

Separation og genanvendelse af aske fra biobrændselsanlæg

Morten Tony Hansen
dk-teknik

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Indhold

FORORD	7
SAMMENDRAG	9
1 SAMMENFATTENDE ARTIKEL	11
1.1 RECIRKULERING AF BIOMASSEASKER TIL MARK OG SKOV	11
1.1.1 BAGGRUND OG FORMÅL	11
1.1.2 UNDERSØGELSEN	12
1.1.3 HOVEDKONKLUSIONER	12
1.1.4 PROJEKTRESULTATER	13
2 INTRODUKTION TIL PROJEKTET	17
2.1 BAGGRUND	17
2.2 FORMÅL	17
2.3 RESULTATER OG MÅLGRUPPE	18
2.4 ORGANISATION OG OPGAVEFORDELING	18
2.4.1 Samarbejdspartnerne	18
2.4.2 Aktivitetsplan	19
2.4.3 Rapporteringen	19
2.5 FINANSIERING	19
3 LOVGRUNDLAG OG BAGGRUND	21
3.1 BIOASKEBEKENDTGØRELSEN	21
3.1.1 Markedet for biomasseaske	21
3.1.2 Mængder og grænseværdier	22
3.2 CADMIUM I BIOBRÆNDSLER OG -ASKER	23
3.2.1 Oprindelse af cadmium i biomasseaske	23
3.2.2 Typiske cadmiummængder	24
4 STATUS FOR ASKEMÆNGDER	25
4.1 STATUS FOR ASKEMÆNGDER FRA FJERNVARMEVÆRKERNE	25
4.1.1 Spørgeskemaundersøgelse	25
4.1.2 Halmfyrede værker	25
4.1.3 Træflisfyrede værker	27
4.1.4 Træpillefyrede værker	28
4.1.5 Samlet status for fjernvarmeværkerne	29
4.2 STATUS FOR ASKEMÆNGDER FRA DE STORE HALMFYREDE KRAFTVARMEVÆRKER	30
4.2.1 Enstedværkets biokedel	30
4.2.2 Måbjergværket	30
4.2.3 Rudkøbing Kraftvarmeværk	31
4.2.4 Haslev Kraftvarmeværk	31
4.2.5 Slagelse Kraftvarmeværk	31
4.2.6 Masnedø Kraftvarmeværk	32
4.2.7 Maribo-Sakskøbing Kraftvarmeværk	32
4.2.8 Samlet status for de store, halmfyrede kraftvarmeværker	32
4.3 STATUS FOR ASKEMÆNGDER FRA ANDRE ANLÆG	32
4.4 SAMLET STATUS FOR ASKEMÆNGDER FRA ALLE ANLÆG	33

5	GENANVENDELSE AF BIOASKE OG TEKNISKE MULIGHEDER	35
5.1	ASKEHÅNDBLING PÅ FJERNVARMEVÆRKER	35
5.1.1	<i>Halmfyrede værker</i>	35
5.1.2	<i>Træflisfyrede værker</i>	37
5.1.3	<i>Træpillefyrede værker</i>	39
5.1.4	<i>Samlet status for askehåndtering på fjernvarmeværker</i>	40
5.2	ASKEHÅNDBLING PÅ STORE, HALMFYREDE KRAFTVARMEVÆRKER	41
5.2.1	<i>Enstedværkets biokedel</i>	41
5.2.2	<i>Måbjergværket</i>	43
5.2.3	<i>Rudkøbing Kraftvarmeværk</i>	43
5.2.4	<i>Haslev Kraftvarmeværk</i>	44
5.2.5	<i>Slagelse Kraftvarmeværk</i>	44
5.2.6	<i>Masnød Kraftvarmeværk</i>	45
5.2.7	<i>Maribo-Sakskøbing Kraftvarmeværk</i>	46
5.2.8	<i>Cadmium i halm og halmaske</i>	47
5.2.9	<i>Sammenfatning og konklusion for store kraftvarmeværker</i>	48
5.3	ASKEHÅNDBLING I ANDRE ANLÆG	50
5.4	SAMLET STATUS FOR ASKEHÅNDBLING PÅ ALLE ANLÆG	50
6	KEMISK ANALYSE AF UDVALGTE BIOMASSEASKER	53
6.1	UDTAGNING AF ASKEPRØVER	53
6.1.1	<i>Prøvetagning og instruktion</i>	53
6.1.2	<i>Udvalgte værker</i>	54
6.1.3	<i>Prøveudtagningsprocedurer</i>	55
6.2	ANALYSERESULTATER FOR UDTAGNE ASKEPRØVER	61
6.2.1	<i>Analyser</i>	61
6.2.2	<i>Analyseresultater</i>	62
6.3	VURDERING AF ASKEANALYSER	63
6.3.1	<i>Halmasker (Høng og Rødby)</i>	64
6.3.2	<i>Flisasker (Hurup og Græsted)</i>	66
6.4	PAH-ANALYSER	67
6.4.1	<i>Vurdering af PAH-analyser</i>	68
7	STATUS FOR NÆRINGSSTOFMÆNGDER OG CADMIUM	71
7.1	NÆRINGSSTOFMÆNGDER	71
7.2	CADMIUMMÆNGDER	72
8	ANVENDELSE AF HALMASKE TIL LANDBRUGSFØRMÅL	73
8.1	VURDERING AF HALMASKENS GØDNINGSVÆRDI	73
8.1.1	<i>Indledning</i>	73
8.1.2	<i>Bortførelse af næringsstoffer i halm og tilførselsbehov</i>	74
8.1.3	<i>Vurdering af halmaske som gødning</i>	75
8.1.4	<i>Sammenfatning om halmaskes gødningsværdi</i>	78
8.2	OMKOSTNINGER VED UDBRINGNING AF ASKE PÅ LANDBRUGSJORD	79
8.2.1	<i>Indledning</i>	79
8.2.2	<i>Metoder til udbringning af halmaske</i>	79
8.2.3	<i>Omkostninger til udspreddning af halmaske</i>	80
8.2.4	<i>Sammenfatning om omkostninger ved udbringning af halmaske på mark</i>	81
9	ANVENDELSE AF TRÆASKE I SKOVBRUGET	83
9.1	INDLEDNING	83
9.2	KOMPENSATION FOR NÆRINGSSTOF-TAB VED UDBRINGNING AF ASKE I SKOV	83

