

Förstudie – halmaska i ett kretslopp

Peter Ottosson, Henrik Bjurström, Christina Johansson, Sven-Erik Svensson och Jan Erik Mattsson

Förstudie – Halmaska i ett kretslopp

Pre-study – Straw ash in a nutrient loop

Peter Ottosson, Henrik Bjurström, Christina Johansson,
Sven-Erik Svensson och Jan Erik Mattsson

Q6-662

Abstract

This report aims at presenting the basis for recycling ash from energy crops, primarily straw ash, to the agricultural soil from which the biomass has been harvested. The Danish experience with recycling ash is reviewed and the composition of ash with respect to nutrients and trace elements is reviewed. A balance is computed and recommendations for methods to recycle straw ash in Sweden are given.

Sammanfattning

En uthållig produktion av energigrödor kräver att bortförelsen av de minerogena växtnäringssämnen med biomassan kompenseras naturligt eller genom ett tillskott av växtnäring. Återföring av askan till åkermark är ett naturligt sätt att tillfredsställa behovet efter bortförelse och förbränning av energigrödor. I denna förstudie har förutsättningarna för återföring av halmaska undersökts.

Den danska erfarenheten med spridning av halmaska till åkermark och informationen i litteraturen om askans sammansättning har sammanställts. Genom att ta prover av vetehalm från fyra platser i Skåne och analysera dem har kadmiumhalten och växtnäringssinnehållet i halmen och därmed i askan bestämts. En balans för bortförelse av växtnäring och kadmium med vetehalmen och återföring med halmaskan har ställts upp.

Halmaska är ett kaliumgödselmedel med en viss fosfor- och kalkverkan. Det är rent tekniskt svårt att sprida så små mängder halmaska i fast form, ca 250 kg per hektar och år i medeltal, vilket en ren återföring innebär. Det är lättare att sprida en större mängd, t ex ca 1 ton halmaska vart fjärde år, dvs vid ett spridningstillfälle i en fyraårig växtföljd, men då tillförs för mycket kalium jämfört med den kommande grödans behov vid detta spridningstillfälle, vilket kan leda till utlakning av kalium på lätta jordar.

Alternativt kunde man sprida endast bottenaskan, men detta leder till att ungefär hälften av kaliuminnehållet i halmen inte återförs till åkermark utan förloras genom att flygaskan omhändertas på annat sätt. Om man kan sprida 500 kg bottenaska per hektar vartannat år, vilket bör vara en lämplig strategi för att inte sprida för mycket kalium vid varje spridningstillfälle, så beräknas följande mängd växtnäring tillföras per hektar: 4 – 12 kg fosfor, 50 – 110 kg kalium, 5 – 14 kg svavel, 3 – 8 kg magnesium, 0,1 - 0,3 kg mangan samt 20 – 40 kg CaO per hektar. Dessa beräkningar bygger på de analyser som utförts på vetehalm inom projektet.

Kadmiumhalten var betydligt högre i vetehalm från gårdar med högre kadmiumhalt i matjorden. För att undvika att en gård med låg kadmiumhalt i halmen får aska med hög halt kan man elda områdesvis och återföra områdesvis, eller inte hämta halmen från gårdar med hög kadmiumhalt i jorden, eller sprida endast bottenaskan. Om flygaskan inte utnyttjas förloras dock en betydande del av kalium, ca 50 %.

Slutsatsen är att återföring av halmaska till åkermark kan genomföras och arbetet med att utveckla den bör fortsätta efter denna förstudie.

Denna förstudie behöver utvecklas på flera punkter:

- Hur återföra en liten mängd fast aska till åkermark, med minsta negativa påverkan i övrigt. Spridningsutrustning för halmaska har tidigare granskats i några svenska undersökningar, och innan man går vidare bör ytterligare information inhämtas, bl a om utländska maskiner för spridning av halmaska
- Utprovningen av kalkspridare, modell rörspridare, för spridning av agglomererad aska (t ex självhärdad, krossad och siktad halmaska)

- Eftersom askan fasas in som ett gödselmedel bör en beräkningsmetod för askgivor tas fram. Det innebär bl a en analys av växttillgänglighet hos kalium och fosfor.
- Växttillgängligheten för kadmium bör belysas för att bedöma var i växtföljden askan bör tillföras, så att risken för upptag av kadmium i växterna minimeras
- Om man väljer att endast återföra bottenaska bör man fortsätta utreda möjligheten att utvinna kalium från flygaskan, eftersom ca 50 % av kaliuminnehållet finns där

Nyckelord: halmaska, återföring, spridning, gödsel, förstudie

Summary

A sustainable production of energy crops requires that the loss of mineral nutrients when removing biomass is compensated naturally or by an addition of plant nutrients. Recycling ash is a natural way to satisfy this need arising after combustion of energy crops. In this pre-study, the prerequisites for recycling straw ash have been investigated.

The Danish experience with spreading ash to fields and information in literature on the composition of ash have been collected and presented. Analysis of straw samples taken from four different places in Scania yielded information on cadmium and nutrient concentration in straw and in ash. A balance between removal of nutrient and cadmium with wheat straw and restoring them by recycling straw ash has been computed.

Straw ash is a potassium fertiliser with some phosphorus and some liming effect. It is technically difficult to spread the small quantities of ash in solid form, ca 250 kg per hectare and year in average, which a pure recycling would require. It is easier to spread larger quantities, *e.g.* ca 1 ton per hectare every fourth year, which corresponds to spreading once in a four year crop rotation, but then one provides too much potassium if one considers the actual needs of the coming crops at that occasion, which could lead to potassium being leached out on light soils.

Alternatively, one could spread only bottom ash, but this would lead to half of the potassium content not being recycled to agricultural soil and lost with the fly ash that is disposed of. If one spreads ca 500 kg bottom ash per hectare every other year, which could be a suitable strategy to avoid overloading soils with potassium, the dose brought to 1 ha may be computed as: 4 – 10 kg phosphorus, 50 – 100 kg potassium, 5 – 15 kg sulphur, 4 – 8 kg magnesium, 0.1 – 0.3 kg manganese and 20 – 40 kg CaO. These basis of these calculations is the results from the analyses performed in this study.

The cadmium concentration was significantly higher in wheat straw from soils with higher cadmium content. To avoid that a farm with a low cadmium concentration in the straw receives ash with a high content, one could combust area-wise and recycle area-wise, or choose not to fetch straw from farms with high cadmium contents in soils, or spread only bottom ash. However, if fly ash is not utilised, a large part of the potassium is lost.

The conclusion is that recycling of straw ash to fields is feasible and development work should continue after this pre-study.

The pre-study need to be developed in the following areas:

- Means to spread a small quantity of ash to fields, with as small a negative effect as possible. Machines for spreading straw ash have been studied in some Swedish investigations, and before proceeding further one should gather additional information, *a.o.* on foreign machinery for spreading straw ash
- Test lime spreading techniques, pipe model, for agglomerated ash (wet, cured, crushed and sieved straw ash)

- As ash is a fertiliser, a method to calculate doses should be developed. This implies *a.o.* an analysis of potassium and phosphorus available to plants
- The availability of cadmium to plants should be studied in order to determine in which phase of a crop rotation ash should be returned in order to minimize the risk that plants take up cadmium
- If one chooses to recycle only bottom ash, one should continue to investigate means to extract potassium from fly ash, as ca 50 % of the potassium content is in the fly ash

Keywords: straw ash, recycling, spreading, fertiliser, pre-study

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	1
1.1	BAKGRUND	1
1.2	FORSKNINGSUPPGIFTEN OCH DESS ROLL INOM FORSKNINGSOMRÅDET	1
1.3	MÅL OCH MÅLGRUPP	2
1.4	UPPDRAGETS GENOMFÖRANDE	3
2	DANSK HALMELDNING	4
2.1	REGELVERKET FÖR SPRIDNINGEN AV ASKA	4
2.2	UTFÖRDA UTREDNINGAR	6
2.3	RENING AV FLYGASKAN	7
2.4	SPRIDNING AV ASKAN	10
3	SVERIGE OCH ANDRA LÄNDER	13
3.1	SVERIGE	13
3.2	ANDRA LÄNDER	13
4	ASKANS SAMMANSÄTTNING	16
4.1	UPPGIFTER FRÅN DATABASER	16
4.2	UPPGIFTER FRÅN BL A ORIGINALLITTERATUR	19
4.3	EXPERIMENTELLA DATA	21
5	NÄRINGSBALANS OCH BELASTNING MED TUNGMETALLER	25
5.1	BALANS I KRETSLOPP OCH PRODUKTION	25
5.2	KALIUM, FOSFOR OCH ASKGIVA	25
5.3	SPÅRÄMNE	27
5.4	FÖRSLAG TILL STRATEGI FÖR ÅTERFÖRING AV HALMASKA	27
6	RESULTATANALYS	28
6.1	ÅTERFÖRING, KALIUM	28
6.2	SPÅRÄMNE	29
6.3	EN UPPSLUTNINGSFRÅGA	31
7	SLUTSATSER	32
8	REKOMMENDATIONER OCH FÖRSLAG TILL FORTSATT ARBETE	33
9	LITTERATURREFERENSER	34

Bilagor

A PRIMÄRDATA FRÅN HALMANALYSERNA

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Liksom för skogsbränslen kräver en uthållig produktion av åkerbränslen, däribland stråbränslen, att växtnäringens uttag med bränslet kompenseras naturligt eller genom ett tillskott av växtnäring. Omloppstiden är mycket kortare: ett år för t ex halm, några år för Salix jämfört med skogsbränslets 60 till 100 år. Återföring av askan är i detta sammanhang ett naturligt sätt att ombesörja att de minerogena växtnäringensämnen (utom kvävet) blir tillgängliga igen.

Småskalig spridning av aska efter eldning av halm sker idag på gårdsnivå. En storskalig spridning av aska från en storskalig eldning kräver en betydligt vidare förankring. Naturligtvis går det att använda denna halmaska till produktion av åkerbränslen utan anknytning till livsmedel, t ex i Salixodlingar men kretsloppet blir haltande.

Stråbränslen som halm är ett vanligt bränsle i Danmark. Mer än en miljon ton eldas varje år och man uppskattar att det finns ytterligare en miljon ton som kan utnyttjas på detta sätt. Spridningen av halmaska regleras sedan 2000 av en kungörelse [1]. Kadmiuminnehållet är den mest kritiska faktorn, vilket innebär att bottenaska sprids, medan flygaska ofta deponeras.

Lunds Energi planerar f n för ett nytt kraftvärmeverk baserat på förnyelsebara bränslen som preliminärt kommer att lokaliseras till Örtofta: Eslöv Lund Kraftvärmeverk. I en av de två planerade pannorna (en 45 MW_{th} rosterpanna) kommer ca 80 000 ton halm per år att användas som huvudsakligt bränsle. Med en askhalt på ca 5 % blir mängden halmaska ca 4 000 ton per år.

Detta askflöde utgör därmed ett pilotfall för nyttjandet av halmaskan från större kraftvärmeverk med rosterpanna. Erfarenheten i Danmark kan användas för att förkorta tiden det tar att utreda och etablera en återföring av halmaska i Sverige. Den praktiska bränslepotentialen hos halm i Sverige uppskattas till ca 1 miljon ton (4 TWh), se bl a [2], vilket skulle innebära en framtida produktion över hela landet på ca 50 000 ton halmaska per år.

1.2 Forskningsuppgiften och dess roll inom forskningsområdet

Denna utredning syftar till att etablera förutsättningar för en återföring av aska efter förbränning av åkerbränslen i rosterpanna, i första hand halm, till växtplatsen. Målet är i denna förstudie att sammanställa faktaunderlaget.

De förutsättningar som antas gälla är:

- Att uttaget av halm tär på markens växtnäringsstatus och produktionsförmåga på lång sikt
- Att halmaskan är en lämplig kompensation för uttaget av växtnäringsämnen alternativt kan reducera användningen av konstgödsel ur ändliga naturresurser
- Att halmaskan kan återföras till spannmålsproducerande arealer

I utredningen ingår likväl att pröva dessa förutsättningar. Det kan vara så att dessa inte kan infrias. En alternativ användning i odling av energigrödor i stället för odling av spannmål (livsmedel) är en reservlösning som bedöms vara enklare att genomföra.

I utredningen ingick ursprungligen följande arbetsmoment:

- Kartläggning av den danska erfarenheten
- Förberedande undersökningar
- Framtagning av en balans för växtnäringsämnen och störande miljöämnen för halm
- Dialog med bränsleleverantörer, lantbrukare och myndigheter

Förutsättningarna för detta projekt har dock ändrats under 2008: investeringen i en halmpanna har skjutits på framtiden. Den planerade dialogen med bränsleleverantörer, lantbrukare och myndigheter för pilotfallet Örtofta är inte meningsfull för närvarande och har utgått ur projektet. I stället bör denna dialog inledas när Eslöv Lund Kraftvärmeverk fattar beslutet att fortsätta med denna investering.

För utredningen gäller följande förbehåll:

- Halm och stråbränslen är kända som problematiska bränslen med avseende på bildningen av beläggningar. I uppdraget ingår inte någon utredning av beläggingsbildning eller andra problem inom en förbränningsanläggning. Produktionsfrågor som pressningen av halmen till balar eller pellets och logistiken för halm ingår inte heller i uppdraget.
- Kväve är det växtnäringsämne som inte kommer att kunna återföras med aska. Ett restmaterial som slam skulle delvis kunna komplettera aska ur kvävesynpunkt. Då slamspridning leder till en ny uppsättning frågor kommer inte möjligheten att samsprida aska och slam att beaktas i denna förstudie.

1.3 Mål och målgrupp

Projektets mål är ett underlag för diskussioner om nyttjandet av halmaska, vilka diskussioner förutsätts leda till en koncensus om ett förfarande. Underlaget utgörs huvudsakligen av en sammanställning av befintlig information med några kompletterande mätningar.

Målgruppen för denna rapport är alla intressenter i nyttjandet av åkerbränslen till energiproduktion: lantbrukare som producenter av åkerbränslen, bränsleleverantörer, energianläggningar, miljömyndigheter m fl.

1.4 Uppdragets genomförande

Utredningen genomfördes som ett samarbete mellan Lunds Energi, SLU i Alnarp och ÅF-Consult. Peter Ottoson vid Lunds Energi var projektansvarig. Från SLU Alnarp har Jan Erik Mattsson, Christina Johansson och Sven-Erik Svensson deltagit. Från ÅF-Consult har Henrik Bjurström deltagit i uppdraget.

