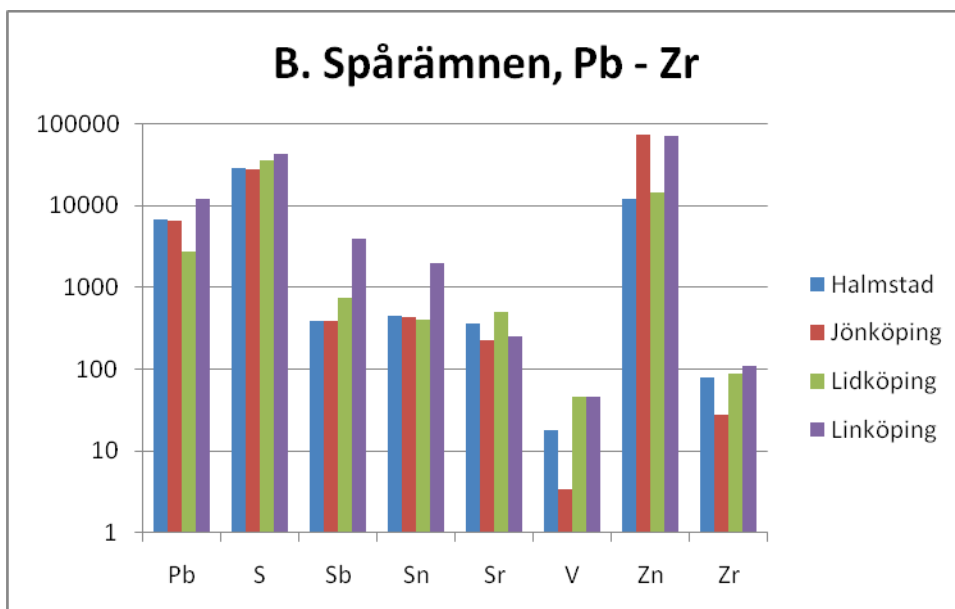
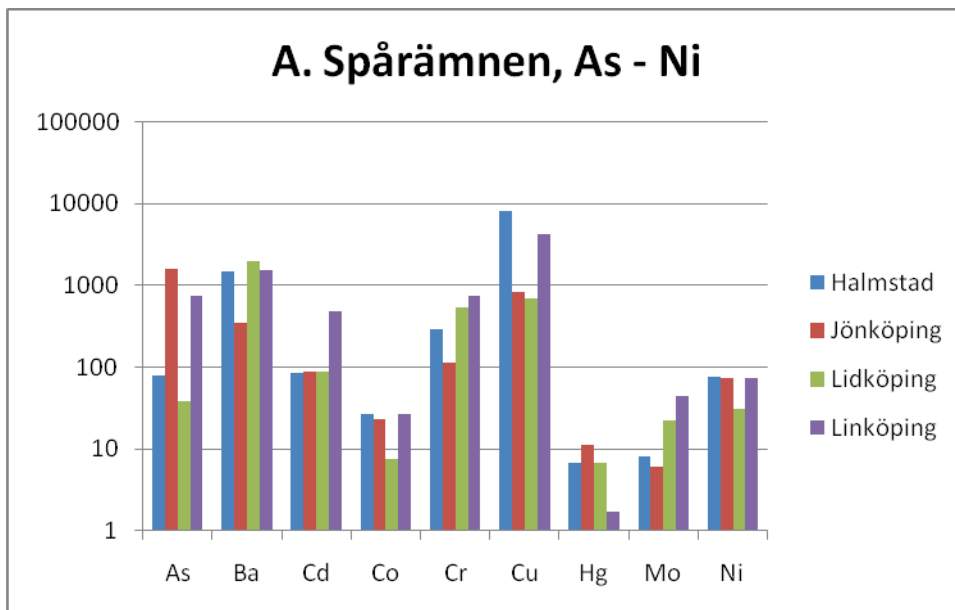
	HALMSTAD	JÖNKÖPING	LIDKÖPING	LINKÖPING
As	78	1600	39	750
Ba	1500	340	2000	1500
Cd	84	89	88	490
Co	27	23	7,4	26
Cr	29	110	540	760
Cu	8200	830	700	4200
Hg	6,7	11	6,8	1,7
Mo	8,1	6,0	23	45
Ni	76	74	31	75
Pb	6800	6400	2800	12000
S	29000	28000	36000	43000
Sb	390	380	740	4000
Sn	450	430	410	2000
Sr	370	230	510	260
V	18	3,40	45	46
Zn	12000	73000	15000	70000
Zr	79	27	87	110

Spårelementen i askorna framgår av Tabell 3. Uppgifterna i Tabell 3 finns också redovisade i Figur 2A och 2B.



Figur 1A och 1B. Makroämnen i de askor som undersökts i viktsprocent. Se texten till Tabell 1 för detaljer.





Figur 2A och 2B. Spårämnen i de askor som undersökts i milligram per kilo.

### 3.2 Lakresultat

Lakning har utförts för de fyra askorna enligt föregående avsnitt under 1, 4 och 17 veckor för askor med hög respektive låg fukthalt. Färsk aska har lakats som jämförelse.

Resultaten av lakningarna redovisas i Tabellerna 4 - 7. Huvuddelen av dessa uppgifter redovisas även i Figurerna 3 - 10. Som närmare framgår av Tabellerna 4 - 7 har indikationen "<", d v s "mindre än" mycket olika betydelse i olika analyser. Därför har samtliga värden under detektionsgränsen utslutits i Figurerna 3 - 10.

Tabell 4. Lakdata för askan från Halmstads Energi och Miljö AB före och efter åldring. Halter i milligram per kilo utom för klorid och sulfat där halten i stället är gram per kilo, allt räknat som torrsubstans.