9.2.1	<i>Gødskningsbehovet</i>	84
9.2.2	<i>Askens gødningsværdi</i>	86
9.3	OMKOSTNINGER VED UDBRINGNING AF ASKE I SKOV	88
9.3.1	<i>Storskalaforsøg med askehåndtering i Sverige</i>	88
9.3.2	<i>Danske erfaringer med udspredning af aske</i>	91
9.3.3	<i>Sammenfatning af omkostninger ved udbringning af aske i skov</i>	92
9.3.4	<i>Omkostninger ved udspredning af aske - et regneeksempel</i>	93
9.4	SAMMENFATNING OM ANVENDELSE AF TRÆASKE I SKOVEN	94
10	SEPARATION AF ASKEFRAKTIONER PÅ BIOMASSEVÆRKER	97
10.1	HALMVÆRKER	97
10.1.1	<i>Høng</i>	97
10.1.2	<i>Rødby</i>	98
10.1.3	<i>Rødby Havn</i>	98
10.2	TRÆFLISVÆRKER	98
10.2.1	<i>Hurup</i>	98
10.2.2	<i>Græsted</i>	99
10.3	ANALYSEOMKOSTNINGER	99
10.4	SAMMENFATNING OM ASKESEPARATION PÅ BIOMASSEVÆRKER	100
11	MULIGHED FOR SAMARBEJDE MELLEM STORE OG SMÅ VÆRKER	101
11.1	STATUS FOR LABORATORIE- OG FULDSKALAFORSØG PÅ ENSTEDVÆRKET	101
11.2	VURDERING AF SAMARBEJDSMULIGHEDER MELLEM SMÅ OG STORE VÆRKER	103
12	SCENARIO FOR GENANVENDELSE AF BIOMASSEASKE	105
12.1	SCENARIO FOR HALMFYREDE VÆRKER	105
12.2	SCENARIO FOR TRÆFYREDE VÆRKER	106
12.3	PROGNOSE FOR FREMTIDIGE ASKEMÆNGDER	106
12.4	KONSEKVENSER FOR ASKEHÅNTERINGEN	108
13	KONKLUSION OG ANBEFALINGER	109
14	LITTERATURLISTE	115
Bilag A	Fraførsel og maksimal tilførsel af cadmium for landbrugsarealer	
Bilag B	Spørgeskemaer udsendt til fjernvarmeværker	
Bilag C	Analyserapporter	
Bilag D	PAH analyserapport	