Utredningen har finansierats av:

- Värmeforsk, delprogrammet ”Miljöriktig användning av askor”
- Partnerskap Alnarp vid SLU
- Eslöv Lund Kraftvärme AB

Förstudien har följts å Värmeforsks vägnar av en referensgrupp som bestått av:

- Christel Gustafsson, Jordbruksverket
- Caroline Göthlin, Vattenfall Research & Development
- Christina Marmolin, Hushållningssällskapet Skara
- Claes Ribbing, Värmeforsk
- Eva Salomon, JTI
- Håkan Walldén, Lantmännen Energi

2 Dansk halmeldning

Halm eldas i tre typer av anläggningar:

- Jordbruksanläggningar
- Fjärrvärmeanläggningar
- Kraftvärmeanläggningar

Broschyren "Straw for energy production" från Videntcenter for Halm- og Flisfyring anger att 58 fjärrvärmeanläggningar och 8 kraftvärmeverk använder halm som bränsle per 1998 [3]. Dansk Fjernvarmes statistik för 2006/07 anger ett fyrtiotal medlemsföretag som använt halm som bränsle, varav 25 har halm som huvudsakliga eller enda bränsle.

Enligt Hansen [4] producerades 13 440 t aska i fjärrvärmeverk ur ca 250 000 t halm år 2000. Den största mängden spreds på jordbruksmark och en mindre del deponerades, 2 700 t. Den deponerade delen utgörs troligen av flygaska.

Dansk Fjernvarmes statistik för 2006/07 anger att halm stod för 1 183 GWh energitillförsel. Med ett värmevärde på ca 3,7 MWh/t¹ och en askhalt på 5 % skulle det innebära en förbrukning av 323 000 ton halm och en produktion på 16 000 t aska.

Hansens uppgifter för större kraftvärmeverk är 14 230 t producerad aska varur 4 300 t deponeras [4]. De verk som beskrivs är Enstedverket, Måbjergverket, Rudkøbing, Haslev, Slagelse, Masnedø samt Maribo-Sakskøbing. Enstedverket, Måbjergverket och Masnedø blandade halmen med flis.

Halm köps in från lantbrukare med villkoret att lantbrukaren tar tillbaka en mängd halmaska som motsvarar den halm som levererats.

2.1 Regelverket för spridningen av aska

Inledningsvis torde spridningen av aska ha varit fri, av tidningsartiklar och bakgrundsbeskrivningar i rapporter att döma. Den första regleringen kom med Slambekendtgørelsen² BEK 736 från den 26 oktober 1989 för avfall, huvudsakligen slam, men även askor. Tillstånd måste sökas från Amtstyrelsen för varje objekt. I en kartering av askor från värmeverk 1994 framkom att varken halm- eller träaskorna klarade generellt gränsvärdet för kadmium på 1,2 mg/kg TS, inte heller ett gränsvärde för kadmium beräknat med hänsyn till fosforhalten [5]. Askorna klarade gränsvärdena för bly och kvicksilver. Gränsvärdena skulle dessutom skärpas efter årskiftet 1994/1995, vilket skapade problem för även innehållet av nickel. Den uppdaterade slamkungörelsen BEK 823 den 16 september 1996 med ändringar 1997 begränsar kadmiumhalten i avfallet som sprids ut till 0,8 mg/kg TS, vilket utesluter många askor. Dessutom skulle gränsvärdet halveras den 30 juni 2000.

¹ Hinnerup Fjernvarme anger på sin hemsida att 15 000 t halm användes för att producera 55 GWh.

² Danska ordet bekendtgørelse motsvarar svenska ordet kungörelse

En reglering som är bättre anpassad till kretsloppstanken kom 2000 med Bioaskebekendtgørelsen BEK nr 39 den 20 januari 2000 [1]. I korthet innebar detta att gränsvärdet för kadmium för aska till åkermark lyftes från 0,4 mg/kg till 5,0 mg/kg.

Den första uppdateringen BEK nr 1636 kom den 13 december 2006 i samband med en administrativ omorganisation av danska offentliga förvaltningen vid årsskiftet 2006/2007 [6]. Ändringarna omfattade huvudsakligen bytet av tillstånds- och tillsynsmyndighet från amt till storkommun. Före och även efter uppdateringen är kungörelsen tämligen svårläst varför Dansk Fjernvarme gav ut en vägledning [7]. Kungörelsen har redigerats under 2007 för bättre läsbarhet och nu gällande är BEK 818 den 21 juli 2008 [8].

I bränslet som ger upphov till aska får ingå:

- Råträ, bl a bark, skogsflis, obehandlade sågverksrester och flis från energiskogar
- Rent trä (inklusive träpellets, spån och pulver) som inte innehåller lim, lack, impregneringsämnen, färg utöver stämplar, folie, laminat, spik, skruvar, beslag etc
- Träavfall och träpellets från produktionen och bearbetningen av rent, limmat trä med ett innehåll av lim³ som inte överstiger 1 viktprocent på torr basis
- Halm inkl pressgran och besläktade stråbränslen från ett- eller fleråriga grödor (elefantgräs, raps, energispannmål o dyl)
- Rester från produktionen av bioetanol ur ovannämnda råvaror⁴

Både BEK nr 39 (2000) och BEK nr 1636 (2006) delade in askorna i 7 kategorier efter ursprung och kadmiuminnehåll. Nuvarande BEK nr 818 (2008) delar in askorna i halmaska (minst 75 % halmaska) och träaska (minst 75 % träaska). Gränsvärdena för spårämnen i askorna återges i Tabell 1. För blandaskor (trä och halm) gäller halmaskornas värden. Gränsvärdena för kvicksilver, bly och krom är identiska med gränsvärdena i slamkungörelsen från 1996. Gränsvärdet för nickel har höjts från 30 mg/kg i tidigare bioaskekungörelser till 60 mg/kg. Värdet för bly i träaska gäller endast i skogsbruk. I de fem senaste proven skall fyra av proven klara gränsvärdena, men inget prov får överskrida ett gränsvärde med mer än 50 % av detta värde.

Tabell 1. Gränsvärden för metalliska spårämnen (mg/kg TS) i bioaskor i BEK nr 818 (2008)

Table 1. Limit values for metallic trace elements (mg/kg DS) in bioashes in BEK nr 818 (2008)

	Kvicksilver	Bly	Nickel	Krom	Kadmium
Halmaska	0,8	120	60	100	5
Träaska	0,8	250	60	100	20

I tidigare kungörelser dikterade kadmiumhalten den mängd aska som fick spridas till en åker [1], [6]. De tre kategorierna var H1 (högst 5 mg/kg), H2 (högst 2,5 mg/kg) och H3

³ Lim baserade på fenol-resorcinol, polyvinylacetat (PVA), ureaformaldehyd, polyuretan och melamin-urea-formaldehyd

⁴ Nytt för 2008 års BEK

(högst 0,5 mg/kg). Danska utredningar utgår från denna kategoriindelning, se t ex avsnitt 2.4.

Nytt för 2008 är villkoret att högst 0,8 g kadmium får sammanlagt tillföras per hektar och år till jordbruksmark⁵, räknat som ett genomsnitt under fem år. Den samlade tillförseln av fosfor får vara högst 30 kg per hektar och år, beräknad som ett genomsnitt under tre år.

Därutöver finns ett gränsvärde på 12 mg/kg TS för summan av nio polycykliska aromatiska kolväten (PAH)⁶. Dessa är en delmängd av de vanliga EPA16⁷. Analysvärdet för varje prov skall ligga under gränsvärdet. Dispens på kravet på analys ges om förbränningsanläggningens utsläpp av kolmonoxid understiger 625 mg/Nm³ (referens 10 % syre).

I det sammanhanget kan noteras att det är svårt att analysera PAH i aska, vilket också påpekats [9], varför man under några år gav generell dispens från kravet på ett högsta PAH-innehåll. Kravet återinfördes dock 2006 och en analysmetod angavs [6].

Kungörelsen anger även gränsvärden för tungmetallinnehållet i jordarna dit aska skall spridas, Tabell 2.

Tabell 2. Gränsvärden i mg/kg TS för tungmetaller i jorden

Table 2. Limit values in mg/kg DS for heavy metals in the soil

Tungmetall	Cd	Hg	Pb	Ni	Cr	Zn	Cu
Gränsvärde	0,5	0,5	40	15	30	100	40

2.2 Utförda utredningar

Möjligheten att tillverka ett gödningsämne från slam och halmaska har undersökts av företaget I. Krüger Systems [10]. Man konstaterade att det inte fanns någon ekonomisk eller miljömässig fördel av att blanda in halmaska:

- Halmaskan återfördes redan då (1992) till åkrarna av de lantbrukare som levererat halm till värmeverken, varför askan nyttiggjordes ändå
- Halmaskan kunde bidra med endast ca 10 % av det kalium som behövs i en PK-gödsel
- Avståndet mellan anläggningarna där askan producerades och de där slammet producerades innebar transportkostnader och en orationell hantering

⁵ Till skogsmark får högst 60 g kadmium tillföras per hektar under 75 år. Högst 3 t/ha aska får tillföras under en tioårsperiod, dock högst 3 doser om 3 t/ha under 75 år.

⁶ Acenaften, fenantren, fluoren, fluoranten, pyren, benz(b+j+k)fluorantenen, benso(a)pyren, benz(ghi)perylene samt indo(1,2,3-cd)pyren

⁷ Naftalen och antracen som normalt har de högsta halterna i EPA16 uppsättningen finns inte med bland dessa 9 PAH. Urvalet omfattar cancerogena såväl som icke-cancerogena PAH.

Kartläggningen 1994 påpekade att halterna för vissa ämnen var högre i flygaskorna än i bottenaskorna, utgående från analyser där dessa askor matades ut separat [5]. Det normala tycks dock ha varit att botten- och flygaskor blandas i mindre anläggningar.

I en senare utredning undersöktes möjligheterna att separera flyg- och bottenaskor för att öka den mängd askor som kunde spridas [4].

Om bottenaska och flygaska blandas svänger analysvärdena med en faktor 2 – 3, vilket tillskrivs svårigheten att ta ut ett representativt prov med rätta förhållandet mellan flygaska och bottenaska ur en container samt lokala variationer i bränslet. Värdena för bottenaska är tillräckligt låga för att aska skall kunna spridas medan en blandaska oftast ligger för högt i kadmiumhalten. Flygaskan har nästan alltid för hög kadmiumhalt. En ökning av de återförda askmängderna förutsätter ombyggnader vid de mindre anläggningarna (vilket över hälften av verken hade gjort 2000) och ett program av kemiska analyser.

Hansen konstaterar att 2/3 av kalium och fosfor i askorna sprids till åkrar och skog, men att 1/3 deponeras och går till spillo. Vad gäller kadmium sprids ca hälften och deponeras ca hälften. Han efterlyser en behandling av den aska som deponeras för att ta tillbaka det kalium som förloras.

I samband med danska dioxininventering inom ramen för Stockholmskonventionen har Danmarks Miljøundersøgelser (DMU) genomfört en mätkampanj på askor [11]. Halten PCDD/F i askor från två halmeldade fjärrvärmeverk var 0,03 resp 1,4 ng/kg I-TEQ. I askorna från sju gårdspannor var halten från 0,2 till 12 ng/kg I-TEQ. Det är överlag låga halter.

2.3 Rening av flygaskan

Om bottenaskan från förbränningen av halm håller tillräckligt låga halter av tungmetaller för att kunna spridas på åkrar så är halten av framför allt kadmium för hög i flygaskan. Samtidigt håller flygaskan hög halt av växtnäringsämnen, huvudsakligen kalium. Metoder att avlägsna kadmium har undersökts i två huvudriktningar: extraktion av kalium alternativt elektrokemisk rening.

2.3.1 Extraktion ur askan

Elsam har undersökt möjligheterna att framställa ett flytande gödselmedel ur halmaskan vid Enstedsverket i Åbenrå [12]. Pilotförsöken gav tillfredsställande resultat: ca 75 % av kalium kunde extraheras och mindre än 1 % av tungmetallerna följde med till kaliumlösningen [4]. Den fasta återstoden utgjorde ca 40 % av ingående flygaska. Kostnaden för behandlingen uppskattades till ca 400 DKK per ton aska vilket med transportkostnader gjorde behandlingen något billigare än deponering. Slutsatsen var att det inte fanns något riktigt incitament för de mindre värmeverken att inte deponera.

I ett uppföljningsprojekt har Energi2, Krüger, Amagerförbränding, Vestförbränding och DHI arbetat med en separationsprocess vid block 2 i Avedøre [12]. Denna kallades

för ”Askepot”⁸ och bestod av en tvätt, pH-justering och en separation av flygaskan efter kornstorlek. Efter en längre diskussion med tillståndsmyndigheter mottogs tillståndet till pilotanläggningen i december 2003. Någon slutrapport har inte kunnat identifieras men årsredovisningen för danska FoU-satsningar på energiområdet år 2005 rapporterar att man inte kunde komma under gränsvärdet 5 mg/kg för den grövre fraktionen i halmflygaskan, varför reningsförsöken avbrutits och man inriktat sig på enbart stabilisering av askan som skall deponeras [13].

Kommunekemis⁹ satsning har däremot lett till en fabrik. Sedan sommaren 2006 finns en anläggning för tvätt av halmflygaskor [14], [15]. Den byggdes för 25 000 t/a, även om man fn räknar endast med de 10 000 t/a flygaska som produceras i Danmark¹⁰. Ur dessa skall 8 000 t/a mättad kaliumkloridlösning produceras och avsättas till DanGødning. Under 2006 behandlades 1 000 t aska och Kommunekemi har kontrakt för 2 000 t/a med EnergiE2 (numera Dong Energy) [16]. Vattenfall kommer att lämna flygaskan från halmpannor under uppförande till Kommunekemi.

Anledningen till att Kommunekemi valde den vägen är att de tar hand om halmflygaska som farligt avfall (för hög halt kadmium i förhållande till gränsvärdet 5 mg/kg) men från 2005 kan man inte deponera den på grund av den höga andelen lättlösligt material. Det är möjligt att lösa in salterna i slaggen från destruktionsugnarna men det är dyrt och ett slöseri med växtnäringsämnen. Halmflygaskan innehåller ca 40 % kalium, 25 % klor, 16 % sulfat och 2 % fosfat [16].

Processen utvecklades av Kommunekemi: askan slammas upp varvid bl a kaliumklorid går i lösning, kemikalier tillsätts för att justera pH och fälla tungmetaller (även flockningsmedel skall tillsättas) och fast material filtreras av. Produkten är en mättad kaliumkloridlösning, 22 viktprocent, och filterkakan, ca 10 % av ingående material, deponeras på Kommunekemis deponi för farligt avfall. Det finns kalium kvar i filterkakan i form av kaliumsulfat. Kravet att lösningen skall hålla minst 11,5 viktprocent kalium kan inte uppnås om kaliumsulfat finns i lösningen [16]. Skälen till detta är rent fysikaliska – lösligheten hos sulfatet sätter gränsen.