ANTAL VECKOR	0		1		4		17	
	helt torr	fuktig	torr	fuktig	torr	fuktig	torr	
Vatten	helt torr	fuktig	torr	fuktig	torr	fuktig	torr	
As	< 0,6	< 0,03	< 0,03	< 0,1	< 0,1	< 2	< 2	
Ba	3,7	0,24	0,27	2,0	1,9	2,3	2,1	
Cd	470	82	95	28	260	230	180	
Cr	< 0,3	< 0,005	< 0,005	0,17	0,17	< 1	1,9	
Cu	10,0	7,4	11	0,89	1,5	< 2	< 2	
Hg	0,0031	0,0035	0,0044	0,0018	0,0028	0,0030	0,0039	
Mo	< 0,3	< 0,005	0,0074	0,11	0,078	< 1	< 1	
Ni	1,3	0,18	0,20	0,23	0,24	< 1	< 1	
Pb	110	22	27	23	31	6,0	4,3	
Sb	2,9	0,22	0,25	1,2	1,3	2,1	2,1	
Se	0,14	0,52	0,58	0,20	0,20	0,12	0,12	
Zn	19000	68	610	98	1200	150	100	
Cl	170			150	150	250	250	
SO <sub>4</sub>	57			39	37	18	18	
pH	6,4				7,4			

Tabell 5. Lakdata för askan från Jönköping Energi AB före och efter åldring. Halter i milligram per kilo utom för klorid och sulfat där halten i stället är gram per kilo, allt räknat som torrsubstans.

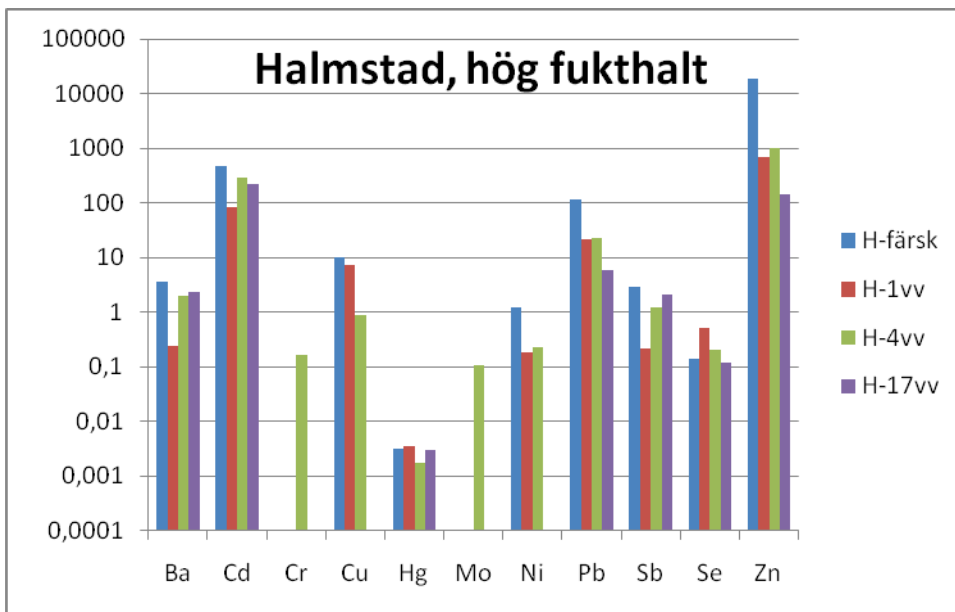
ANTAL VECKOR	0		1		4		17	
	helt torr	fuktig	torr	fuktig	torr	fuktig	torr	
Vatten	helt torr	fuktig	torr	fuktig	torr	fuktig	torr	
As	< 0,2	< 0,002	< 0,03	< 0,1	< 0,1	< 0,07	< 0,08	
Ba	41	4,1	4,1	28	27	20	22	
Cd	0,0056	0,0014	0,001	< 0,001	0,0076	< 0,006	< 0,005	
Cr	0,20	0,028	0,0030	0,28	0,32	0,24	0,29	
Cu	0,36	0,013	< 0,1	0,096	0,16	0,047	0,040	
Hg	0,014	0,00046	0,00050	0,0033	0,0067	0,00094	0,0034	
Mo	1,8	0,2	0,22	1,6	1,7	1,8	1,9	
Ni	< 0,05	0,013	0,013	< 0,01	< 0,01	0,098	0,12	
Pb	240	13	20	50	53	35	29	
Sb	0,013	0,0010	0,0020	0,0033	0,0057	0,0042	0,0046	
Se	0,037	0,035	0,041	0,037	0,051	0,022	0,025	
Zn	67	7,2	8,4	41	52	23	25	
Cl	160			14	140	150	150	
SO <sub>4</sub>	13			4,9	5,0	5,9	6,3	
pH	12				12			

Tabell 6. Lakdata för askan från Lidköpings Värmeverk AB före och efter åldring. Halter i milligram per kilo utom för klorid och sulfat där halten i stället är gram per kilo, allt räknat som torrsubstans.