Forord

Denne projektrapport markerer afslutningen på projektet "Separation og genanvendelse af aske fra biobrændselsanlæg", som dk-TEKNIK ENERGI & MILJØ har gennemført for Miljøstyrelsen i samarbejde med Danske Fjernvarmeværkers Forening, Tech-wise A/S (tidl. ELSAMPROJEKT A/S), Forskningscentret for Skov & Landskab, Landskontoret for Bygninger og Maskiner (Landbrugets Rådgivningscenter) og Landskontoret for Planteavl (Landbrugets Rådgivningscenter). Projektarbejdet er gennemført af en række fagpersoner i de nævnte organisationer:

Danske Fjernvarmeværkers Forening

- Viktor Jensen

Tech-wise A/S

- Bo Sander

Forskningscentret for Skov & Landskab

- Niels Heding
- Thomas Nord-Larsen

Landskontoret for Bygninger og Maskiner

- Jørgen Hinge

Landskontoret for Planteavl

- Leif Knudsen

dk-TEKNIK ENERGI & MILJØ

- Jesper Cramer
- Morten Tony Hansen
- Jesper Werling
- Susanne Westborg

Samarbejdet frem mod denne rapport er løbende blevet koordineret på tre styregruppemøder.

Styregruppen har ud over ovennævnte haft følgende deltagere:

Miljøstyrelsen

- Svend Erik Jepsen
- Povl Rasmussen.

Energistyrelsen

- Finn Bertelsen

Danmarks Miljøundersøgelser

- Gunnar Pritzl

Energi E2

- Carsten Hübbe

Forskningscentret for Skov & Landskab

- Simon Skov

Samarbejdet mellem parterne i styregruppen har gennem projektforløbet været konstruktivt og givende, og dk-TEKNIK ENERGI & MILJØ vil derfor gerne takke ovennævnte personer for et positivt projektforløb.

Sammendrag

Rapporten giver et samlet overblik over nuværende og fremtidige forhold vedrørende aske fra de biobrændselsfyrede anlæg i Danmark samt mulighederne for at påvirke disse forhold. Resultaterne i rapporten er et udgangspunkt for politikere, embedsmænd og andre aktører for at forme tiltag, der kan medvirke til at øge recirkuleringen af biomasseaske uden at der sker en opkoncentrering af miljøfremmede stoffer i miljøet. En øget recirkulering af askerne er nødvendig for at undgå, at værdifulde næringsstoffer deponeres - specielt fremover, hvor brugen af biomasse i energiforsyningen og dermed askemængderne forventes at stige yderligere.

Efter en kort gennemgang af Bioaskebekendtgørelsen, der regulerer anvendelse af bioasken til gødningsformål og er formuleret for at beskytte jorden og undgå forurening med bl.a. tungmetaller, giver rapporten en samlet status over den nuværende brug af biobrændsler og produktion af biomasseasker på alle danske biomassefyrede fjernvarme- og kraftvarmeanlæg. Produktionen af biomasseasker i Danmark viser sig at være 50% større end forventet. For alle biobrændselsværker gennemgår rapporten hvorledes asken håndteres og bortskaffes.

Som et led i projektet er der gennem en periode udtaget prøver af restprodukter fra fire biomassefyrede fjernvarmeværker. Prøvernes kemiske sammensætning er analyseret og vurderet i henhold til Bioaskebekendtgørelsen. Askeprøverne vurderes at være repræsentative for bioasker fra fjernvarmeværker og ligger til grund for en vurdering af gødningsværdi og omkostninger ved udbringning af askerne på mark og i skov samt for en status over hvor meget cadmium, der med asken spredes på mark og i skov samt hvor stor en mængde næringsstof, der sendes til deponi i Danmark.

Da disse tal viser, at der er plads til forbedringer, giver rapporten en vurdering af omkostningerne ved at håndtere askefraktionerne separat på fjernvarmeværker og til deponi af aske. Rapporten omhandler endvidere en metode til at skille miljøfremmede stoffer fra asken, der er udviklet af Elsam med henblik på at kunne oparbejde askens næringsstoffer og sælge den til gødningsformål. Rapporten behandler muligheden for at bruge metoden til aske fra mindre værker.

Med henblik på at give et skøn over den fremtidige produktion af biomasseaske, opstiller rapporten et scenario for den fremtidige anvendelse af biobrændsel og den deraf afledte askeproduktion. I rapporten forventes askeproduktionen i 2030 at være over dobbelt så stor som i 2000.