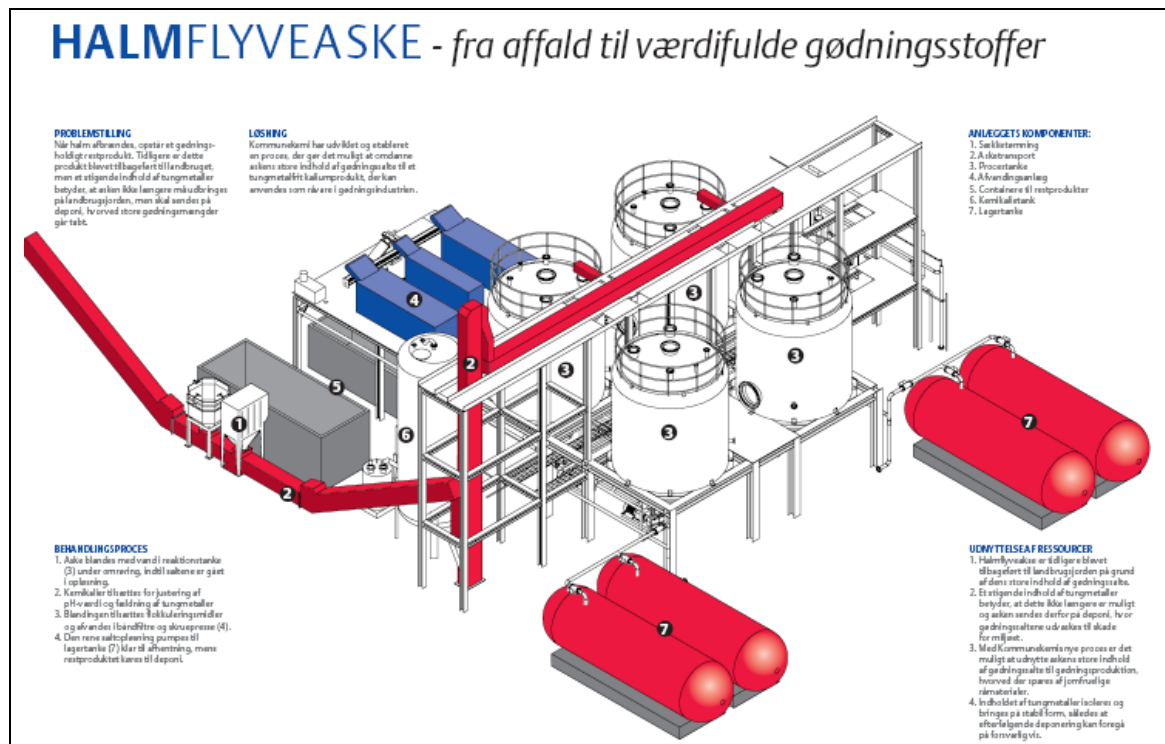
I nästa utvecklingssteg avser Kommunekemi att indunsta lösningen och producera fast kaliumklorid och fast kaliumsulfat [16]. Det underlättar lagringen och kaliumsulfatet har ett större marknadsvärde.

För en beskrivning av en fraktionerad kristallisation av kaliumklorid och kaliumsulfat, se Dannekiold-Samsøe och Thomsen [17].

⁸ Askungen i sagan heter Askepot på danska

⁹ Kommunekemi är danska motsvarigheten till SAKAB: de destruerar farligt avfall och deponerar resterna. De finns i Nyborg på Fyen.

¹⁰ Enligt Fyens Stiftstidende 29/5 2006 var investeringskostnaden 15 miljoner danska kronor.



Figur 1. Schema över behandlingsprocessen för flygaska vid Kommunekemi

Figure 1. Sketch of the fly ash treatment process at Kommunekemi

2.3.2 Elektrokinetisk rening

Den elektrokemiska dialysen har utvecklats i början av 1990-talet vid DTU, Danmarks Tekniske Universitet, för behandling av mark förorenad med tungmetaller. I en första kampanj 1997-2000 undersöktes i laboratoriet möjligheterna att rena bioaskor från kadmium med denna metod [18]. Två askor användes som försöksobjekt: en halmaska från Masnedø kraftvärmeverk och en träaska. Kadmiumkoncentrationen i bottenaskan var 0,5 mg/kg, d v s redan i nivå med de strängaste kraven, och i flygaskan var den 9,7 mg/kg, klart över den högsta tillåtna koncentrationen på 5 mg/kg. Två tredjedelar av kadmium kunde avlägsnas från halmflygaskan efter 24 dygn. För bly tog det 74 dygn att avlägsna 42 %. För träaskan kunde ingen rening iakttas. Fortsatt arbete med denna metod fokuserades därefter på träaskor och på rökgasreningsrester från avfallsförbränningen, vilket ledde till ett doktorsarbete [19]. Ca 70 % av träaskans kadmium kunde avlägsnas efter förbättringar av processen, bl a en uppslamning av askan och omrörning.

Metodens användning på halmaskor togs upp igen 2003 med tre prov halmaska ur totalt fem askprover [12]. Ena provet flygaska kom från Avedøre (rosterpanna), andra provet från en pulverpanna i Amager. Den tredje askan kom också från Avedøre men från den sk Askepotprocessen, se ovan. Förbättringar gjorde att reningstiden kunde minskas till 24-48 timmar:

- Man kom ner från ca 18 mg/kg kadmium till 7-8 mg/kg för Avedøre.
- Eftersom Amageraskan kom från en pulverpanna var kadmiumhalten betydligt lägre från början, 2,8 mg/kg, och slutkoncentrationen låg, ca 0,3 mg/kg
- Allra effektivast var processen för Askepotaskorna då den lösliga delen redan avlägsnats varför man kom under gränsvärdet på 5 mg/kg

I båda projekten kunde endast en mindre del av askan återfinnas som fast återstod, vilket beror på att askorna utgörs till stor del av lösliga salter som kaliumklorid, natriumklorid, kalciumklorid. Klorhalten är 30-35 viktprocent. I de första försöken upplöstes i stort sett all aska [18]. I de senare försöken fanns ca 10 % av askan kvar efter behandlingen [20]. Det innebär att det mesta av kaliuminnehållet har försvunnit och måste utvinnas ur vätskan. Förlusten förtar nyttan av askan som gödsel.

Kostnaden för behandlingen uppskattas till 1150-2500 DKK per ton aska [12]. Den tyngsta posten är investeringskostnaden på 600-1500 DKK per ton. Övriga kostnader är elkraft, 75-150 DKK/t för en elförbrukning på 450 kWh/t, 75-150 DKK/t för drift och underhåll samt 25-150 DKK/t i transporter. Gödningsvärdet i askan är ca 300 DKK/t. Denna behandlingskostnad och intäkten som gödsel jämförs med kostnaderna för deponering som uppskattas till 800-3000 DKK/t.

2.4 Spridning av askan

Landbo Syd erbjuder bottenaskan från Enstedsverket i Åbenrå gratis till lantbrukare i Södra Jylland [22]. Askan levereras till fältet och sprids omedelbart med tallriksspridare. Aska som håller 40-50 % fukt ger en jämn spridningsbild. En typgiva är 4 till 5 t/ha, två gånger under en femårsperiod.

Hansen ger några kostnadsuppgifter för olika spridningstekniker vilka består av antingen kalkspridare eller spridare för flytande gödsel [4]. Kostnaderna är:

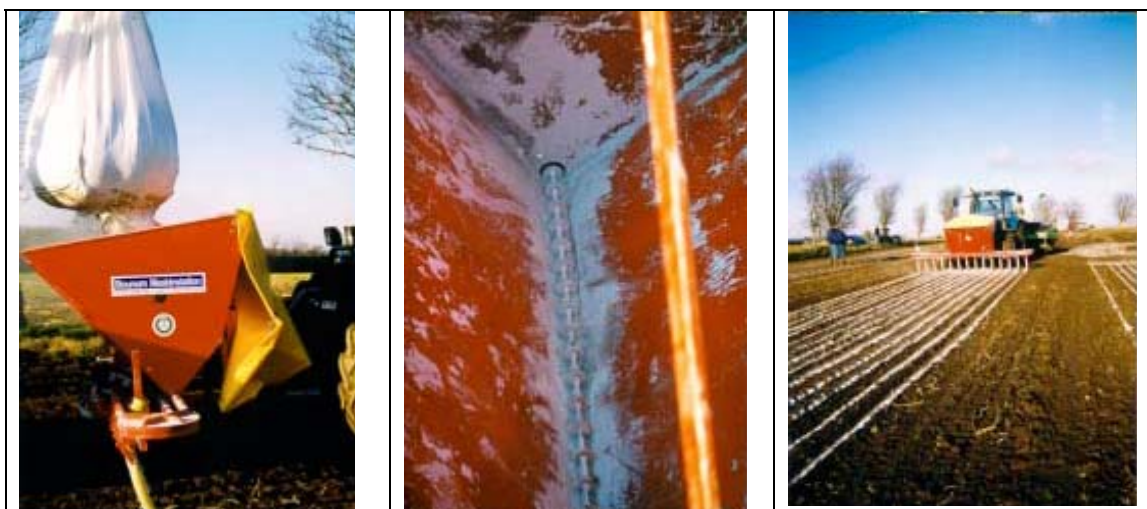
- 30 till 58 DKK per ton aska om askan håller högsta klass, H3¹¹ (högst 0,5 mg kadmium per kg aska, högst 5,0 t/ha under 5 år) och sprids med kalkspridare eller 20 till 39 DKK per ton med spridare för stallgödsel eller slam
- 105 till 115 DKK per ton kalium om askan håller klass H2 (högst 2,5 mg kadmium per kg aska, högst 1,5 t/ha under 5 år) och sprids med kalkspridare
- 15 till 25 DKK per ton om askan håller klass H1 (högst 5,0 mg kadmium per kg aska, högst 0,5 t/ha under 5 år) och sprids tillsammans med flytgödsel i spridare för flytgödsel

¹¹ Kategorierna H3, H2 och H1 är de tre halmaskorna ur de sju kategorier bioaska i tidigare danska bioaskekungörelser. Dessa har ersatts av en kategori som närmast liknar H1.

Inga undersökningar av spridningens jämnhet tycks ha företagits [4]. Den praktiska erfarenheten är att H3-askor kan spridas ganska jämnt med kalk- eller gödselspridare men att det har varit svårt att sprida H2-aska. Spridning med spridare för stallgödsel eller slam är aktuellt endast för våt H3-aska, men det kan vara svårt att sprida jämnt.

När aska sprids tillsammans med flytgödsel får askan utgöra endast högst 10 % av blandningen¹². Det innebär att man inte kan sprida tillräckligt mycket av H2 eller H3-askorna då askgivorna begränsas av reglerna för givorna av flytgödsel. Däremot kan man sprida maximalt av H1-askan (0,5 t per hektar och år).

Agri Consult har undersökt vilka maskiner som kan användas för att sprida aska eller TASP¹³, d v s gips från avsvavlingen av rökgaser från kolförbränning [23]. Den tekniska lösning som togs fram består i att lägga strängar av materialen, se foto i Figur 2. De tekniska problem som behövde övervinnas var damning, ojämn spridning med de konventionella spridarna för kvävegödsel och flytgödsel. En del av problemen berodde på att ammoniaklösningar blåstes ut med luft till en harv. Man utgick därför från kalkspridare och byggde in en skruv för matningen till 14 st munstycken. Utmatningen blev mycket jämn under försöken våren 1998. Konstruktion patentskyddades och maskiner tillverkas av företaget K J Kristensen.



Figur 2. Spridning av bioaska eller avsvavlingsrest på åkrar – transport i storsäck, skruvmatning och spridning av strängar

Figure 2. Spreading bioash or flue gas desulphurisation gypsum on fields – distribution using big bags, feeding with a screw and string-laying

¹² Hansen ger ingen förklaring. Det kan bero på en generell gräns på tillsatser till flytgödsel eller på risken för amoniakavgång (för flytande biogasrötrest bör man hålla halten aska under 5 % [24])

¹³ TASP, Torr AvSvovlingsProdukt

3 Sverige och andra länder

3.1 Sverige

Det finns flera mindre energianläggningar som eldar halm, men få med en kapacitet över 1 MW [25]. De flesta bland dessa finns i Skåne och Västra Götaland, men rapporter i tidningar och andra källor på Internet visar på att halmpannor förekommer också i Östra Götaland och i Mälardalen.

Lantmännen Agrovärme driver värmeverken Grästorps, Såtenäs flygflottilj F7 (4 MW rörlig roster) och Skurup (4 MW). Värmeverket i Svalöv (2 ggr 2,5 MW) började elda halm under 1980-talet och säljer askan till lantbrukare [26].

Det finns inga svenska regler för spridning av aska till jordbruksmark. Den allmänna hållningen är att aska lyder under samma regler som slam, varför riktvärden för tungmetaller är desamma som för detta material. Bottenaska anses kunna återföras, men flygaska anses behöva deponeras på grund av höga tungmetallhalter, se t ex Lantmännen lokala miljöriktlinjer för Skåne [27].

De få svenska forskningsresultaten summerades 1997 av Hadders och Flodén [28]: askors sammansättning [29], effekten på grödor och spridning.

Spridningen av aska är föremål för en undersökning vid JTI under tidig 1990-tal: tre spridare för stallgödsel som representerade var sin teknik (vals, centrifugal resp rivhjul) testades. Spridningsjämnheten var överlag dålig och det var svårt att sprida små givor [30]. Gruvaeus och Marmolin har undersökt kalkspridare och stallgödselspridare [25]: för de små givor som är aktuella lyckades de bäst med kalkspridare, dock utan att uppnå tillräckligt stora arbetsbredder ur praktisk synpunkt. Bästa spridningsjämnhet fick de med stallgödselspridare och fuktig aska men för höga givor, mer än 8 t/ha.

Cerealias anläggning i Järna bränner havreskal, drygt 7 500 t under 2005, i en ångpanna outsourcad till Telge Energi. Under ett normalt år produceras 1000 t/a botten- och flygaska. Telge Nät har lett projektet att återföra askan till åkermark [31]. Praktiska prov har visat att askan kan spridas med befintlig jordbruksutrustning (gödselspridare). Det har tagit fyra år att bygga upp konsensus med lantbrukarna, i vilken process många undersökningar genomförts. Askans sprids i full skala första gången 2008 som en PK-gödningsmedelsprodukt.