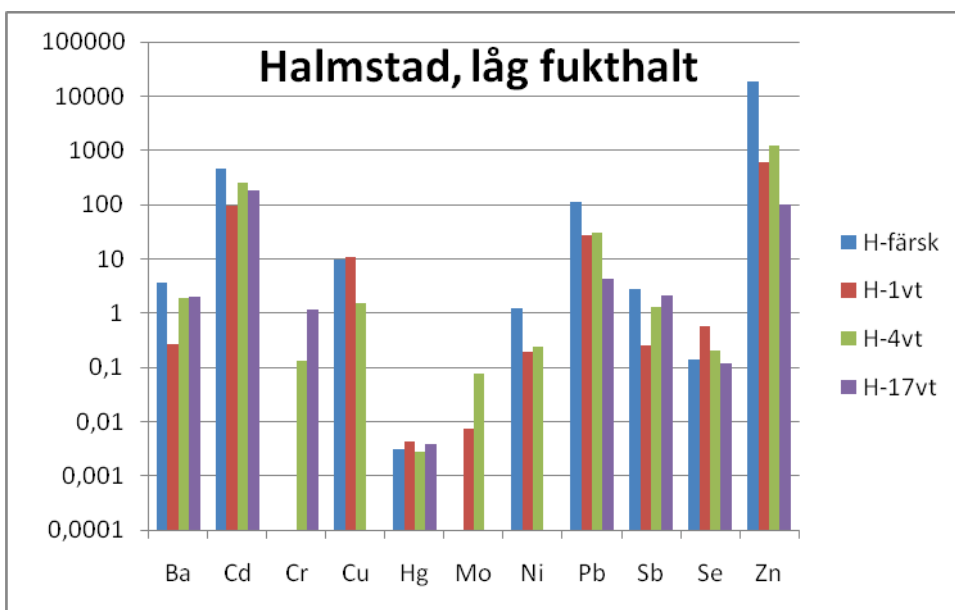
ANTAL VECKOR	0		1		4		17	
Vatten	helt torr	fuktig	torr	fuktig	torr	fuktig	torr	
As	< 0,5	< 0,02	< 0,02	< 0,1	< 0,2	< 0,08	< 0,07	
Ba	21	2,4	2,4	18	17	20	42	
Cd	0,29	< 0,0005	< 0,0005	< 0,001	< 0,003	0,011	0,0006	
Cr	1,3	0,64	0,73	4,2	4,5	0,88	0,41	
Cu	470	0,11	0,18	0,62	2,7	0,43	0,14	
Hg	0,011	0,0019	0,0042	0,0038	0,0049	0,00057	0,00023	
Mo	1,6	0,40	0,40	3,9	3,8	2,5	2,1	
Ni	< 0,3	0,0077	0,011	0,012	0,36	0,021	0,082	
Pb	1200	27	38	72	110	14	8,4	
Sb	< 0,05	< 0,001	< 0,001	0,0023	0,0073	0,0067	0,0082	
Se	0,018	0,11	0,12	0,083	0,094	0,036	0,022	
Zn	78	2,5	3,3	11	12	4,5	2,6	
Cl	150			120	160	160	154	
SO <sub>4</sub>	11			8,7	9,1	2,3	0,77	
pH	12				12			

Tabell 7. Lakdata för askan från Tekniska Verken i Linköping AB före och efter åldring. Halter i milligram per kilo utom för klorid och sulfat där halten i stället är gram per kilo, allt räknat som torrsubstans.

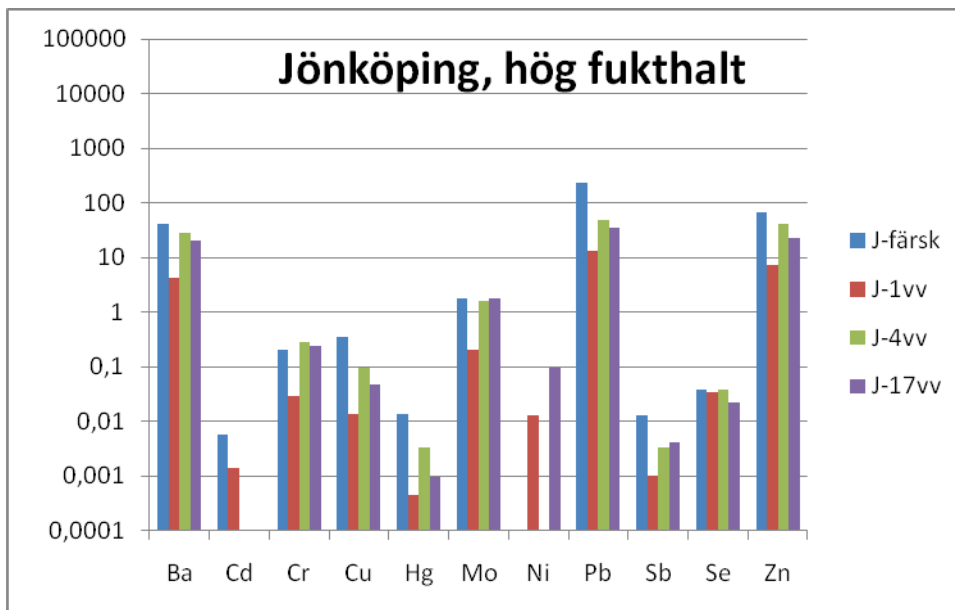
ANTAL VECKOR	0		1		4		17	
Vatten	helt torr	fuktig	torr	fuktig	torr	fuktig	torr	
As	< 0,3	< 0,1	< 0,09	< 0,07	< 0,07	< 0,05	< 0,05	
Ba	4,1	4,7	3,8	3,8	2,5	3,4	4,4	
Cd	52	2,5	7,5	5,0	12	1,2	3,1	
Cr	< 0,1	0,037	0,051	0,014	0,078	0,011	0,0075	
Cu	1,2	0,25	0,23	0,85	0,49	0,13	0,12	
Hg	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,00002	<0,00002	
Mo	0,13	0,69	0,29	0,35	0,17	1,3	0,87	
Ni	1,0	0,049	0,034	0,090	0,021	0,022	0,035	
Pb	34	0,46	0,85	0,80	1,5	0,093	0,17	
Sb	0,075	0,37	0,27	0,20	0,16	0,19	0,20	
Se	0,95	0,63	0,59	0,37	0,37	1,0	0,76	
Zn	7400	6,2	30	16	120	3,7	8,1	
Cl	85			82	85	95	110	
SO <sub>4</sub>	16			11	11	10	11	
pH	6,6				7,6			



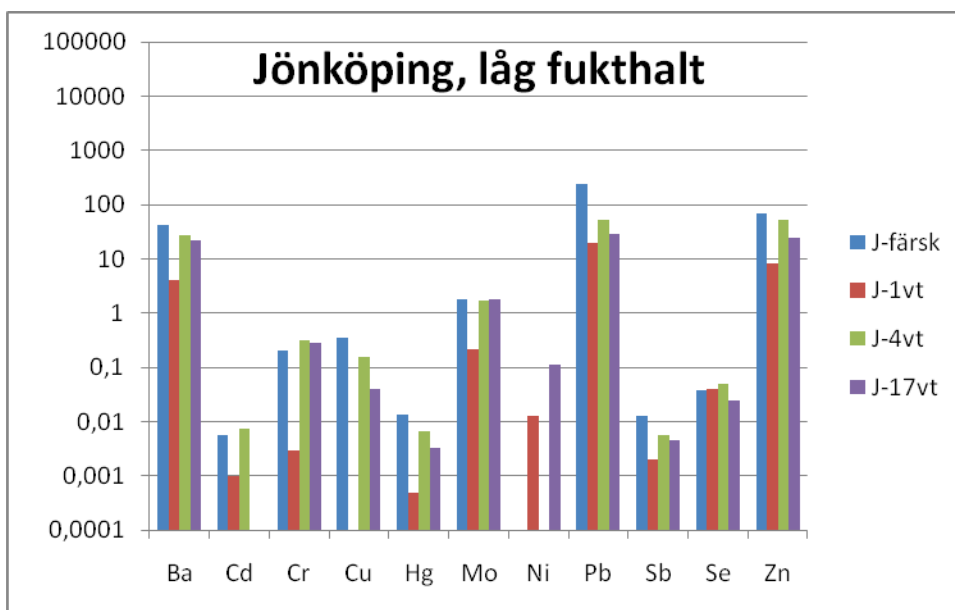
Figur 3. Lakdata (milligram per kilo) för aska från Halmstads Energi och Miljö AB, åldrad med hög fukthalt under 1, 4 och 17 veckor. Data för färsk aska visas också som jämförelse.