Emneord: biobrændsel, aske, genanvendelse, cadmium

1 Sammenfattende artikel

1.1 Recirkulering af biomasseasker til mark og skov

Projektet "Separation og genanvendelse af aske fra biobrændselsanlæg", der er finansieret af Miljøstyrelsen, giver et samlet overblik over nuværende og fremtidige forhold vedrørende asker fra de biobrændselsfyrede anlæg i Danmark samt mulighederne for at påvirke disse forhold. Resultaterne i rapporten er et udgangspunkt for bioenergiaktører til at forme tiltag, der kan medvirke til at øge recirkuleringen af biomasseaske. En øget recirkulering af askerne er nødvendig for at undgå, at værdifulde næringsstoffer deponeres - specielt fremover, hvor brugen af biomasse i energiforsyningen og dermed askemængderne forventes at stige yderligere.

1.1.1 BAGGRUND OG FORMÅL

Gennem de seneste 20 år er brugen af biomasse til at fremstille varme og elektricitet på varme- og kraftvarmeværker steget kraftigt i Danmark. Der er løbende kommet mere fokus på anlæggenes emissioner og restprodukter. Håndtering af asken fra biomassefyrede energianlæg er siden januar 2000 blevet reguleret efter "Bekendtgørelse om anvendelse af aske fra forgasning og forbrænding af biomasse og biomasseaffald til jordbrugsformål".

Bioaskebekendtgørelsen har som hovedprincip, at næringsstofferne fra halmaske skal tilbageføres til markerne, mens næringsstofferne i træaske skal bruges i skovene. Den angiver retningslinier for, hvordan asken kan anvendes. Cadmiumindholdet er afgørende for hvordan asken inddeles i kategorier.

Kategori	Beskrivelse	Max. Cd-indhold (mg Cd pr kg TS)	Max. udbringningsmængde
H1	Halmaske	5	0,5 t TS/ha/5 år
H2	Halmaske	2,5	1,5 t TS/ha/5 år
H3	Halmaske	0,5	5 t TS/ha/5 år
T1	Træaske	15	0,5 t TS/ha/10 år
T2	Træaske	8	1,0 t TS/ha/10 år
T3	Træaske	0,5	7,5 t TS/ha/10 år
H+T	Blandingsaske	5	0,5 t TS/ha/5 år

En række barrierer, der opstår på grundlag af bekendtgørelsens krav, har betydet, at en del af den næringsstoffoldige biomasseaske i dag ikke genanvendes til jordbrugsformål, men i stedet deponeres dyrt til ingen nytte. Den deponerede mængde næringsstof forventes at stige fremover med den stigende brug af biomasse i energiforsyningen.

Denne artikel markerer afslutningen på projektet "Separation og genanvendelse af aske fra biobrændselsanlæg", som dk-TEKNIK ENERGI & MILJØ har gennemført for Miljøstyrelsen i samarbejde med Danske Fjernvarmeværkers Forening, Tech-wise A/S, Forskningscentret for Skov & Landskab og Landbrugets Rådgivningscenter (Landskontoret for Bygninger og Maskiner og Landskontoret for Planteavl).

Formålet med projektet er at afklare barrierer og vurdere tekniske muligheder for, at en større del af asken fra biomassefyrede anlæg kan nyttiggøres som gødning på landbrugs- og skovbrugsarealer på en miljømæssig og økonomisk forsvarlig måde. Vurderingen skal ske på baggrund af en status for genanvendelsen af biomasseaske i Danmark, som tilvejebringes i projektet.

1.1.2 UNDERSØGELSEN

I projektet er der indsamlet data om den nuværende praksis med håndtering af bioasker og erfaringer med askeseparering på alle danske biomassefyrede fjernvarme- og kraftvarmeanlæg. De miljømæssige fordele og de tekniske muligheder for askeseparering kortlægges. Projektet giver en overordnet vurdering af gødningsværdien af bioasker samt landbruget og skovbrugets økonomi i at genanvende bioasken. Værkernes omkostningerne ved at implementere askeseparationssystemer vurderes.

Med udgangspunkt i denne status, vurderer projektet ved opstilling af et scenario mulighederne for at øge genanvendelsen af bioaske ved separation af aske i bund- og flyveaske på biobrændselsanlæggene. Desuden belyses mulighederne for samarbejde mellem store og små værker.

1.1.3 HOVEDKONKLUSIONER

Projektet repræsenterer den hidtil mest omfattende samling af viden om asker fra danske biomassefyreanlæg med data og oplysninger om aske fra alle biobrændselsanlæg i landet. Man har hidtil antaget, at askeproduktionen på store anlæg lå på 20.000 t/år, men opgørelsen viser, at tallet er 50% større. Inklusiv aske fra blokvarmecentraler, individuelle kedler og brændeovne produceres årligt ca. 55.000 ton biomasseaske.