3.2 Andra länder

I Spanien driver Acciona Energia ett halmeldat kondenskraftverk på 25 MW_e i Sangüesa i Navarra [32]. Anläggningen förbrukar 160 000 ton halm per år. Bottenaskan (7 500 t/a) används för att tillverka kompost och konstgödsel medan inget nämns om flygaskan (2 500 t/a) [33].

Ely Power Station utanför Cambridge, England, bränner ca 200 000 t halm per år för en effekt på 38 MW och en produktion på 270 GWh per år. Anläggningen byggdes av FLS Miljø och togs över av EPR, Energy Power Resources Ltd, i juni 2004. Askan omhändertas av EPR-gruppens dotterbolag Fibrophos som tillverkar PK-gödsel. Det har inte gått att få mer information: EPR gruppen har som policy att inte lämna ut någon utöver det som EPR gör tillgängligt på Internet [34].

Det huvudsakliga råmaterialet till Fibrophos produkt är emellertid askan efter förbränningen av hönsspill i fyra andra förbränningsanläggningar. Ely är den enda anläggning bland EPR:s fem kraftverk som förbränner halm.

Fibrophos rekommenderar att dess produkter sprids med en bandmatning (moving belt floor system). Spridningen sköts av entreprenörer och gödselleverantörer som har maskiner för detta: företag som Needham Chalks, Robinson Contracting Services annonserar om denna tjänst på Internet.



Figur 3. Spridning av Fibrophos PK produkter

Figure 3. Spreading the Fibrophos PK fertilizers

Två andra företag söker nu tillstånd för var sitt kraftverk med halm som bränsle, 12 MW_{el} i Holderness (65 000 t/a halm) och 35 MW i Sleaford (200 000 t/a halm) [35], [36]. I båda fallen avser man att sprida askan som gödsel till jordbruksmark. Under 2008 har Tesco meddelat att de skall uppföra en halmeldad anläggning för storlagret i Goole och att askan skall användas bl a till framställning av gödsel [37].

Storskalig halmeldning har diskuterats i Frankrike och 2004 fanns det planer att uppföra en anläggning nära Laon, nordost om Paris. Det har inte gått att få en bekräftelse att planerna förverkligats. Något specialiserat regelverk för återföring av halmaska till åkermark har inte kunnat påträffas. Däremot finns råd och anvisningar hos ADEME för nyttiggörandet av vedaskor till skogsbruksändamål [38].

En sökning på Internet gav minst två värmeverk som använder halm:

- Échalot (Côte-d'Or), 5 MW värme med ca 20 % halm i bränslmixen sedan 2006. Askan återvinns [39], vilket i sammanhanget troligen betyder att den sprids i åkermark, men det har inte gått att få fram detaljer
- I Droué (Loir-et-Cher) invigdes i februari 2008 en 160 kW panna som eldar halmpellets [40]. Ambitionen är att askan skall spridas till åkermark, men med hänsyn till den lilla mängd aska som produceras i denna panna har man funnit andra nyttiggöranden

4 Askans sammansättning

4.1 Uppgifter från databaser

Den offentliga information som finns om halmaskors kemiska sammansättning har samlats i fyra databaser om biobränslen, tillgängliga på Internet:

- Phyllis, skapad av ECN, för vilket data har plockats från vetenskapliga artiklar och offentliga rapporter men även från BIOBIB, se nedan (www.ecn.nl/phyllis)
- Biolex, som samlar uppgifter från danska förbränningsanläggningar (www.biolexbase.dk/menu.php)
- Biobank, skapad av Technische Universität Graz inom ett IEA Bioenergy samarbete, med data från anläggningar i huvudsakligen tysktalande europeiska länder (www.ieabcc.nl/database/ash.php); för halm har Danmark, Österrike och Tyskland bidragit
- BIOBIB vid Technische Universität Wien med data till stor del från tysktalande länder (www.vt.tuwien.ac.at/Biobib/biobib.html)

En sökning efter data om halmaskors sammansättning på Phyllis ger drygt 60 dataposter om huvudämnen för vete, korn, råg och havre. Medelvärden för de rapporterade askhalterna är 5,9 % i ett intervall från 2,5 % till 12,8 %. Även om koncentrationerna av huvudämnen varierar ganska mycket är de halter som anges lämpliga utgångspunkter för en diskussion.

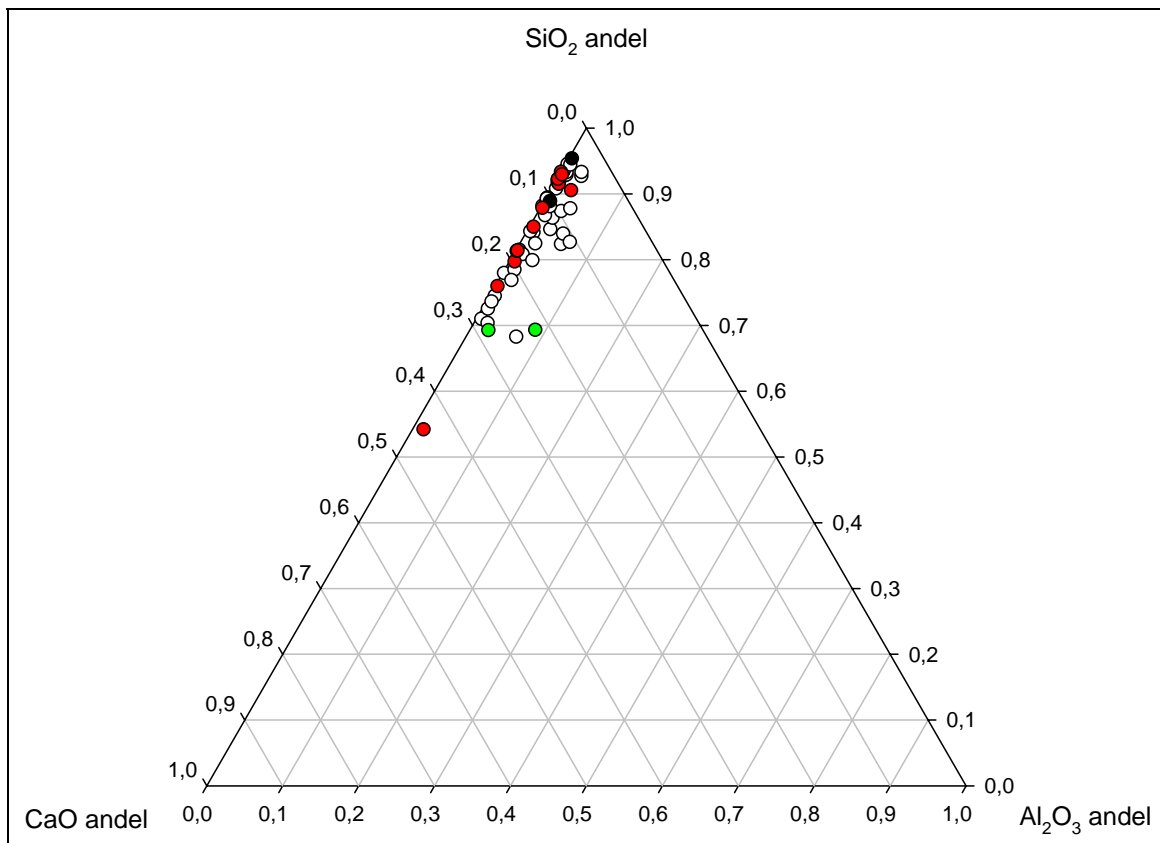
Tabell 3. Medelvärden för koncentrationen av huvudämnen i halmaskor i viktprocent, räknade som oxider, för uppgifterna i Phyllis

Table 3. Average concentrations of main elements in straw ashes as weight percent, calculated as oxides, for the data stored in Phyllis

Oxid	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅
Spannmål	7,8	2,1	1,8	18,8	0,8	50,6	0,7	3,4
Raps	33,6	2,5	2,5	18,9	1,5	6,5	1,5	8,9

I Tabell 3 har införts även sammansättningen av rapshalmens aska, då den är något annorlunda jämfört med aska från spannmålshalm. Fosforhalten är högre (8,9 %) och proportionerna mellan kalcium och kisel är omvända mot spannmålsaskornas i de data som finns i Phyllis och Biolex.

Hellre än att presentera variationen i koncentrationerna som stapeldiagram har två ternära diagram över sammansättningen ställts upp utgående från uppgifterna i Phyllis. De ternära diagrammen ger även en möjlighet att bedöma samstämmigheten hos dessa uppgifter från olika källor.



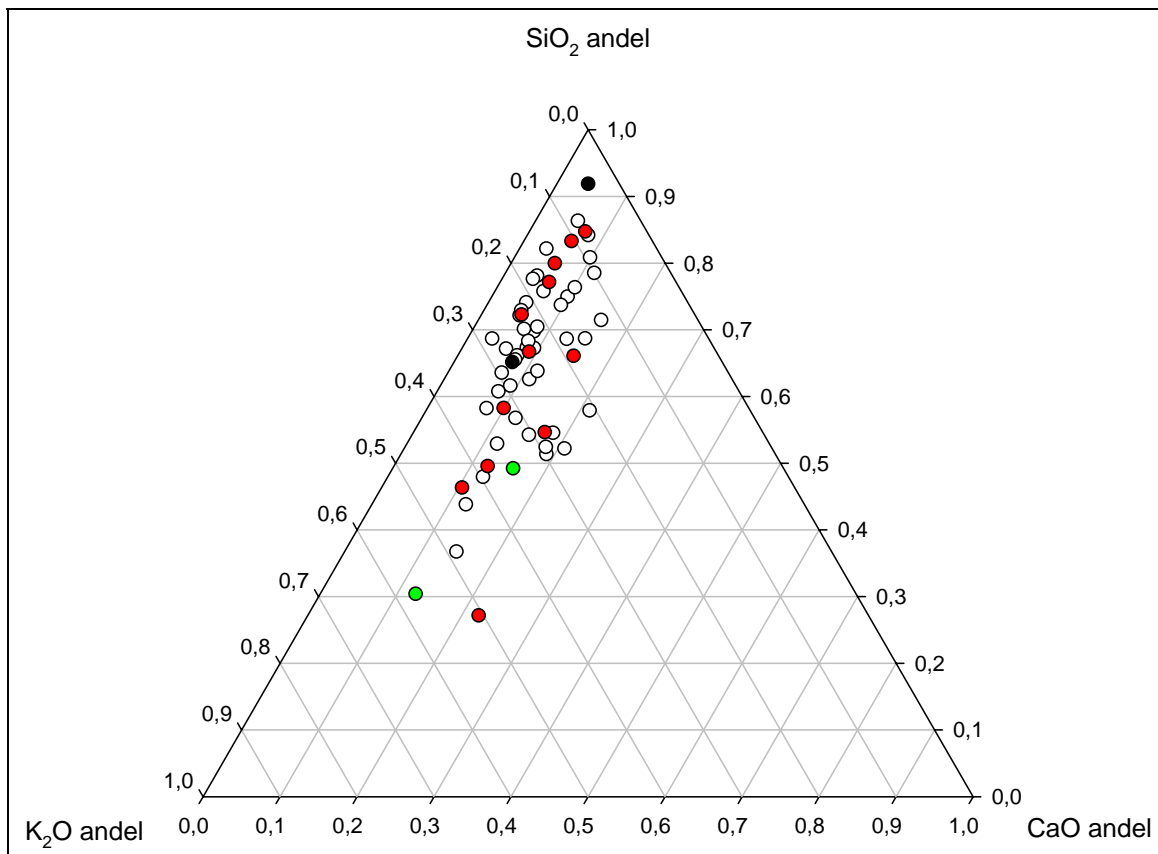
Figur 4. Ternärt diagram $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ för de data om halmaskor som finns i Phyllis – varierande källor. Symboler: o, vete, ●, råg, ●, korn och ●, havre.

Figure 4. Ternary diagram $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ for the data on straw ashes in Phyllis – various literature sources. Symbols: o, wheat, ●, rye, ●, barley and ●, oats

Det första diagrammet är ett ternärt diagram för $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$. Data ser rätt väl samlade ut: de är konsistenta med varandra. Samlingen i SiO_2 -hörnet visar att det är denna oxid som dominerar (medelhalt över 50 % i askorna), vilket stämmer med uppgiften att spannmål hör till gräsväxterna (mer kisel än kalcium). Trädaska brukar finnas i nedre vänstra hörnet, CaO -hörnet.

Kalium har näst högsta koncentration. Det ternära diagrammet $\text{K}_2\text{O-SiO}_2\text{-CaO}$ i Figur 5 kan f ö användas för att bedöma risken för sintring i pannan. Spridningen är större med kaliumoxidandelar från mindre än 10 % till över 70 %, men bilden är ändå rätt väl samlad. Denna stora variation kan tänkas höra ihop med att kalium är lättlakad ur halm och att kalium anrikas i flygaskor: fraktioneringen leder till att bottenaskor håller en jämförelsevis låg kaliumhalt och flygaskor en högre halt .

Uppgifterna i Biolex och Biobank motsäger inte denna beskrivning av huvudämnenets koncentration i askor. Fosforhalten är dock lägre än de 3,4 % som kan beräknas ur data i Phyllis.



Figur 5. Ternärt diagram K_2O-SiO_2-CaO för de data som finns i Phyllis om halmaskor – varierande källor. Symboler: o, vete, ●, råg, ●, korn och ●, havre

Figure 5. Ternary diagram K_2O-SiO_2-CaO for the data on straw ashes in Phyllis – various sources. Symbols: o, wheat, ●, rye, ●, barley and ●, oats

De få data om spårämnen som finns i Phyllis härrör från BIOBIB. I Biolex finns följande data från danska förbränningsanläggningarna, samtliga rosterpannor:

- För vete finns 5 analyser av kadmiumhalten: min= 0,10 mg/kg, max = 0,22 mg/kg, medel = 0,13 mg/kg och median = 0,11 mg/kg.
- För korn finns elva analyser av kadmiumhalten: min= 0,06 mg/kg, max = 0,21 mg/kg, medel = 0,10 mg/kg och median = 0,07 mg/kg.

Något över ett trettiotal data om spårämnen i halmaskor finns i Biobank:

- Blyhalten är 30,1 mg/kg i medel och min/max är 3,0 resp 122,0 mg/kg
- Kadmiumhalten är 8,5 mg/kg i medel och min/max är 1,0 resp 22,0 mg/kg
- Kopparhalten är 40,1 mg/kg i medel och min/max är 3,0 resp 128,0 mg/kg
- Kromhalten är 26,2 mg/kg i medel och min/max är 1,0 resp 314,0 mg/kg
- Nickelhalten är 13,6 mg/kg i medel och min/max är 1,0 resp 22,0 mg/kg

4.2 Uppgifter från bl a originallitteratur

Nyare svenska och danska undersökningar som a priori inte har tagits upp i någon av bränsledatabaserna är de vid JTI och SLU i Uppsala [30], [28], [41], [29] och andra rapporter som de citerar, Gruvaeus och Marmolin [25], dk-Tekniks ringprovning [42] och undersökning av askan från 26 halmeldade värmeverk [5] samt Hansens undersökning [4].