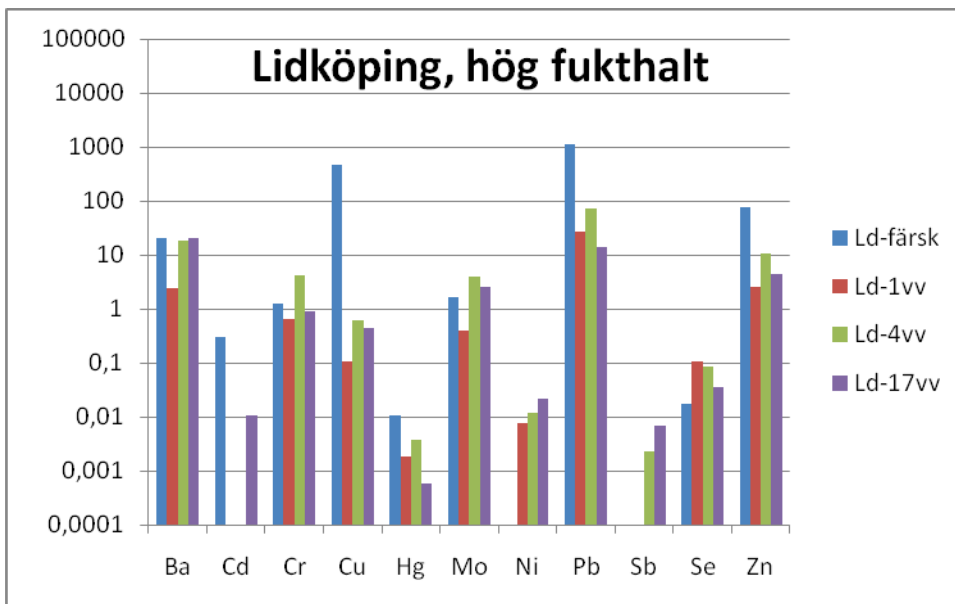
Figur 4. Lakdata (milligram per kilo) för aska från Halmstads Energi och Miljö AB, åldrad med låg fukthalt under 1, 4 och 17 veckor. Data för färsk aska visas också som jämförelse.



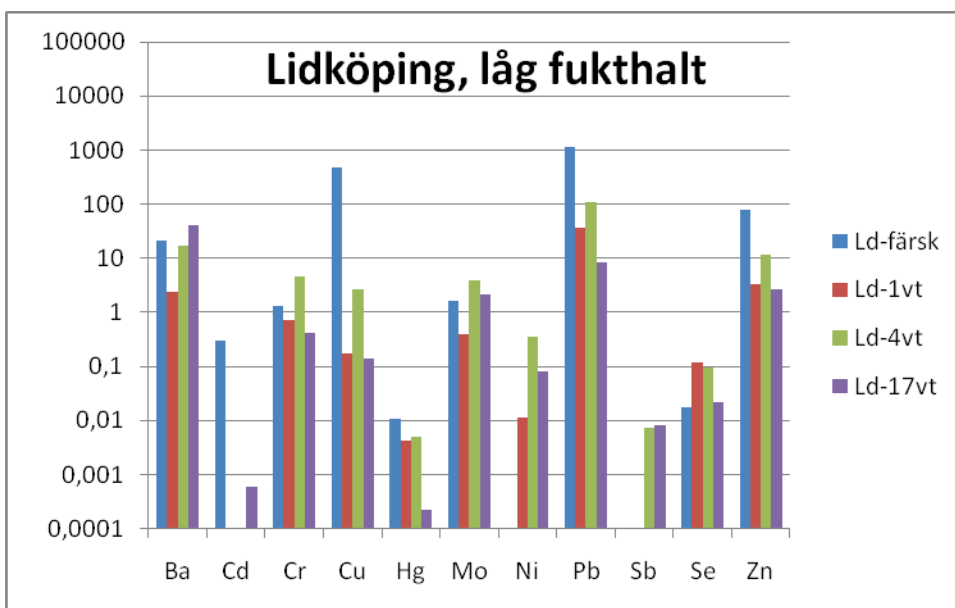
Figur 5. Lakdata (milligram per kilo) för aska från Jönköping Energi AB, åldrad med hög fukthalt under 1, 4 och 17 veckor. Data för färsk aska visas också som jämförelse.