De indsamlede data viser, at Bioaskebekendtgørelsen virker - en stor del af den cadmium, der optræder med biomasseasker bliver deponeret. Vurderinger af askernes gødningsværdi og omkostninger til udbringning viser, at en stor del af næringsstofferne i halmasker kan genanvendes, mens det for træaske er mere kompliceret og fx ville kræve pelletering af asken.

Projektet viser, at en mere optimal udnyttelse af næringsstofferne i askerne kan opnås ved at håndtere askefraktionerne separat. Det gør de større kraftvarmeværker allerede, mens fjernvarmeværkerne i de fleste tilfælde kræver en ombygning. Projektet konkluderer, at omkostningerne hertil ligger på et rimeligt niveau på 30 - 70 kroner pr. ton aske for halmværkerne, men op til 10 gange højere for flisværkerne.

Elsam har udviklet en metode til oparbejdning af næringsstofferne i flyveaske ved askevask. Projektet vurderer, at den kræver udvikling og billiggørelse kombineret med en fritagelse for periodisk analyse af bundasken, for at de halmfyrede varmeværker får et afgørende incitament til separation af bundaske og flyveaske.

Projektet konkluderer i et scenario for hvordan bioaske kan genanvendes og en fremskrivning situationen for bioaske i Danmark, at det på kort sigt vil være muligt at opnå visse forbedringer i genanvendelsen af især halmaskernes næringsstoffer. På længere sigt forventes det, at alle biobrændselsanlæg et udstyret med separat håndtering af askefraktionerne. Mens den årlige bioaskeproduktion i større kollektive fyreanlæg i 2000 lå på godt 32.000 t,

forventer projektet, at samfundet i 2030 årligt skal håndtere op mod 70.000 t biomasseaske.

1.1.4 PROJEKTRESULTATER

1.1.4.1 Askemængder og anvendelse

I projektet opregnes den samlede askemængde i år 2000 for alle, større danske biomasseanlæg.

2000 Aske i t TS/år	Total askeproduktion	Udbringes på mark/skov	Deponeres
Halmfyrede fjernvarmeværker	13.440	10.750	2.690
Træflisfyrede fjernvarmeværker	2.570	0	2.570
Træpillefyrede fjernvarmeværker	560	0	560
Store, halmfyrede kraftvarmeværker	14.230	9.930	4.300
Industrielle kraftvarmeværker	1.500	0	1.500
I alt	32.300	20.680	11.620

De fleste værker blander de forskellige askefraktioner i samme container, hvilket gør det svært at udtage en repræsentativ askeprøve. Udbringningen kan derfor ske på et usikkert grundlag, og det er opfattelsen, at prøvetagningsproceduren bør forbedres.

1.1.4.2 Askeanalyser

Asker udtaget fra fire fjernvarmeværker er analyseret for indhold af næringsstoffer og miljøfremmede stoffer. Analyseresultaterne er sammenlignet med øvrige kendte analyseværdier og vurderet i relation til Bioaskebekendtgørelsen. De indsamlede asker er repræsentative for henholdsvis halm- og træasker.

Udtages filterasken på halmfyrede fjernvarmeværker separat, vil det formodentligt være forsvarligt at udsprede blanding af cyklon- og bundaske efter H2 uden periodiske analyser. Filterasken skal deponeres eller oparbejdes. På flisfyrede fjernvarmeværker vil bundaske formodentligt kunne spredes efter T2 uden krav om periodiske analyser. Flyveaske og evt. kondensatvand/-slam skal deponeres eller oparbejdes. Disse vurderinger giver baggrund for at overveje, om kravene til periodiske analyser for visse aske kategorier kan lempes for at øge askegenanvendelsen.

1.1.4.3 Cadmium- og næringsstofmængder

På baggrund af den indsamlede viden konkluderer projektet følgende om transporten af næringsstoffer og cadmium fra biomasseasker i Danmark i 2000:

2000	Halmaske	Træaske	I alt
Udbragt mængde kalium (t/år)	2.792	0	2.792
Deponeret mængde kalium (t/år)	1.333	320	1.653
Udbragt mængde fosfor (t/år)	195	0	195
Deponeret mængde fosfor (t/år)	63	92	155
Udbragt mængde cadmium (kg/år)	29	0	29
Deponeret mængde cadmium (kg/år)	26	46	72

Bioaskebekendtgørelsen bevirker altså, at en stor del af den cadmium, der optræder med biomasseasker bliver deponeret. Det ses også, at der stadig er ret store mængder næringsstof, der vil kunne udnyttes til dyrkningsformål.