Flodén ger analysdata för tre halmaskor, troligen bottenaskor från rosterpannor: Kvänum och Såtenäs är våtutmatade och lagrade i ett år, Söderköping är färsk och torrutmatad [30]. Halterna av huvudämnen är i samma härad som de i Phyllis, med en något lägre halt kalium i de lagrade askorna än i den färska askan: 9,3 % och 11,2 % att jämföra med 14,6 % i den färska askan. Blyhalterna och kadmiumhalterna är låga, 6 mg/kg resp 0,5 mg/kg (medelvärden).

I sin undersökning av trä- och halmaskor har Olanders och Steenari även inaskat halm vid 500°C [41]. Analysresultaten bekräftar dominansen av kisel (21,9 % kisel eller knappt 47 % SiO₂), och kalium (18,6 % kalium eller 22,4 % K₂O).

Nielsen och Westborgs data [42] och Morsing och Westborgs data [5] stämmer också med de hittills redovisade data. De senares bly- och kadmiumkoncentrationer är åt det låga hållet, med medianer på 9 mg/kg resp 2 mg/kg.

Det finns en fransk översikt över överföringen av spårämnen från slamgödslat jord till växter som sammanställts åt ADEME¹⁴: se Tabell 4 för halter i opåverkad halm [43]. Om askhalten är ca 5 % innebär en kadmiumhalt på 0,25 mg/kg halm en halt i askan på 5 mg/kg.

Sander och Andréns data ligger också i samma härad, med högre kalcium- och fosforhalt i rapshalmens aska [29]. De redovisar även bottenaskor och flygaskor för sig, se Tabell 5 ur [28], vilket ger en uppfattning om vilka grundämnen som anrikas i flygaska (kalium bland huvudämnen, bly, kadmium, koppar och zink bland spårämnen).

Hansen redovisar också data för bottenaska, cyklonaska och filteraska för två mindre värmeverk, se Tabell 6 [4]. Anrikningen är analog den hos Sander och Andréns: kalium, bly och kadmium i flygaskorna.

Gruvaeus och Marmolins data för västsvenska förbränningsanläggningar [25] är samstämmiga med de från de undersökningar som redovisats här avseende fraktioneringen av flyktiga grundämnen.

Halm eldas uteslutande i rosterpannor. Fluidbäddpannor förekommer inte, troligen på grund av den stora risken för sintring av bäddsanden.

¹⁴ ADEME motsvarar Energimyndighet och Naturvårdsverk i en organisation, fast utan tillsynsrollen och utan möjlighet att ge ut föreskrifter

Tabell 4. Medelvärden av halten av spårämnen i halm (mg/kg TS) i Tremel-Schaubs och Feixs sammanställning. Antal uppgifter som ingår i medelvärdet anges som xx¹⁴, d v s 14 prover för detta medelvärde.

Table 4. The average concentration of trace elements in straw (mg/kg DS) in Tremel-Schaub's and Feix's review. The number of samples entering the averages is given as xx¹⁴, i.e. 14 samples for this average.

	vete	havre	korn	råg
Arsenik	0,17 ⁴	0,15 ¹		
Kadmium	0,25 ¹⁴	0,18 ¹		0,03 ¹
Kobolt	0,07 ³			
Krom	0,63 ¹¹	0,80 ¹	1,59 ²	
Koppar	3,43 ¹⁷	2,4 ²	3,53 ⁶	2,2 ²
Kvicksilver	0,061 ²		0,1 ¹	
Molybden	0,48 ⁶	0,23 ²	0,24 ²	0,23 ¹
Nickel	0,8 ¹⁵	0,485 ¹	0,47 ⁵	
Bly	1,43 ¹³	2,60 ¹	2,15 ²	
Selen	0,03 ⁴	0,05 ¹	0,04 ¹	
Tallium	0,004 ¹			
Zink	13,3 ¹⁶	16,0 ¹	18,7 ⁵	8,2 ¹

Tabell 5. Data från Sanders och Andréns undersökning för bottenaskor och flygaskor.

Table 5. Data for bottom ash and fly ash from Sander's and Andrén's investigation

	Bottenaska	Flygaska	Blandad aska
Fosfor, %	1,4	1,9	1,8
Kalium, %	13,1	22,4	12,6
Kalkverkan, % ¹	21,1	19,2	20,5
Bly, ppm	3,4	139,2	20,9
Kadmium, ppm	0,1	9,0	1,5
Koppar, ppm	41,4	97,1	62,3
Krom, ppm	42,5	28,6	33,6
Nickel, ppm	17,7	16,5	16,4
Zink, ppm	52,7	872,3	139,8
Cd/P, mg/kg	29	593	79
Oförbränt ²	9,7	12,0	12,9
Antal prov ³	21/11/6/8	10/3/3/3	6/1/4/3
Antal anläggningar	7	3	3

Fotnot

¹ Askans kalkverkan angavs som motsvarande mängd kalciumoxid

² Troligen bestämd som glödförlust vid 550°C

³ Antalet prov av vete / korn / råg / raps

Tabell 6. Koncentrationen av några ämnen i bottenaska, cyklonaska och filteraska från två danska värmeverk

Table 6. The concentration of a few substances in bottom ash, cyclone ash and filter ash from two Danish DH plants

		Høng			Rødby		
		Botten	Cyklon	Filter	Botten	Cyklon	Filter
Fukt	%	64,1	1,8	0,8	0,9	1,5	0,8
Aska	% TS	95,2	91,8	97,6	98,0	93,6	96,0
LOI	% TS	4,8	8,3	2,4	2,0	6,4	3,2
Cl ⁻	% TS	0,82	14	32	0,72	8,2	36
K	g/kg	99	230	400	120	180	420
P vtn ¹	g/kg	0,024	0,011	2,3	0,041	0,033	0,71
P citr ²	g/kg	4,6	6,9	0,6	5,4	5,7	4,3
Ptot ³	g/kg	9,1	12,0	6,7	9,7	8,7	6,4
Pb	mg/kg	4,9	15	36	1,3	5,0	16
Cd	mg/kg	0,34	4,8	10	0,13	2,6	10
Cr	mg/kg	3	6,2	1,7	2,7	7,3	4,2
Hg	mg/kg	0,14	0,51	1,1	0,23	0,17	1,0
Ni	mg/kg	4,0	5,0	1,4	2,4	5,9	1,9
pH		11,1	11,4	9,4	11,4	11,3	10,1

Fotnot:

¹ P vtn, vattenlösligt fosfor

² P citr, fosfor löslig i en citratlösning

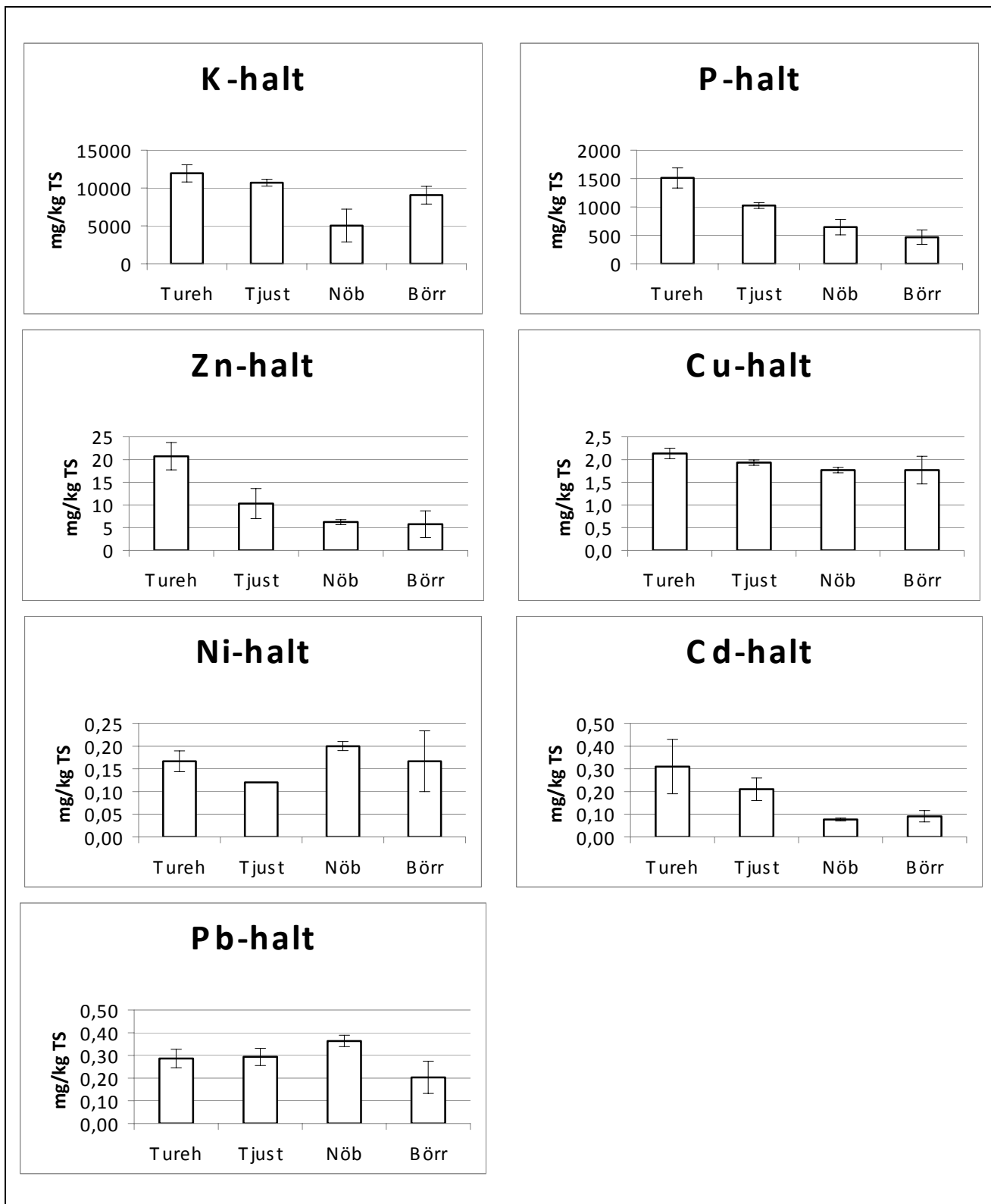
³ Ptot. total fosfor

4.3 Experimentella data

4.3.1 Material och metod

I syfte att belysa variationen i sammansättning har SLU inom ramen för projektet tagit prover på halm från fyra platser i södra Skåne: Tureholm och Tjustorp som finns på Österlen i sydöstra Skåne, samt Nöbbelöv och Börringe i sydvästra Skåne. De två första platserna ligger i områden som enligt en inventering av Länsstyrelsen i Skåne har naturligt hög halt av kadmium i marken [44]. För varje plats har trippelprov tagits ut, uppslutits i salpetersyra och analyserats. Provresultaten har bearbetats statistiskt med hjälp av variansanalys för att identifiera eventuella skillnader mellan provplatserna.

Resultaten, dvs medelvärden av tre analyser för varje plats, visas grafiskt i Figur 6 för halmen. De har därefter räknats om till halt i askan, med antagande om en askhalt på 5 % hos halmen, och redovisas i Tabell 7. För referens har halter i en samlingsaska från Høng resp Rødby [4] beräknats från Hansens data, se Tabell 6, med antagandet om en fördelning 75 % bottenaska, 10 % cyklonaska och 15 % filteraska.



Figur 6. Analysresultaten för vetehalm, mg per kg TS

Figure 6. Results from analyses of wheat straw, mg per kg DS

Kaliuminnehållet i de analyserade halmproverna varierar mellan 5 och 10 g per kg TS. Beräknat på 5 % askhalt varierar halten mellan 100 och 240 g/kg TS i aska, se Tabell 7 på nästa sida. Det finns en signifikant skillnad i kaliumhalt mellan halmprovet från Nöbbelöv och de från övriga platser. De beräknade samlingsaskorna från de danska värmeverken innehåller 160 respektive 170 g per kg TS [4].

Fosforinnehållet i halmproverna varierar mellan 0,5 och 1,5 g per kg TS, vilket innebär en variation mellan 9,4 och 30 g per kg TS i askorna, se Tabell 7. De danska askproverna ligger kring 9 g per kg i askan. Skillnaden i koncentration mellan de fyra platserna i är signifikant utom mellan Börringe och Nöbbelöv som är lika.

Kadmium varierar i våra analyserade halmprov mellan 0,08 och 0,31 mg per kg TS, vilket ger mellan 1,5 och 6,2 mg per kg TS i askan, se Tabell 7. De danska data ligger på 1,9 och 2,2 mg per kg TS aska, troligen för samlingsaskor. Kadmiuminnehållet i halmproverna från Nöbbelöv och Börringe stämmer väl överens med danska erfarenheter, d v s blandprov från Høng och Rødby.

För halterna av kadmium i de skånska vetealmproverna finns en signifikant skillnad. Tureholm hade signifikant högre halt än både Nöbbelöv och Börringe. Kadmiumhalten i Tjustorp ligger mellan halten i Tureholm och halterna i Nöbbelöv och Börringe. Spridningen mellan värdena i Tureholm är f ö stor. Askor från Tureholm och Tjustorp skulle förmodligen inte få spridas i Danmark.

Zinkhalten varierar mellan 6 och 21 mg per kg TS i halmen vilket ger mellan 120 och 410 mg per kg TS i askan, se Tabell 7. Koppar varierar mellan 1,8 och 2,1 mg per kg TS i halmen vilket ger mellan 35 och 43 mg per kg TS i askan. Det finns ingen signifikant skillnad för kopparhalterna i de skånska halmproverna. Däremot är skillnaden mellan zinkhalten i Tureholmsaskan och den i askor från de övriga platserna signifikant.

För analyserna av krom och kvicksilver är noggrannheten för dålig för att de skall kunna jämföras med de danska värdena, eller att utläsa någon skillnad mellan platserna.

Nickel varierar mellan 0,12 och 0,20 mg per kg TS i halmen vilket ger mellan 2,4 och 4,0 mg per kg TS i askan, se Tabell 7. De danska askproverna ligger på 2,7 och 3,7 mg per kg TS. För halterna av nickel i de skånska halmproverna finns ingen signifikant skillnad mellan platserna.