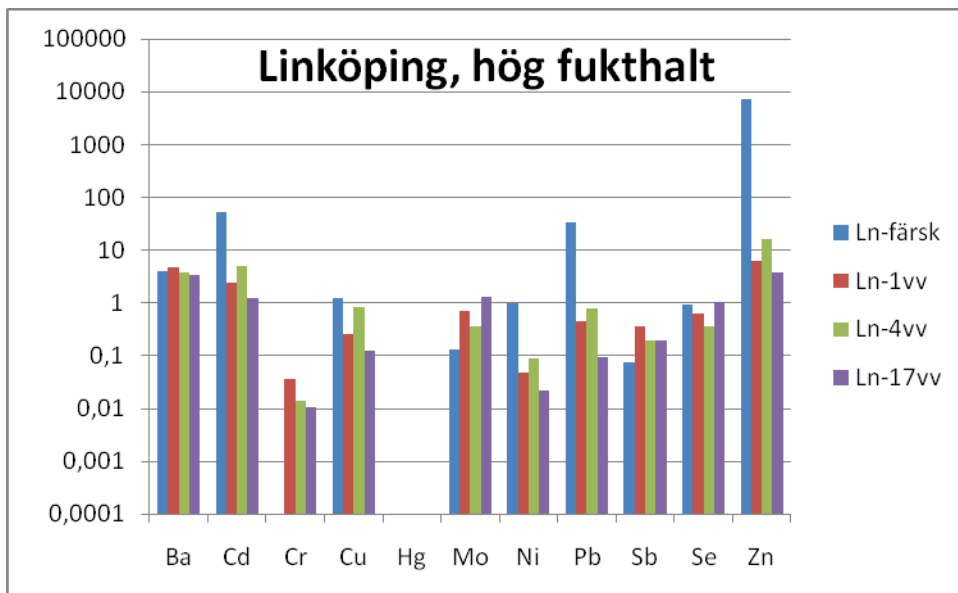
Figur 6. Lakdata (milligram per kilo) för aska från Jönköping Energi AB, åldrad med låg fukthalt under 1, 4 och 17 veckor. Data för färsk aska visas också som jämförelse.



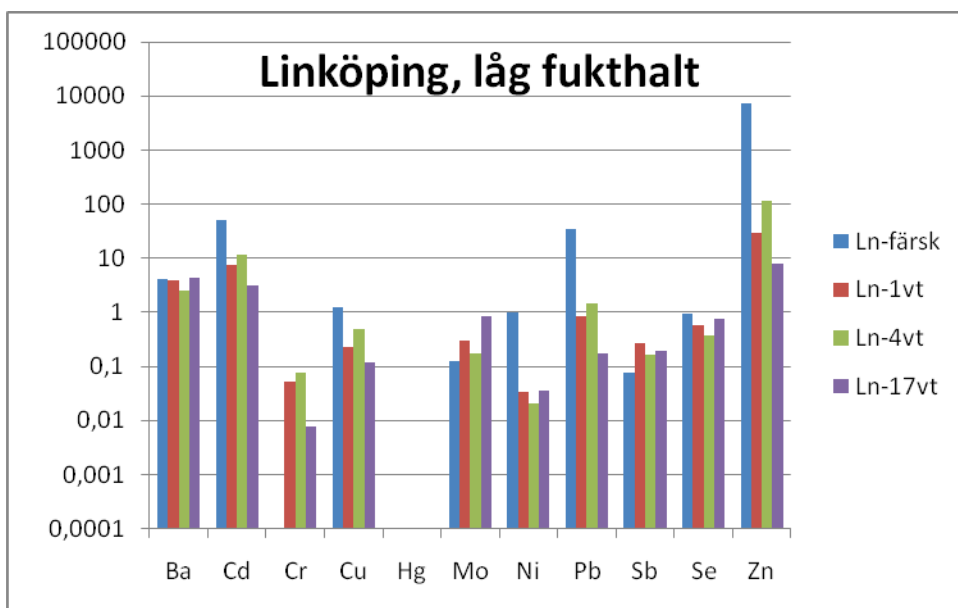
Figur 7. Lakdata (milligram per kilo) för aska från Lidköpings Värmeverk AB, åldrad med hög fukthalt under 1, 4 och 17 veckor. Data för färsk aska visas också som jämförelse.



Figur 8. Lakdata (milligram per kilo) för aska från Lidköpings Värmeverk AB, åldrad med låg fukthalt under 1, 4 och 17 veckor. Data för färsk aska visas också som jämförelse.



Figur 9. Lakdata (milligram per kilo) för aska från Tekniska Verken i Linköping AB, åldrad med hög fukthalt under 1, 4 och 17 veckor. Data för färsk aska visas också som jämförelse.



Figur 10. Lakdata (milligram per kilo) för aska från Tekniska Verken i Linköping AB, åldrad med låg fukthalt under 1, 4 och 17 veckor. Data för färsk aska visas också som jämförelse.

## 4 DISKUSSION OCH SLUTSATSER

### 4.1 Tolkning av data

I denna rapport förs diskussion och dras slutsatser främst utgående från data enligt avsnitten 2 och 3, samt enligt referenserna [4-11] och referenser i dessa.

En jämförelse mellan lakvattnens pH-värden i Tabellerna 4 - 7 och totalanalyserna i Tabell 2 samt uppgifterna om kalktillsats i Avsnitt 2.1 visar att askorna med kalktillsats uppvisar höga pH-värden och askor utan kalktillsats uppvisar neutrala värden. Det totala kalkhalten enligt totalanalyserna förefaller däremot ha en underordnad eller ringa betydelse. Dessa observationer överensstämmer med dem i Referens [12]

Som framgår av Tabellerna 4 - 7 och Figurerna 4 - 10 så går det inte att identifiera några ämnen och askor för vilka lakningen ökar med ökad åldring.

Det kunde därmed vara frestande att dra slutsatsen att tillgängligheten för olika ämnen inte ökar med ökad åldring. Det finns emellertid mekanismer enligt vilka åldringen kan tänkas öka, och ett exempel på en sådan är oxidation av ämnen som vid ett högre oxidationstal kan bilda anjoner. Exempel på sådana ämnen är krom, molybden, vanadin, antimon och arsenik. Det finns emellertid konkurrerande mekanismer, såsom fast löslighet i järnrik fas[11], och sådana kan innebära att lägre oxidationstal stabiliseras trots att miljön är oxiderande.

Slutsatsen är att var och en bör testa sina askor med beaktande av att lakningen kan öka med ökad åldring. Dock bör askorna först åldras under slutna förhållanden så som det sker i bulk. Då får reducerade specier chansen att bindas till t ex järn i fast löslighet. Det är först därefter som det är rimligt att testa beständigheten gentemot oxidation.

För några av ämnena i Tabellerna 4 - 7 och Figurerna 4 - 10 förefaller åldringen ha en mindre betydelse för lakningen. En noggrann genomgång visar emellertid att det i något fall kan handla om att en reducering maskeras av de olika detektionsgränser som angivits. Dessa varierar för de olika proverna som ju skickats in vid olika tillfällen och kanske kommit att analyseras vid olika laboratorier.