1.1.4.4 Genanvendelse af bioasker

Projektet omfatter en vurdering af gødningsværdien af askerne samt en vurdering af omkostninger ved at udbringe aske på mark og i skov. For halmasken gælder, at hvis asken blandes, karakteriseres som H2 og kan ved udspredding ikke dække afgrødernes kaliumbehov, men der sikres mulighed for en god udnyttelse af kalium og andre næringsstoffer i asken. Udspreddes alene bund-asken, kan den spredes i en mængde, der kan dække afgrødernes behov for kalium. Anvendes cyklon- og filteraske ikke på landbrugsjorden vil ca. halvdelen af kaliummængden og halvdelen af cadmiumindholdet ikke blive tilbageført til landbrugsjorden. Bundaskens indhold af cadmium er lavt i forhold til grænseværdierne og næringsindholdet højere end ofte antaget. Omkostninger ved at udbringe halmasker i forhold til askens kaliumindhold ses herunder.

Udbringningsmetode, halmasker	H1	H2	H3
Kalkspredning	-	618 – 676 DKK/t K	272 – 527 DKK/t K
Staldgødnings- eller slamspredning	-	-	182 – 355 DKK/t K
Opblanding med gylle og udbringning med gyllevogn	75 – 125 DKK/t K	-	-

Det kan ikke forventes at være muligt at udbringe blandede flisasker i skoven. Indholdet af cadmium forhindrer, at man kan sprede blandingsasken i en mængde, så det praktisk og økonomisk kan lade sig gøre. Omkostningerne i forbindelse med at sprede 3 t aske pr. hektar ses herunder.

	Svenske forsøg	Klosterheden Statsskovdistrikt	Thy Statsskovdistrikt
Transport	914 DKK/t K	-	-
Udspredding med middelstor udkørselsmaskine	1500-1586 DKK/t K	-	-
Udspredding med stor udkørselsmaskine	871 DKK/t K	-	-
Udbringning med traktor og tallerkenspredning	-	1786 DKK/t K	1500 DKK/t K
Pelletering	1243-1343 DKK/t K	-	-

Bundasken fra flisværker har en gødningsværdi på omkring 270 kroner/t TS. Sammenholdes det med de vurderede priser på udspredding og pelletering af aske, er asken et billigt alternativ til handelsgødningen, samtidig med at udspreddingen sparer varmeværkerne for betydelige deponeringsafgifter. Dette forudsætter, at den maksimalt tilladelige udspreddede mængde over 100 år (7,5 t) kan udspreddes af én gang, da omkostningerne ellers vil blive for store. Dette forudsætter videre, at asken pelleteres, og at den langsomme udvaskning af næringsstofferne fra askepiller dokumenteres.

1.1.4.5 Omkostninger ved askeseparation og askeanalyse

En mere optimal udnyttelse af næringsstofferne i askerne kan opnås ved at håndtere askefraktionerne adskilt. Mens de store kraftvarmeværker allerede kan det, forudsætter det på fjernvarme-værkerne ofte en ombygning. For halmværkerne vil omkostningerne ligge i et rimeligt niveau på 30 - 70 kroner pr. t aske. For flisværker ligger de op til 10 gange højere. Askeseparation på flisværker kan muligvis blive aktuelt, hvis det fx kunne betyde, at bundasken kan udbringes direkte uden omkostninger til bl.a. analyser. Nye og renoverede kedelanlæg bør kunne opsamle asken i separate fraktioner.

Hvis det antages at hele askemængden udbringes som blandingsaske, vurderer projektet, at værkernes årlige omkostninger til kemisk analyse af askerne ligger på:

Priser i DKK/t TS	Anlæg under 2 MW	Anlæg over 2 MW
H2 aske	30	15-20
H3 aske	15	8-10
T2 aske	300	120-150
T3 aske	150	60-75

Omkostningerne til askeanalyser er meget høje for de træfyrede værker og dermed en af de barrierer, der hindrer genanvendelse af asken.

1.1.4.6 Samarbejde mellem store og små værker

Elsam har udviklet en metode til vask af aske. Metoden adskiller næringsstoffer i en flydende gødningsfraktion fra de miljøfremmede stoffer, og tænkes måske anvendt også til flyveasken fra mindre fjernvarmeværker. Metoden er stadig for dyr, men kan evt. udvikles og billiggøres.

1.1.4.7 Scenarier for askegenanvendelsen

Som opsamling på projektets delkonklusioner, er der opstillet et scenario for hvordan bioaske kan genanvendes samt en fremskrivning af situationen for bioaske i Danmark.