Bly varierar mellan 0,20 och 0,36 mg per kg TS i halmen vilket ger mellan 4,1 och 7,3 mg per kg TS i askan, se Tabell 7. De danska askproverna ligger på 3,9 och 11 mg per kg TS. För halterna av bly i de skånska halmproverna finns en signifikant skillnad mellan Börringe och Nöbbelöv, i övrigt inte, se Figur 6.

Tabell 7. Beräknade koncentrationer av växtnäringsämnen och spårämnen i askor: från analyser av vetehalm i denna undersökning, i samlingsaskor från danska anläggningar och gränsvärden i danska bioaskekungörelsen

Table 7. Computed concentrations of nutrients and of trace elements in ash: results from analyses of wheat straw in this investigation, in ash from Danish plants and limit values in the Danish bioash ordinance

		Tureholm	Tjustorp	Nöbbelev	Börriinge	Rødby²	Høng²	BEK818
<i>K</i>	<i>g/kg</i>	240	210	100	180	170	160	
<i>P</i>	<i>g/kg</i>	30	20	13	9,4	9,1	9,0	
<i>S</i>	<i>g/kg</i>	36	23	13	16			
<i>Mg</i>	<i>g/kg</i>	20	15	8	10			
<i>Mn</i>	<i>g/kg</i>	0,8	0,6	0,6	0,25			
<i>Ca¹</i>	<i>g/kg</i>	100	78	95	61	-	-	
Zn	mg/kg	410	210	120	120	-	-	
Cu	mg/kg	43	39	35	35	-	-	
Cr	mg/kg	<20	<20	<20	<20	3,4	3,1	100
Ni	mg/kg	3,3	2,4	4,0	3,3	2,7	3,7	60
Cd	mg/kg	6,2	4,2	1,5	1,8	1,9	2,2	5
Hg	mg/kg	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	0,3	0,3	0,8
Pb	mg/kg	5,7	5,9	7,3	4,1	3,9	11	120

Fotnot till tabellen:

¹ – som fri kalk (CaO)

² - samlingsaskor, halter beräknade under antagandet att bottenaskan utgör 75 % av totala mängden, cyclonaskan 10 % och filteraskan 15 %.

5 Näringsbalans och belastning med tungmetaller

5.1 Balans i kretslopp och produktion

Grundtanken med återföring av halmaska är att växtnäringsämnen i halmen åter görs tillgängliga. Kväve går bort i förbränningen och kan därmed inte återföras. Det innebär också ett tekniskt kretslopp för spårämnen. Vissa bland dem, t ex kadmium, är egentligen inte önskvärda men någon nettotillförsel är det inte frågan om.

För att optimera biomassaproduktionen tillförs konstgödsel och kalk beroende på markförhållanden och vald gröda. Därigenom kompenseras för de växtnäringsämnen som bortförts med skörd av spannmål och halm.

Syftet med denna del av projektet är en utredning av växtnäringsbalans och metallbelastning vid återföring av halmaska till åkermark, med hänsyn till tänkbara genomföranden av återföringen.

5.2 Kalium, fosfor och askgiva

Mängden halm som ska eldas i det planerade kraftvärmeverket Örtofta uppskattas till ca 80 000 ton vid full kapacitet. En beräkning på inledningsvis ca 50 000 ton halm som bränsle ger ca 2 500 ton aska vid en askhalt på 5 %. En skörd på uppskattningsvis 5 ton halm per hektar ger en total halmareal på 10 000 hektar.

Utgångspunkten för denna utredning var att både botten- och flygaska återförs och att givorna av konstgödsel (som tillförs ändå) anpassas till detta. Återföring av all producerad aska till hela arealen innebär i medeltal en spridning av 250 kg aska per hektar varje år. Det kan vara svårt i praktiken att återföra så små mängder. Vid försök med spridning av aska med hjälp av stallgödelspridare eller kalkspridare, modell tallriksspridare, har man visat att ojämn spridning och alltför små arbetsbredder ger en orationell hantering [28].

En variant som troligen skulle vara lättare att arbeta med är att använda en kalkspridare, modell rörspridare, och att öka givan vid varje spridningstillfälle. En återföring av all aska (botten- + flygaska) till en fjärdedel av arealen skulle ge en mer hanterbar mängd aska att sprida, cirka 1000 kg per hektar, vart fjärde år, d v s en gång i växtföljden.

En spridning av 1000 kg (1 ton) per hektar skulle dock innebära att kaliumgivan skulle bli alltför stor, ca 200 kg per hektar, att jämföra med de högst 60 respektive 90 kg per hektar som behövs för odling av raps respektive sockerbeter [46]. Råden för kaliumgödning varierar starkt beroende på grödval och markens kaliuminnehåll [48]. I Skåne är ca 80 kg kalium per hektar en vanlig giva.

Genom att återföra endast bottenaska kan kaliumgivan minskas och fosforgivan ökas. Flygaskan lämnas då till deponi, med förbehåll för den höga halten lättlösliga salter.

Enligt Hansen återfinns ca 50 % av det totala kaliuminnehållet i bottenaskan och ca 80 % av fosforinnehållet [4].

Analysresultaten från Börringes halmprov ligger någorlunda mitt i fältet och väljs som exempel för en överslagsberäkning. Den teoretiskt tillgängliga mängden fosfor och kalium i Börringes bottenaska motsvarar 1,0 respektive 12 viktprocent av askan räknad på torrsubstans. Som jämförelse kan nämnas att bottenaskan från eldningen av vetehalm i Gruvaeus och Marmolin låg på 1 respektive 10 % [25] och i Hansen 0,9 respektive 10 – 12 % [4].

Om endast bottenaskan återförs till en fjärdedel av den yta som halm tagits från, kan 750 kg aska spridas per hektar vart fjärde år. Detta bör vara en giva som är möjlig att hantera med en kalkspridare, modell rörspridare. Då tillförs ca 90 kg kalium och ca 7 kg fosfor per hektar. Detta är en mängd som först och främst ska spridas till kaliumkrävande grödor eller på mark med kaliumbrist.

Alternativt kan övervägas att sprida bottenaskan vartannat år, ca 500 kg/ha. De mängder växtnäringsämnen som återförs till 1 hektar kan beräknas till 4 – 12 kg fosfor, 50 – 107 kg kalium, 5 – 14 kg svavel, 3 – 8 kg magnesium, 25 – 40 kg CaO, 20 – 30 g bor, 10 – 20 g koppar samt 100 – 300 g mangan med följande antaganden:

- Analyser på höstvetehalmhalm från de fyra gårdarna i Skåne som har ingått i denna förstudie
- 50 % av kalium återfinns i bottenaskan
- 80 % av övriga växtnäringsämnen (fosfor, svavel, magnesium m fl) återfinns i bottenaskan

Dessa mängder jämförs i Tabell 8 med de mängder som togs ut vid skörden av olika grödor [46].

Tabell 8. Bortförsel av växtnäringsämnen med skörd av biomassa, enhet: kg/ha

Table 8. Removal of plant nutrients when biomass is harvested, unit: kg/ha

Gröda	Skörd	N	P	K	S	Mg	B	Cu	Mn
Vete (kärna)	7 000	126	24	29	12	12	0,035	0,035	0,14
Korn (kärna)	5 000	80	18	21	8	8	0,025	0,030	0,10
Havre (kärna)	5 000	90	17	21	6	7	0,025	0,020	0,20
Stråsäd (halm)	4 000	24	4	40	6	5	0,020	0,010	0,10
Raps (frö)	3 000	100	24	30	11	9	0,200	0,030	0,12
Raps(halm)	3 000	30	4	90	10	6	0,045	0,025	0,27
Socketbeta (beta)	40 000	80	16	80	6	16	0,160	0,040	0,25
Socketbeta (blast)	32 000	160	17	160	17	26	0,250	0,035	0,325
Återförsel ¹	500	-	8	78	10	6	0,025	0,015	0,20

Fotnot till tabellen:

¹ vetehalmen i denna undersökning, medelvärde av det intervall som anges i texten

5.3 Spårämnen

Regionalt sett skulle en återföring av halmaska inte innebära någon nettotillförsel av de mindre önskvärda spårämnena. Frågan kan dock diskuteras avseende lokala konsekvenser om kadmium omfördelas från de mest belastade jordarna till de minst belastade jordarna.

Enligt Hansen återfinns cirka 50 % av halmens kadmiuminnehåll i bottenaskan även om halten där är betydligt lägre än den i flygaskan: bottenaskan utgör 75 % av torrsubstansen [4]. I analysresultaten hittas de högsta kadmiumhalterna i halm från Tureholm och de lägsta i halm från Nöbbelöv. Om all halmaska som spreds i Nöbbelöv var bottenaska från Tureholm skulle kadmiummängden öka i marken med 2,33 g/ha. För att sätta detta flöde i perspektiv: enligt reglerna för slam [47] är det tillåtet att tillföra 0,75 gram kadmium per hektar beräknat som snitt på en sjuårsperiod. Detta är ett extremfall som troligtvis aldrig kommer att inträffa, men det visar vikten av en jämn kvalitet vid inköpet av halm och av att bevaka kvaliteten hos askan från pannan.

5.4 Förslag till strategi för återföring av halmaska

Stråbränslet kan ingå i en växtföljd med sockerbetor – vårkorn – höstraps – höstvetete. Vetehalmen skördas och förbränns. Askan härddas, krossas och grovsiktas. Därefter kan den återföras till åkern inför odling av sockerbetorna eller höstrapsen. Återförseln bör ske så att aska har återförts till hela arealen efter fyra års askspridning, d v s en gång till växtföljden. Man får då en tillfällig höjning av kadmiumhalten i marken direkt efter spridning, men ingen förhöjd halt på sikt.

Halmaska är ett kaliumgödselmedel med viss kalkverkan och viss fosforverkan. Riktgivor för kaliumgödsling av sockerbetor varierar mellan 0 och 90 kg per hektar beroende på markens kaliumstatus. Om 1 ton aska per hektar vart fjärde år ger en för hög kaliumgiva, bör halmaskan återföras vartannat år, d v s två gånger i en växtföljd. Askans sprids vartannat år på stubb av höstvetete till betor och på stubb av korn till raps.

Riktgivor för fosforgödsling av sockerbetor varierar mellan 0 och 40 kg per hektar beroende på markens fosforstatus [48]. En kompletteringsgödsling med fosfor kan bli nödvändig om inte marken innehåller tillräcklig mängd. Vid en tillförsel av 750 kg TS aska per hektar återförs cirka 7 kg fosfor. Detta är en teoretiskt möjlig mängd och osäkerhet råder hur tillgänglig denna fosfor är för växterna i marken efter spridning av askan på åkermark.

Askans gödselvärde är svårbedömt eftersom vi inte känner till hur tillgänglig fosfor är. Fosfors tillgänglighet behöver studeras närmare vilket även konstaterades av Gruvaeus och Marmolin [25]. Fosfor frigörs i ett komplicerat samspel mellan gödselmedlet och markens fosforpool. Linderholm m fl har i odlingsförsök visat att gödsling med aska kan ge en positiv effekt på skörden [49]. I studien har man angett en osäkerhet huruvida de positiva resultaten beror på askans fosforinnehåll eller dess kalkverkan. Man har också påpekat i sina slutsatser att en korrekt bedömning av markens beskaffenhet spelar större roll för växternas fosfortillgång än typ av gödselmedel.

6 Resultatanalys

6.1 Återföring, kalium

Syftet med återföring av halmaska är att motverka en möjlig utarmning av åkermark på växtnäringssämnen. Det växtnäringssämne som förekommer i högsta koncentration är kalium. Halten av övriga baskatjoner är lägre. Trots att askan är basiskt är det alltså inte något kalkningsmedel. Halten fosfor är relativt låg, ca 3,5 % räknat som oxid eller ca 1,5 % ren fosfor, och sannolikt är en mindre andel därav i en form som är omedelbart tillgänglig för växtligheten. Halmaskan kan därför närmast betraktas som ett kaliummedel.

Ett praktiskt problem är att det är svårt att sprida de små mängder aska som en ren återföring innebär. Väljer man askgivor motsvarande flera års uttag för att underlätta spridningen blir kaliumgivan för stor. Sätt att komma förbi detta (om inte maskinparken utvecklas eller anpassas för mindre givor) är:

- Sprida enbart bottenaska, men då förloras en stor andel av kalium som återfinns i flygaskan
- Laka ut kalium ur askan och sprida kalium som en lösning (analogt Kommunekemis metod), men återstoden av askan har ett lågt växtnäringssvärde
- Sprida bottenaskan, extrahera kalium ur flygaskan och sprida en kaliumlösning (i analogi med Danmark), vilket är en mer omständlig hantering

Om en miljon ton halm skulle förbrännas i energianläggningar innebär det ca 50 000 ton aska, och med kaliumhalt på ca 16 %, ca 8 000 ton kalium. Som referens för storleksordningen kan nämnas följande inte helt samstämmiga uppgifter:

- Under gödselåret 2004/05 gick den totala försäljningen av kalium i handelsgödsel till 33 200 ton, varav 3 200 ton som enkla gödselmedel och 30 000 ton som sammansatta gödselmedel (NK, PK och NPK-gödsel) [50]
- Enligt Kemikalieinspektionen, uppgifter i produktregistret, användes ca 120 500 ton kaliumklorid (ca 61 500 t rent kalium) år 2005 i Sverige. Huvuddelen används som gödsel

En del av kaliumbehovet i Sverige skulle alltså kunna tillfredsställas. Om kretsloppstanken omformuleras, för diskussionens skull, till ett utnyttjande av sekundära resurser kunde man tänka sig att foga in en rå kaliumlösning i den vanliga konstgödselkedjan. Det är troligen inte genomförbart i praktiken. Renhetskraven är högt satta i gödselindustrin och kaliumklorid som utvinns ur geologiska formationer har mycket låg halt av spårämnen. En lösning som utvinns ur levande material eller dess aska kommer att ha högre halter av oönskade spårämnen. Det innebär att bearbetningen av askan måste genomföras i en särskild process.