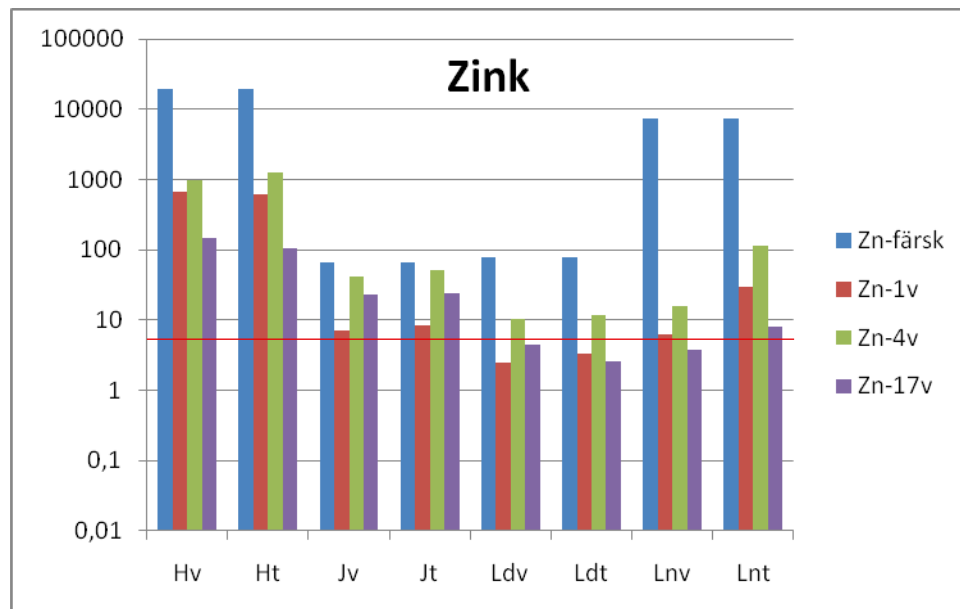
För krom och nickel svarar det mindre-än-värde "<" som angivits för proverna som åldrats den längsta tiden, d v s 1 mg/kg (se Tabellerna 4 - 7) mot en tiondel av gränsen för uppläggning på deponi för icke farligt avfall. Denna precision är möjligen godtagbar för att avgöra frågan om en tilltänkt uppläggning är laglig, men är otillräcklig för syftet med denna rapport. För eventuella fortsatta undersökningar rekommenderas därför att man diskuterar frågan om analysnoggrannhet med sitt laboratorium före man skickar några prover. I Avsnitt 2.3 diskuterades även att filtreringen av laklösningen före analys kan påverka resultatet.

För ytterligare några av ämnena i Tabellerna 4 - 7 och Figurerna 4 - 10 är minskningen av lakningen mycket tydlig och systematisk, se Figurerna 11 - 13 med sammanställningar för zink, bly och koppar. Data i Figurerna 11 - 13 är desamma som i Tabellerna 4 - 7, men med värden under detektionsgräns borttagna. Motiveringen är densamma som tidigare redovisats, nämligen att detektionsgränsen i analysprotokollen är starkt fluktuerande, och att det därför blir missvisande att ha med dem.

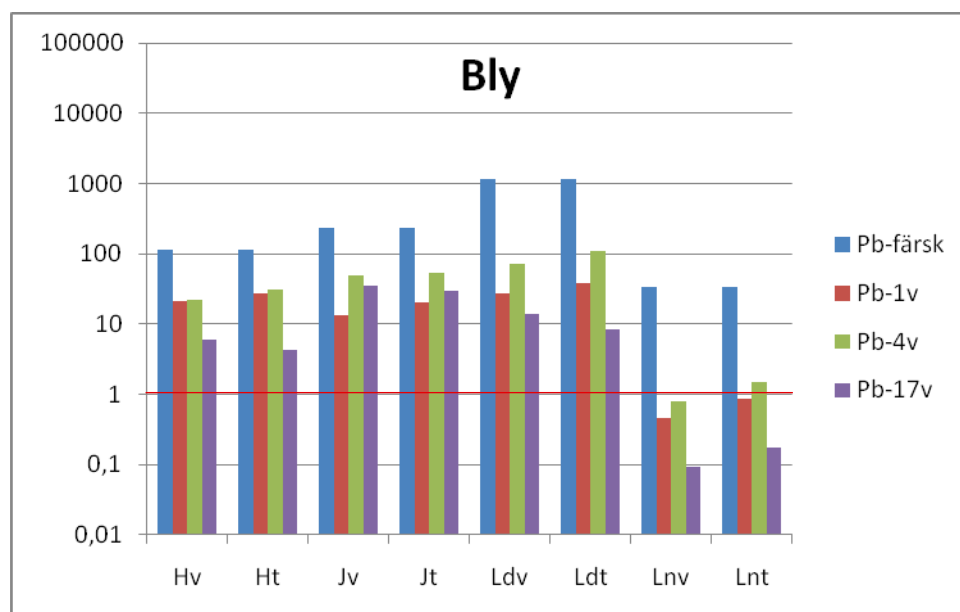


En intressant omständighet är att det är de högsta lakstigheterna som minskar mest med ökad åldring. De största minskningarna är ca en faktor tusen.