På kort sigt kan der opnås visse forbedringer i genanvendelsen af især halmaskernes næringsstoffer. På længere sigt forventes det, at alle biobrændselsanlæg et udstyret med separat håndtering af askefraktionerne, og at en af de væsentlige barrierer for at genanvende asken optimalt dermed er ryddet af vejen. Mens den årlige bioaskeproduktion i større kollektive fyringsanlæg i 2000 lå på godt 32.000 t, forventes det, at der i 2012 vil være yderligere 27.000 t og i 2030 yderligere 10.000 tons. I 2030 må samfundet forvente årligt at skulle håndtere op mod 70.000 t biomasseaske.

2 Introduktion til projektet

Gennem de seneste 20 år er brugen af biomasse til fremstilling af varme og elektricitet på varme- og kraftvarmeværker steget kraftigt i Danmark. I begyndelsen af perioden har indsatsen været koncentreret om at optimere fremstillingen af de primære produkter, varme og elektricitet, fra anlæggene. Løbende er der kommet mere fokus på anlæggenes sekundære strømme, dvs. på emissioner og restprodukter.

2.1 Baggrund

Håndtering af asken fra biomassefyrede energianlæg er siden januar 2000 blevet reguleret efter "Bekendtgørelse om anvendelse af aske fra forgasning og forbrænding af biomasse og biomasseaffald til jordbrugsformål" - Bioaskebekendtgørelsen, 2000. Bekendtgørelsen har som hovedprincip, at næringsstofferne fra halmaske skal tilbageføres til markerne, mens næringsstofferne i træaske skal bruges i skovene. Bekendtgørelsen angiver en række retningslinier for, hvordan asken skal anvendes. Især askens indhold af cadmium er en afgørende faktor. En række barrierer med basis i bekendtgørelsens krav har betydet, at en betydelig del af den næringsstofholdige biomasseaske i dag ikke genanvendes til jordbrugsformål, men i stedet deponeres dyrt til ingen nytte.

Det stigende forbrug af biomasse til energiformål, der forventes at fortsætte i de kommende 30 år, vil forøge problemet med deponering af biomasseaske. Prognoser forudsiger, at der vil ske op til en tredobling i den producerede askemængde over de næste 30 år, hvis målet for anvendelsen af biomasse i Energi 21 skal nås. Mængden af ren biomasseaske vil dog i høj grad afhænge af, hvor stor udbredelsen af samfyring på eksisterende anlæg vil blive. Der er i dag ikke noget godt overblik over, hvor store mængder biomasseaske der produceres på de større, kollektive anlæg. En almindelig antagelse er dog, at askeproduktionen ligger i størrelsesordenen 20.000 t bioaske/år. Under forudsætning af, at der ikke sker ændringer i anvendelsen af biomassen, vil der således være tale om en stigning til en askemængde på ca. 60.000 t/år om 30 år.

Hvis biobrændselsanlæggene kan separere bund- og flyveaske, vil bundasken i de fleste tilfælde kunne nyttiggøres på jordbrugs- eller skovbrugsarealer. Mængden af bundaske afhænger af kedeldesign, men udgør ofte den største del af asken, og det vil således være muligt at genanvende over 10.000 t aske på nuværende tidspunkt, og betydeligt større mængder, når Energi 21 er blevet realiseret. På visse anlægstyper vil det være muligt at adskille asken i fraktioner, så der samlet set kan anvendes endnu større mængder af asken.

2.2 Formål

Formålet med projektet er at afklare barrierer og vurdere tekniske muligheder for, at en større del af asken fra biomassefyrede anlæg kan nyttiggøres som gødning på landbrugs- og skovbrugsarealer på en miljømæssig og økonomisk

forsvarlig måde. Vurderingen skal ske på baggrund af en status for genanvendelsen af biomasseaske i Danmark, som tilvejebringes i projektet.

2.3 Resultater og målgruppe

I projektet er der indsamlet data om den nuværende praksis med håndtering af bioaske og erfaringer med askeseparering på stort set alle større danske biomassefyrede fjernvarme- og kraftvarmeanlæg. Biomasse anvendes i Danmark i energianlæg af meget varierende størrelse, fra små varmeanlæg til enkelte husstande op til de helt store kraftvarmeanlæg i MW klassen. I dette projekt fokuseres der på anvendelsen af biomasseasken på de større, kollektive anlæg. Disse anlæg behandles gennem rapporten i to grupper:

- Fjernvarmeværker
- Store, halmfyrede kraftvarmeværker

Fjernvarmeværkerne omfatter omkring 130 forskellige anlæg, herunder et par mindre kraftvarmeværker. De store halmfyrede kraftvarmeværker er en separat gruppe, da de alle ejes af Energi E2 eller Elsam. Desuden inddrages to industrielle kraftvarmeværker i de samlede vurderinger.