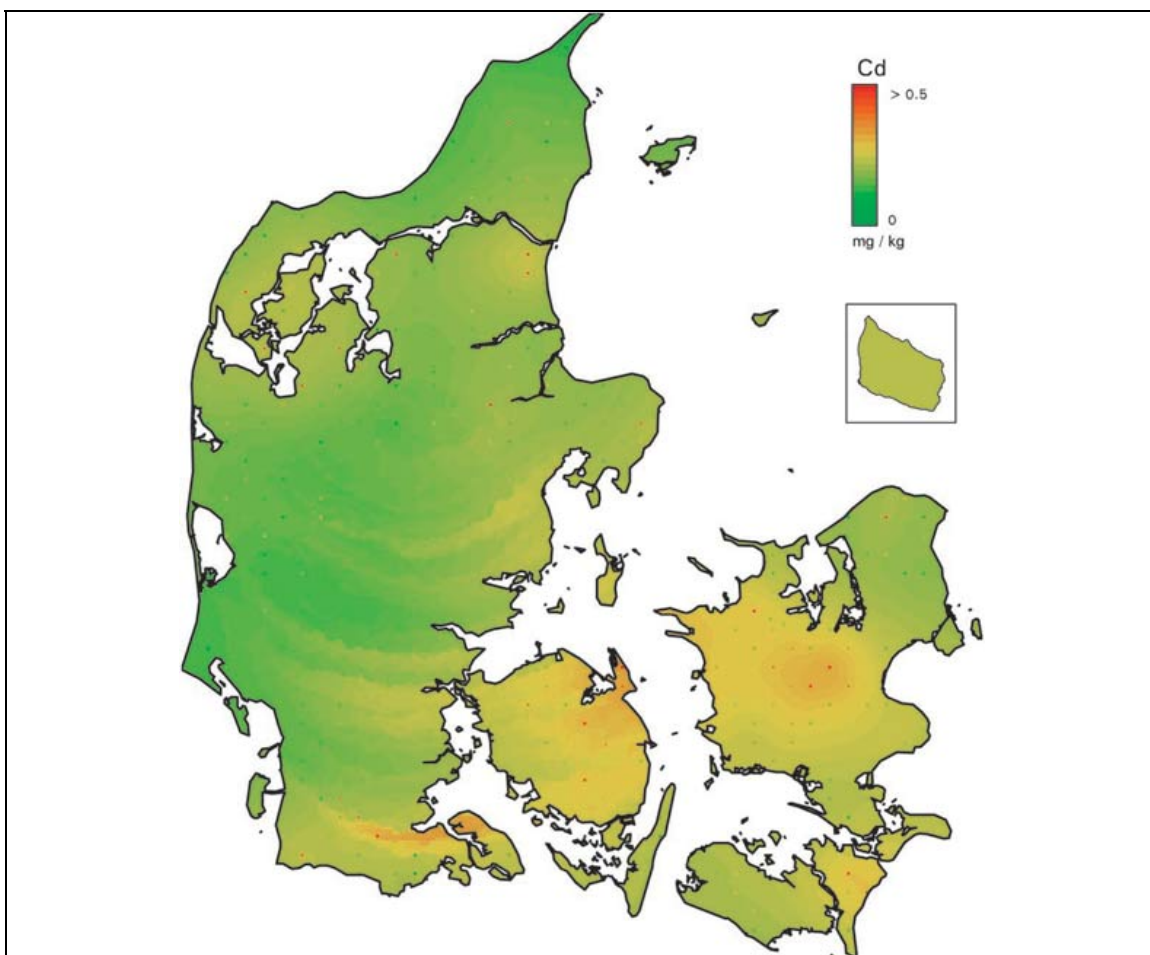
Om man väljer att inte återföra flygaskan på grund av att kadmiumhalten är högre bör man extrahera kalium i t ex Kommunekemis process. Alternativt kan man överväga att använda flygaskan till skogsmark: då kadmiumhalten i träaskor normalt är betydligt högre än i halmaskor kan flygaskans halt fortfarande vara acceptabel.

6.2 Spårämnen

Då halmaskan sprids till åkermark återförs inte bara makronäringsämnen som kalium och fosfor, utan även spårämnen, varav några är mikronäringsämnen och andra inte har någon känd funktion. Kadmium är det grundämne som fått mest uppmärksamhet och saknar troligen funktion i växter.

Då halm från många fastigheter blandas i pannan utjämnas de variationer i askans innehåll som är betingade av varierande förhållanden i åkermarken. Ur en regional synpunkt sker inte någon nettotillförsel av kadmium, men accepteras en omfördelning av kadmium mellan de enskilda fastigheterna?

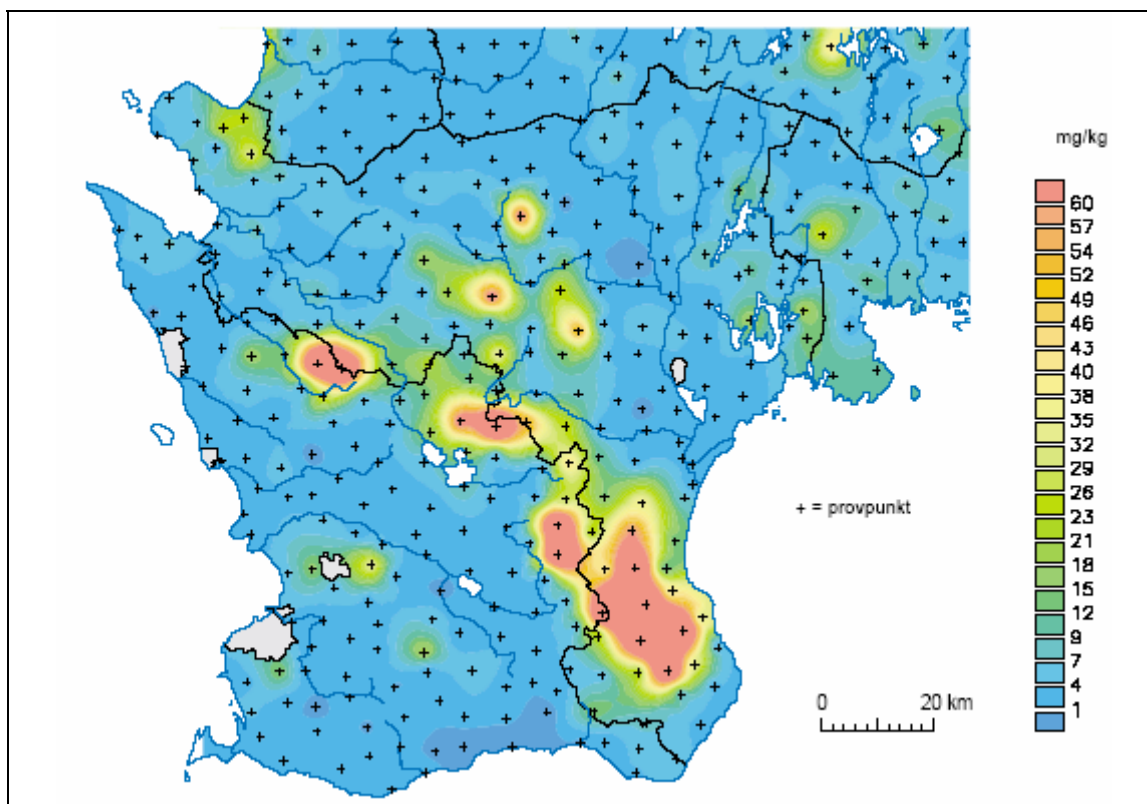
I Danmark har en övre gräns satts på innehåll, varför de askor (och följaktligen de fastigheter) som har en högre halt inte får ingå i spridningen. Det är frågan om lokala överskridanden på en i övrig jämn bakgrundsnivå, se Figur 7.



Figur 7. Kadmiumhalten i dansk åkermark, källa: Danmarks Miljøundersøgelser, www.dmu.dk

Figure 7. The cadmium concentration in Danish soil, source: The Danish National Environmental Research Institute, www.dmu.dk

Skillnaderna är mer utpräglade i södra Sverige, se Figur 8, en karta publicerad av Länsstyrelsen i Skåne [44]. Två av gårdarna ligger i områden som har naturligt hög halt av kadmium i marken. Halmproverna från Tureholm avviker signifikant från halmproverna i sydvästra Skåne vad gäller kadmiuminnehållet. Spridning i analysresultaten från Tureholm är stor. Även Tjustorp har förhöjd halt. I övrigt är metallhalterna i de skånska halmproverna (vetehalm) i samma storleksordning som de beräknade samlingsproven från Høng och Rødby i Danmark vilka anses vara representativa för halmaskor i Danmark [4].



Figur 8. Kadmiumkoncentrationen i bäckvattenväxter i Skåne, Källa: en biogeokemisk kartering utförd av SGU, återgiven av Länsstyrelsen i Skåne

Figure 8. The cadmium concentration in aquatic plants in streams in Scania, Source: a biogeochemical chartering performed by SHU and reprinted by the Scania Län government

Enligt Hansen [4] återfinns c:a 50% av kadmiuminnehållet i flygaskan. Detta beror på att kadmium i dess olika föreningar är jämförelsevis lättflyktig. Om kadmiumföreningen dessutom är löslig är risken för upptag i växterna och utlakning till grundvatten stor om flygaskan sprids till mark. Mycket tyder på att kadmium förekommer som klorid i flygaskan, men det är inte givet:

- Vid aktuell förbränningstemperatur för halmen och klorrik miljö, bildas stabil gasformig kadmiumklorid (CdCl_2)(g) enligt Hansen [4] och Hansen m fl [20]. När temperaturen sjunker i rökgaserna kondenserar kadmiumkloriden på partiklarna i flygaskan, vilket leder till en anrikning i flygaskan. Kloriden är löslig vid neutralt pH.
- I jämförelse med halmaska är kadmiuminnehållet i träaska högre på grund av ett högre innehåll i råmaterialet, samt en lägre askhalt i trä [51]. Till skillnad från halmflygaskan är kadmium hårdare bundet som oxid (CdO) eller silikat (CdSiO_3) i träflygaska och risken för utlakning och växtupptag inte lika stor [52], [53].

Det bör kommas ihåg att bilden över kadmiums förekomst inte är entydig därför att kadmiumhalten är låg. Camerani har undersökt kadmium i flygaska från förbränningen av avfall i fluidbäddpannor och i träflygaska [53]. I avfallsaskor fanns kadmium i s k hot spots på ytan men för träflygaska fanns kadmium i massan av askkornen tillsammans med kalcium. Det finns inga uppgifter om kadmium i bottenaskan från halm.

En förbränning av halm med trä i en panna leder troligen till en förhöjd kadmiumhalt i askorna, men det är inte säkert att det leder till en större miljöpåverkan om träbränslet bidrar till att immobilisera kadmium. Mycket beror på klorhalten i bränslet. Å andra sidan skulle träinblandningen innebära att kaliumhalten sjunker.

Vi vet fortfarande för lite om hur hårt metallerna är bundna till askan och hur växttillgängliga de är. En fördjupad analys bör göras på dessa områden. En fördjupad studie av metallbalans, växtupptag, provtagningsmetodik och provtagningsfrekvens bör genomföras för att undersöka hur kvaliteten hos askan bäst ska säkras och miljöpåverkan minimeras.

6.3 En uppslutningsfråga

Eftersom halmen och halmaskan innehåller förhållandevis mycket kisel bör uppslutningsmetoden varav anpassad därefter. Halmen från de fyra skånska gårdarna har uppslutits med koncentrerad salpetersyra som inte förmår lösa upp kiseloxider. Halten av kisel i de senare analyserna är betydligt lägre än de halter som anslagits i de databaser som utnyttjats (se avsnitt 4.1). Det finns därför en osäkerhet i projektets mätvärden.

Det vore önskvärt att betydelsen av en för svag uppslutning för de halter av väsentliga ämnen som analyslaboratorierna rapporterar kartläggs. I jämförelseprovet av analysmetoder som leddes av dk-Teknik konstaterades att uppslutning av halm med salpetersyra gav för låga koppar- och blyhalter jämfört med de värden som erhållits efter uppslutning med en syrablandning där fluorvätesyra ingick [42]. Då dk-Teknik inte rapporterar avvikelser för andra grundämnen är kanske inverkan av uppslutningsmetoden på resultatet mindre betydande (utom för halten kisel).

7 Slutsatser

Syftet med en återföring av halmaska till den mark där halm tagits ut är att kompensera för uttaget av växtnäringsämnen med halmen, analogt askåterföring i skogssammanhang. Ur tillgängliga analyser, såväl litteraturdata som experimentella data i denna undersökning, framgår att halmaskan innehåller framför allt kalium. Innehållet av fosfor och övriga baskatjoner är lägre. Kadmiumhalten var hög i vetehalm från gårdar med hög kadmiumhalt i matjorden. För övrigt innehåller inte halm och halmaska några anmärkningsvärt höga halter av spårämnen.

Kadmiumhalterna i matjorden skiljer sig signifikant åt inom området som är aktuellt för halmleveranser till det planerade kraftvärmeverket i Örtofta. Kadmiumhalten i aska från vetehalm från fyra gårdar inom detta område beräknas variera mellan 1,5 och 6,2 mg/kg (baserat på uppmätt askhalt och kadmiumhalt i halmproverna).

Om all aska återförs i förhållande till levererad mängd halm är det risk att en gård med låg kadmiumhalt i matjorden får ta emot väsentligt mer kadmium än som lämnat gården med levererad halm. Risken för att det sker kan minskas på olika sätt.

Enklast är att elda halm områdesvis och återföra askan till samma område som halmen kom från. Det kan dock bli svårt att administrera. Ett annat sätt är att inte köpa halm från områden som man vet har hög halt av kadmium i matjorden. Det kan eventuellt innebära något längre transporter för att få tag på önskad halmmängd till kraftvärmeverket i Örtofta.

Ytterligare alternativ är att endast återföra bottenaskan, som är känd för att ha lägre halt kadmium än cyklon- och filteraska. De cirka 75 % som utgörs av bottenaska innehåller enbart ungefär hälften av askans kadmiuminnehåll, men cirka 80 % av fosfor. Tyvärr går man då miste om cirka 50 % av all kalium i askan.

Om bottenaskan återförs till en fjärdedel av den yta som halm tagits från, kan ca 750 kg aska spridas per hektar vart fjärde år. Då tillförs ca 90 kg kalium och ca 7 kg fosfor per hektar. Denna askgiva bör vara möjlig att sprida med en rörspridare för kalkprodukter om askan härdats, krossats och siktats.

I de fall man anser att kaliumtillförseln (90 kg per hektar) blir för stor vid spridning av bottenaskan vart fjärde år, så kan spridning av halmaskan i stället ske vart annat (två gånger i en växtföljd) eller vart tredje år, vilket medför en tillförsel av kalium med 45 resp 60 kg per hektar.

Om förlusterna av kalium med en deponering av flygaskan bedöms vara för stora kan extraktion av kalium från flygaskan, analogt Kommunekemis process, ge möjligheten att minska dem. I så fall återvinns kalium och en mindre mängd aska deponeras.

8 Rekommendationer och förslag till fortsatt arbete

Återföring av halmaska till åkermark kan genomföras och arbetet med att utveckla den bör fortsätta efter denna förstudie.