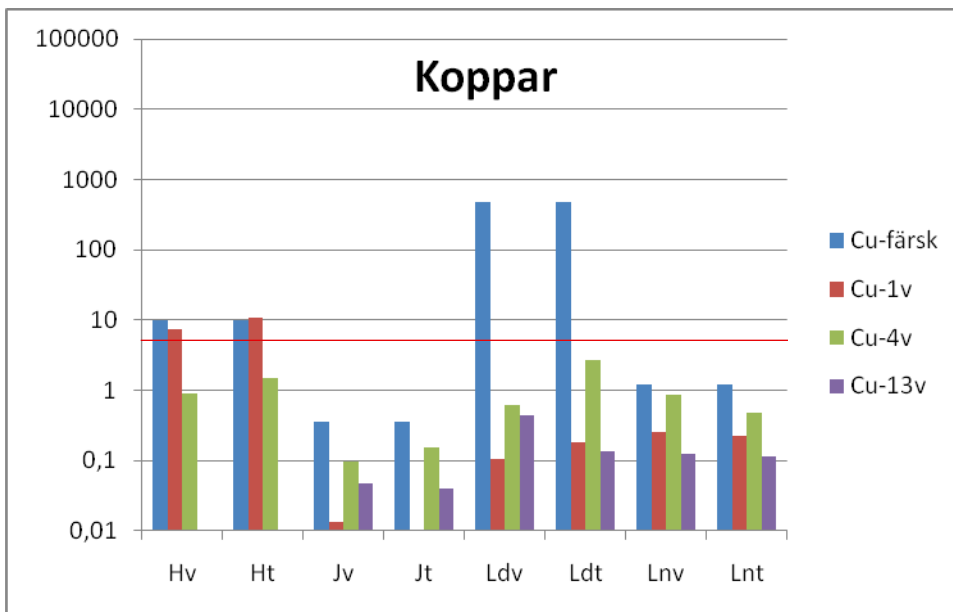
Gränserna enligt Naturvårdsverkets acceptanskriterier[1] för uppläggning på deponi för icke farligt avfall för dessa ämnen är 50 mg/kg för zink, 10 mg/kg för bly och 50 mg/kg för koppar.



Figur 11. Sammanställning av lakdata (milligram per kilo) för zink från icke åldrad aska samt aska som är åldrad 1, 4 och 17 veckor. v = hög fukthalt under åldring och t = låg fukthalt under åldring. H = Halmstad, J = Jönköping, Ld = Lidköping och Ln = Linköping. Den horisontella röda linjen representerar gränsen för uppläggning på deponi för icke farligt avfall enligt Naturvårdsverkets acceptanskriterier NFS 2004:10.



Figur 12. Sammanställning av lakdata (milligram per kilo) för bly från icke åldrad aska samt aska som är åldrad 1, 4 och 17 veckor. v = hög fukthalt under åldring och t = låg fukthalt under åldring. H = Halmstad, J = Jönköping, Ld = Lidköping och Ln = Linköping. Den horisontella röda linjen representerar gränsen för uppläggning på deponi för icke farligt avfall enligt Naturvårdsverkets acceptanskriterier NFS 2004:10.



Figur 13. Sammanställning av lakdata (milligram per kilo) för koppar från icke åldrad aska samt aska som är åldrad 1, 4 och 17 veckor. v = hög fukthalt under åldring och t = låg fukthalt under åldring. H = Halmstad, J = Jönköping, Ld = Lidköping och Ln = Linköping. Den horisontella röda linjen representerar gränsen för uppläggning på deponi för icke farligt avfall enligt Naturvårdsverkets acceptanskriterier NFS 2004:10.

I flera fall innebär åldringen att dessa värden kan underskridas eller överskridas endast obetydligt.

Det bör observeras att de kraftiga sänkningarna av lakningen av zink kommit till stånd trots att villkoren om överskott av järn för bildning av franklinit eller motsvarande enligt Referens [9] i flera fall inte är uppfyllda.

Den exakta fukthalten i vätningen inför åldringen förefaller ha en underordnad roll. I något fall förefaller åldringen ske snabbare (och lakningen minska snabbare) vid en högre fukthalt.

## 4.2 Övriga slutsatser

Som framgår redan i inledningen till denna rapport är det inte lämpligt att testa askor m a p lakning förrän de åldrats. Denna tidigare slutsats har i hög grad förstärkts av de resultat som erhållits.

Det är lämpligt att askor åldras på likartat sätt jämfört med vad som händer i ett upplag, d v s i bulk. Ett enkelt och korrekt sätt att simulera bulkbetingelser är att åldra aska med vatten i en glasburk med järnlock och med en packning emellan, d v s i en vanlig syltburk. Notera att en syltburk är särskilt utformad just för att förhindra utbyte med omvärlden.

Det är viktigt att vattentillsatsen innebär överskott med avseende på fritt vatten. Hur mycket som behövs kan vara svårt att bedöma, och en hel del vatten kan gå åt för att t ex hydratisera kalciumoxid (bränd kalk). Eftersom kalciumoxid förekommer som blandoxid i askan kan det hända att den hydratiserar betydligt långsammare jämfört med kommersiell bränd kalk, som är mycket ren.

Det är också viktigt att vattentillsatsen inte heller blir för stor så att fritt vatten förekommer ovanför askan. I sådana fall finns det en risk att detta vatten inte kommer med när ett lakningen sedan ska göras, vilket kan resultera i alltför låga värden.

Man ska således eftersträva att det finns fritt vatten, men att allt sådant vatten finns i askans porsystem.

Enligt Tekedos erfarenhet är den vattenmängd som olika askor kräver mycket starkt varierande. Bottensand från fluidbäddpannor kräver en mycket liten vattentillsats, medan flygaskor, så som i denna rapport, kräver betydande mängder, se Avsnitt 2.

Rätt mängd kan erhållas genom erfarenhet samt småförsök. Vid osäkerhet rekommenderas att göra som i denna rapport, nämligen att testa två halter och se om det blir någon påtaglig skillnad.

Eftersom de vattenhalter som testats i denna rapport var ganska olika, och eftersom resultaten ändå blev ganska lika kan man dra slutsatsen att det antagligen inte är så känsligt med exakt rätt blandningsförhållanden som det kanske kan förefalla enligt texten ovan.

Åldringen bör ske vid rumstemperatur och i dämpad belysning eller i mörker. Den bör äga rum under minst en vecka, och helst under mer än en månad.