Denna förstudie behöver utvecklas på flera punkter:

- Hur återföra en liten mängd fast aska till åkermark, med minsta negativa påverkan i övrigt. Utrustning för spridning av halmaska har tidigare granskats i några svenska undersökningar, och innan man går vidare bör ytterligare information inhämtas från utlandet om teknik för spridning av halmaska
- Utprovnigen av kalkspridare, modell rörspridare, för spridning av agglomererad aska (t ex självhärdad, krossad och siktad halmaska)
- Eftersom askan fasas in som ett gödselmedel bör en beräkningsmetod för askgivortas fram. Det innebär bl a en analys av växttillgänglighet hos kalium och fosfor
- Växttillgängligheten för kadmium bör belysas för att bedöma var i växtföljden askan bör tillföras så att risken för upptag av kadmium i växterna minimeras
- Om man väljer att endast återföra bottenaska bör man fortsatt utreda möjligheten att utvinna kalium från flygaskan, eftersom 50 % av kaliuminnehållet finns där
- Problemet med skillnad i kadmiumhalten beroende på lokala variationer i matjordens kadmiumhalt kan hanteras på tre principiellt olika sätt:
 - Elda halm områdesvis och återför askan till samma område
 - Uteslut halmleveranser från områden med känt hög halt av kadmium i matjorden
 - Återför endast bottenaskan, men till hela upptagningsområdet

9 Litteraturreferenser

- [1] BEK nr 39 af 20 januar 2000; ”Bekendtgørelse om anvendelse af aske fra forgasning og forbrænding af biomasse of biomassaffald til jordbrugsformål”
- [2] Forsberg M, Baky A, Westlin H, Ljungberg D och Ytterberg P; ”Jordbruget som leverantör av åkerbränsle till storskaliga kraftvärmeverk - Fallstudie Värtan”, Jorbrukstekniska Institutet, Uppsala 2007, JTI-rapport 361
- [3] Nikolaisen L, Nielsen C, Larsen M G, Nielsen V, Zielke U, Kritsiansen J K och Holm-Christensen B; ”Straw for energy production, Technology-Environment-Economy”, 2. upplaga, Videntcenter for Halm- og Flisfyr, Köpenhamn 1998, tillgänglig på www.videncenter.dk
- [4] Hansen M T; ”Separation og genanvendelse af aske fra biobrændselsanlæg”, Miljøstyrelsen, Köpenhamn 2004, rapport för Miljøprojekt nr 962
- [5] Morsing M och Westborg S; ”Aske fra halm- og flisfyrede værker till jordbrugsmæssig anvendelse - Forprojekt”, Energistyrelsen, Köpenhamn 1994, jnr 51161/94-006, rapport NEI-DK-2034
- [6] BEK nr 1636 af 13/12/2006; ”Bekendtgørelse om anvendelse af aske fra forgasning og forbrænding af biomasse of biomassaffald til jordbrugsformål”
- [7] Dansk Fjernvarme; ”Vejledning til Bioaskebekendtgørelsen”, Köpenhamn 2000, 2. oplagan
- [8] BEK nr 818 af 21 juli 2008; ”Bekendtgørelse om anvendelse af bioaske till jordbrugsformål”, tillgänglig på www.retsinfo.dk
- [9] Hansen M T och Westborg S; ”Tilfældige analyser afgør om halmaske er gødning eller affald”, Dansk Bioenergi nr 53 (2000), sid 16-17
- [10] I Krüger Systems AS; ”Slam og halmaske till gødning”, Miljøstyrelsen, Köpenhamn 1992, Spildevandsforskning fra Miljøstyrelsen, rapport nr 28
- [11] Hansen A B, Vikelsøe J, Avnskjold J och Johansen E; ”Dioxin i bioaske”, Danmarks Miljøundersøgelser, Köpenhamn 2004, rapport DMU 464
- [12] Pedersen A J, Ottosen L M, Simonsen P och Christensson T C; ”Elektrokemisk fjernelse af cadmium fra bioaske”, Danmarks Tekniske Universitet, Kongens Lyngby 2004, rapport BYG-DTU R-101
- [13] Elkraft System; ”Forskning og udvikling 2005”, Ballerup 2005, tillgänglig på www.miljoenligelproduktion2007.dk
- [14] Skøtt T; ”Halmaske bliver til værdifuld gødning”, Dansk Bioenergi nr 86 (2006), sid 4-6
- [15] Völcker L; ”Halmbehandlingsanlæg omdanner halmflyveaske till gødning”, Fjernvarmen 2006:5, sid 12-13
- [16] Vestervang S; ”Halmflyveaske – fra affald till gødningsstof”, Dansk Kemi, 86:11 (2005), 18-22
- [17] Danneskiold-Samsøe H och Thomsen K; ”Selektiv kristallisation af kaliumsalte fra biomasseflyveaske”, Danske Kemi 87:10 (2006), 16-19

-
- [18] Nielsen P S, Houmøller S, Fock M W, Kirstein H och Ottosen L; "Elektrokinetisk rensning af aske – fase 1 – Resultater af rensningsførsøg med halm- og træaske og vurdering af metodens egnethed", dk-Teknik, Søborg 1999, rapport till Energistyrelsen, jnr 51161/97-0053
- [19] Pedersen A J; "Electrodialytic removal of heavy metals from fly ashes", doktorsavhandling vid Danmarks Tekniske Universitet, Köpenhamn 2002
- [20] Hansen H K, Pedersen A J, Ottosen L M och Villumsen A; "Speciation and mobility of cadmium in straw and wood combustion fly ash", Chemosphere 45:1 (2001), sid 123-128
- [21] Pedersen A J, Ottosen L M, Simonsen P och Aune J; "Elektrokemisk fjernelse af Cd fra bioaske i pilotskala og vurdering af mulighederne for nyttiggørelse af behandlet aske i beton", Danmarks Tekniske Universitet, Kongens Lyngby 2006, rapport BYG-DTU R-130
- [22] Munk M; "Gratis Gødning – få fosfor- og kaliumgødning leveret og udbragt gratis", Landbo Syd juni 2006, sid 23
- [23] Olsen J; "Udbringning TASP og bioaske", Miljøstyrelsen, Köpenhamn 2002, rapport för Miljøprojekt nr 703
- [24] Bernesson S, Olsson J, Rodhe L, Salomon E och Hansson P-A; "Inblandning av aska från biobränslen i flytande biogasrötrest", SLU, Inst f energi och teknik, Uppsala 2008, rapport 002
- [25] Gruvaeus I och Marmolin C; "Återföring av aska från bioenergigrödor odlade på åkermark", Hushållningssällskapet Skaraborg, Skara 2007, rapport nr 1/07
- [26] Hansson A; "Möjliga jordförbättringsmedel att använda i ekologisk odling", Agellus Miljökonsulter, Eslöv 2002, rapport tillgänglig på Internet
- [27] Grevendahl K-E; "Hantering av biobränsleaska – Lokala Miljöriktlinjer", dokument LMR0622 (2001), i rapporten "Eldning av havre för uppvärmning" hos LRF:s Länsförbund i Skaraborg, för ett samprojekt genomförd 2004 av KanEnergi, Chalmers Tekniske Högskola och ÄFAB, www.afabinfo.se
- [28] Hadders G och Flodén S; "Spridning av aska från stråbränslen på åkermark – Förutsättningar och rekommendationer", Jordbrukstekniska Institutet, Ultuna 1997, JTI-rapport 234
- [29] Sander M-L och Andrén O; "Ash from cereal and rape straw used for heat production: liming effect and contents of plant nutrients and heavy metals", Water, Air and Soil Pollution, 93:1-4 (1997), sid 93-108
- [30] Flodén S; "Spridning av aska från stråbränsle med spridare för stallgödsel – En orienterande studie av tre spridare", Jordbrukstekniska Institutet, Ultuna 1995, JTI-rapport 211
- [31] Hammarström J (Telge Nät AB); telefonsamtal våren 2008
- [32] Acciona Energia; "Planta de Biomassa por combustión de paja en Sangüesa", broschyr tillgänglig på www.acciona-energia.es under 2008
- [33] Labalette F och Jacquín C; « Pailles de plantes entières pour l'usine de production de bioélectricité de sangüesa (groupe Acciona Espagne) », odaterat föredrag, tillgängligt hösten 2008 på <http://webetab.ac->

- bordeaux.fr/Etablissement/AFallieres/forumDD/bioelectricite_sanguesa_espagne.pdf
- [34] EPR Ltd, www.epri.co.uk, våren 2008
- [35] GB-BIO Ltd, www.gb-bio.com, våren 2008
- [36] Eco2 Biomass Ltd, www.eco2.co.uk och www.sleafordrep.co.uk, våren 2008
- [37] Tesco plc; "Tesco to get power from straw", pressmeddelande, http://www.tescopl.com/plc/corporate_responsibility/news/press_releases/pr2008/2008-07-18/
- [38] Couturier C och Brasset T; « Gestion et valorisation des cendres chaufferies bois - Réglementation », ADEME, Angers 2005
- [39] Schneider C; « Combustion de la paille pour produire de l'énergie : Agroénergie », odatrat föredrag, tillgängligt hösten 2008 på http://webtab.ac-bordeaux.fr/Etablissement/AFallieres/forumDD/combustion_paille.pdf
- [40] Conseil Général du Loir-et-Cher; « Inauguration de la première installation de chaufferie à granulés de paille en France », pressmeddelande 2008-02-07, <http://www.cg41.fr/jahia/webdav/site/cg41/shared/presse/dp/2008/dp-02-07-08-chaufferie-paille.pdf>
- [41] Olanders B & Steenari B-M; "Characterization of ashes from wood and straw", Biomass and Bioenergy 8:2 (1995), sid 105-115
- [42] Nielsen C and Westborg S; "IEA Round Robin analysis of straw and straw ashes", dk-Teknik, Köpenhamn 1992, rapport till IEA-Biomass Conversion Task VII, Conversion of straw and similar agricultural wastes
- [43] Tremel-Schaub A och Feix I; "Contamination des sols – Transferts des sols vers les plantes", EDP Sciences, Les Ulis 2005
- [44] Länsstyrelsen i Skåne; "Kadmiumsituationen i Skåne, Delrapport 1, Exempel på kadmiumkällor och halter i den skånska miljön", Länsstyrelsen i Skåne, Miljöenheten, Malmö 2003, Skåne i utveckling, 2003:46
- [45] Länsstyrelsen i Skåne; "Kadmiumsituationen i Skåne, Delrapport 2, Kadmium inom Höjeåns avrinningsområde – en substansflödesanalys", Länsstyrelsen i Skåne, Miljöenheten, Malmö 2003, Skåne i utveckling, 2003:47
- [46] Yara; "Gödslingsråd Säsongen 2009", broschyr tillgänglig som http://fert.yara.se/library/attachments/news_room/publications/brochures/godslrad_09_uppsl.pdf
- [47] SNFS 1994:2, MS:72, Kungörelse med föreskrifter om skydd för miljön, särskilt marken, när avloppsslam används i jordbruket
- [48] Jordbruksverket; "Riktlinjer för gödning och kalkning 2008", Jordbruksverket, Jönköping 2007, Rapport 2007:22
- [49] Linderholm K, Palm O och Persson P; "Plant availability of phosphorus in ash, calcium phosphate and different types of sewage sludge", Vatten, Vol. 59(2003), sid 161-167
- [50] Jordbruksverket; "Försäljning av handelsgödselmedel 2004/2005", Jordbruksverket, Jönköping 2006, Statistikrapport 2006:1

-
- [51] Pedersen A J; "Characterization and electro-dialytic treatment of wood combustion fly ash for the removal of cadmium", *Biomass Bioenergy* Vol. 25 (4) (2003) 447–458
- [52] Hansen H K, Ottosen L M och Villumsen A; "Electro-dialytic removal of cadmium from straw combustion fly ash", *J. Chem. Technol. & Biotechnol.* 79:7 (2004), sid 789-794
- [53] Camerani Pinzani C; "Cadmium distribution and speciation by synchrotron radiation induced X-ray microprobe techniques application to municipal solid waste and biomass fly ashes", doktorsavhandling vid Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg 2003
- [54] Mattsson J E; "Affärsutveckling – Närodlade stråbränslen till kraftvärmeverk", SLU Alnarp, Inst f landskaps- och trädgårdsteknik, Alnarp 2006, rapport 2006:8
- [55] Newman R; "A trial burn of rape straw and whole crops harvested for energy use to assess efficiency implications", DTI, London 2003, report B/U1/00768/00/00, URN 03/1569

Bilagor

A Primärdata från halmanalyserna

Data är medelvärden från tre bestämningar. Proven har uppslutits i salpetersyra.

Tabell 9. Primärdata från analyser av halm inom projektet

Table 9. Primary data from the analyses of straw within the project

Prov id	Enhet	Tureholm	Tjustorp	Böringe	Nöbbelev
C	mg/kg, TS	449600	448267	469433	447567
N	mg/kg, TS	9067	6700	3800	5600
K	mg/kg, TS	11953	10697	9060	5045
P	mg/kg, TS	1511	1025	468	644
S	mg/kg, TS	1791	1147	641	799
Ca	mg/kg, TS	3602	2795	2163	3398
Mg	mg/kg, TS	1022	745	412	498
Fe	mg/kg, TS	62	43	61	108
B	mg/kg, TS	3,4	2,6	2,8	2,7
Mn	mg/kg, TS	40,3	29,4	28,6	13,5
Zn	mg/kg, TS	20,7	10,3	5,8	6,2
Cu	mg/kg, TS	2,1	1,9	1,8	1,8
Na	mg/kg, TS	112	110	88	140
Si	mg/kg, TS	862	1109	1331	1398
Al	mg/kg, TS	16,5	9,9	20,3	43,8
Cr	mg/kg, TS	< 1	< 1	< 1	< 1
Co	mg/kg, TS	0,020	0,014	0,024	0,036
Ni	mg/kg, TS	0,17	0,12	0,17	0,20
Se	mg/kg, TS	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Rb	mg/kg, TS	3,4	3,2	2,6	2,4
Sr	mg/kg, TS	12,2	12,6	16,0	20,6
Mo	mg/kg, TS	1,90	3,73	0,54	0,54
Cd	mg/kg, TS	0,310	0,210	0,091	0,077
Sn	mg/kg, TS	0,136	0,050	0,062	0,059
Ba	mg/kg, TS	130,7	125,7	38,7	38,0
Hg	mg/kg, TS	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Pb	mg/kg, TS	0,29	0,29	0,20	0,36
Klorid	mg/kg, TS	2383	4060	3210	1114
NO₃-N	mg/kg, TS	31	9	28	16
NH₄-N	mg/kg, TS	61	52	52	44
Glödförlust	% av TS	94,4	94,5	96,4	94,7
TS-halt	%	90,0	88,4	90,5	86,4

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