## 5 REFERENSER

1. Naturvårdsverkets föreskrifter om deponering, kriterier och förfaranden för mottagning av avfall vid anläggningar för deponering av avfall. Naturvårdsverket, NFS 2004:10.
2. Steenari B-M. *Chemical properties of FBC ashes*. Doctoral dissertation. Department of Environmental Inorganic Chemistry, Chalmers University of Technology, Göteborg, 1998. ISBN 91-7197-618-3.
3. Andreas L. Institutionen för samhällsbyggnad och naturresurser, Luleå Tekniska Universitet, Luleå. *Opublicerade resultat*.
- 4a. Adler P, Haglund J-E och Sjöblom R. *Vägledning för klassificering av förbränningsrester enligt Avfallsförordningen*. Värmeforsk, Miljöriktig användning av askor, Rapport 866, 2004.
- 4b. Adler P, Haglund J-E och Sjöblom R. *Vägledning vid klassificering av förbränningsrester enligt Avfallsförordningen*. RVF Utveckling 2005:01 (Identisk med värmeforskrapporten ovan).
5. Sjöblom R, Tham G, Haglund J-E and Sjö C. *Environmental qualification of ash from wood-based recycled fuels for utilization in covers for landfills*. Kalmar ECO-TECH'05 and the Second Baltic Symposium on Environmental Chemistry. Kalmar, Sweden, November 28-29, 2005.
6. Sjöblom R, Tham G, Haglund J-E and Claes Ribbing. *Classification of waste according to the European Union Directive 91/689/EEC on hazardous waste from a Swedish application perspective*. CIWM Conference 12-16 June 2006, Paignton, Torbay, United Kingdom.
7. Sjöblom, R. *Cesium-137 i aska från förbränning av biobränslen. Tillämpning av Strålsäkerhetsmyndighetens regler*. Värmeforsk, Miljöriktig användning av askor 1080, januari, 2009.
8. Sjöblom, R. *Tillämpning av avfallsförordningen SFS 2001:1063; Bidrag till kunskapsbasen avseende förbränningsrester*. Värmeforsk. Miljöriktig användning av askor. Rapport nummer 1103, mars 2009.
9. Sjöblom R. *Underlag för val av referenssubstans för zink inför klassning enligt Avfallsförordningen*. Avfall Sverige. Rapport F2007:03. ISSN 1103-4092.
10. Svensson, M., Sjöblom, R., Hermann, I. och Ecke, H. *Selektiv mobilisering av kritiska element hos energiaskor*. Miljöriktig användning av askor 931, maj, 2005.
11. Sjöblom R. *Betydelsen av fast löslighet i järn(hydr)oxider för fastläggning av potentiellt miljöstörande ämnen i askor*. Kommer att publiceras av Värmeforsk.
12. Karlfeldt Fedje K. *Metals in MSWI fly ash - problems or opportunities?* Doctoral dissertation. Division of Environmental Inorganic Chemistry, Chalmers University of Technology, Göteborg, 2010. ISBN 978-91-73895-386-6.





# RAPPORTER FRÅN AVFALL SVERIGE 2011

## AVFALL SVERIGES UTVECKLINGSSATSNING

- U2011:01 På spåret. Transporter av avfall på järnväg – en möjlighet?
- U2011:02 Förebygga avfall med kretsloppsparkar. Analys av miljöpåverkan.
- U2011:03 Biogödsselförädling - Tekniker och leverantörer
- U2011:04 Nationell kartläggning av plockanalyser av hushållens kärll- och säckavfall
- U2011:05 Goda exempel på förebyggande av avfall för kommuner
- U2011:06 Med blicken mot 2020  
Omvärldsanalys och scenarier för kommunernas roll i framtidens avfallshantering
- U2011:07 Byggande och anläggande på och i anslutning till gamla avfallsupplag  
Problem och möjliga lösningar avseende gassäkerhet och andra frågeställningar
- U2011:08 Förstudie av olika system för matavfallsutsortering med avfallskvarnar
- U2011:09 Bedömning av långtidsegenskaper hos tätskikt bestående av flygaskstabiliserat avloppsslam, FSA - Beständighet, täthet och utlakning
- U2011:10 Viktbaserad avfallstaxa - en litteraturöversikt
- U2011:11 Volymvikter för avfall
- U2011:12 Handbok metanpotential
- U2011:13 Miljöeffekter av polymerer inom biogasbranschen. Förstudie
- U2011:14 Kartläggning av vittrings- och korrosionsskador på biologiska behandlingsanläggningar, Etapp II. Tätskikt på betong – State of the Art
- U2011:15 Avfallshantering i några utvalda europeiska länder. En jämförande studie
- U2011:16 Strategi för biogödsel och kompost
- U2011:17 Förbättring av bottenaskors kvalitet
- U2011:18 Värdering och utveckling av mätmetoder för bestämning av metanemissioner från biogasanläggningar – Litteraturstudie
- U2011:19 Hjälpmiddel för introduktion av system för insamling av källsorterat matavfall
- U2011:20 Servicenivå för insamling av hushållens farliga avfall och grovavfall  
- Goda exempel och rekommendationer
- U2011:21 Avfall Web - för din skull!  
En idébank till Avfall Web's funktioner och möjligheter
- U2011:22 Lämplig metodik för grundläggande karakterisering av aska för acceptans på deponi

## AVFALL SVERIGES UTVECKLINGSSATSNING, BIOLOGISK BEHANDLING

- B2011:01 Handbok metanmätningar

## AVFALL SVERIGES UTVECKLINGSSATSNING, DEPONERING

## AVFALL SVERIGES UTVECKLINGSSATSNING, AVFALLSFÖRBRÄNNING

- F2011:01 Mätvärdeshantering vid avfallsförbränningsanläggningar  
med anledning av avfallsförbränningsdirektivet
- F2011:02 Measurements of suspended solids  
– How does the salt content and the quantity of rinsing water affect the result?

*“Vi är Sveriges största miljörelse. Det är Avfall Sveriges medlemmar som ser till att svensk avfallshantering fungerar - allt från renhållning till återvinning. Vi gör det på samhällets uppdrag: miljösäkert, hållbart och långsiktigt. Vi är 12 000 personer som arbetar tillsammans med Sveriges hushåll och företag.”*



Avfall Sverige Utveckling U2011:22

ISSN 1103-4092

©Avfall Sverige AB

Adress Prostgatan 2, 211 25 Malmö  
Telefon 040-35 66 00  
Fax 040-35 66 26  
E-post [info@avfallsverige.se](mailto:info@avfallsverige.se)  
Hemsida [www.avfallsverige.se](http://www.avfallsverige.se)