Med udgangspunkt i status på området, belyser projektet mulighederne for at øge genanvendelsen af bioaske ved separation af aske i bund- og flyveaske på biobrændselsanlæggene.

Projektet vurderer de miljømæssige fordele ved askeseparering og kortlægger de tekniske muligheder herfor. Projektet giver derudover en overordnet vurdering af de økonomiske omkostninger for landbruget og skovbruget ved genanvendelsen af bioaske og omkostninger for værkerne ved implementering af askesepareringssystemer.

Resultaterne af projektet vil kunne danne grundlag for Miljøstyrelsens arbejde for at øge mængden af aske fra biomasse, der vil kunne nyttiggøres som gødning på landbrugs- og skovbrugsarealer.

Målgruppen for projektets resultater er, ud over Miljøstyrelsen:

- Energistyrelsen
- Halm- og træfyrede fjernvarmeværker
- Store halmfyrede kraftvarmeværker
- Landbrug og skovbrug
- Anlægsleverandører

2.4 Organisation og opgavefordeling

2.4.1 Samarbejdsparterne

Projektet er gennemført af en bredt sammensat gruppe, der repræsenterer stort set alle danske biomassefyrede værker samt landbrugs- og skovbrugsmæssige institutioner, som arbejder med askehåndtering, og som har specialviden om den jordbrugsmæssige værdi af bioaske. Samarbejdspartnerne er som ovenfor nævnt:

- dk-TEKNIK ENERGI & MILJØ (projektleder)
- Danske Fjernvarmeværkers Forening (DFF)
- Tech-wise (tidligere ELSAMPROJEKT A/S)
- Forskningscentret for Skov & Landskab (FSL)
- Landskontoret for Bygninger og Maskiner, Landbrugets Rådgivningscenter (LRC)
- Landskontoret for Planteavl, Landbrugets Rådgivningscenter (LRC)

Opgaverne er fordelt, så de enkelte delopgaver er løst af den partner, der har de højeste kvalifikationer på området.

2.4.2 Aktivitetsplan

Projektet har været opdelt i følgende aktivitetsplan:

- Evaluering af erfaringer for askeanvendelse – herunder gennemførelse af spørgeskemaundersøgelse for de danske fjernvarmeværker.
- Belysning af tekniske muligheder for genanvendelse af aske.
- Undersøgelse af askens gødningsværdi – herunder prøvetagning og analyse af asker fra udvalgte værker.
- Økonomiske og planlægningsmæssige vurderinger – herunder beregning af omkostninger ved udbringning af aske i skovbrug og landbrug, omkostninger ved separering af aske på værkerne, vurdering af samarbejds muligheder mellem små og store værker samt en samlet vurdering af økonomi og udviklingsmuligheder i askehåndteringen.
- Formidling af projektets resultater.

2.4.3 Rapporteringen

Den brede gruppe af parter har alle leveret bidrag til nærværende rapport. Bidragene er herefter redigeret sammen til et samlet dokument. Dette slører i nogen grad oprindelsen af afsnittene, men øger læsbarheden og sammenhængen markant. Det følgende giver en oversigt over, hvorfra de enkelte afsnit stammer.

Overblikket over situationen for genanvendelse af asken er udarbejdet af DFF for medlemsværkerne, Tech-wise for de elværksejede kraftvarmeværker og dk-TEKNIK for de resterende værker. FSL har gennemført beregninger og vurderinger af træaskens gødningsværdi og omkostningerne ved udbringning i skoven, mens LRC har gennemført tilsvarende arbejde for halmáske, der udbringes på marker. Tech-wise har beskrevet nye koncepter til at adskille næringsstoffer og tungmetaller, og DFF og Tech-wise har vurderet mulighederne for samarbejde herom mellem store og små værker. dk-TEKNIK har stået for vurderingen af barrierer, beregning af omkostninger ved separation på fjernvarmeværker samt udarbejdelsen af et scenario for fremtidens askegenanvendelse. Herudover har dk-TEKNIK stået for sammenskrivningen af bidragene og størstedelen af den samlede tekst, ligesom dk-TEKNIK har stået for udarbejdelse sammenfatninger og de endelige konklusioner.

2.5 Finansiering

Projektet er finansieret af Miljøstyrelsens Program for renere produkter m.v. - 2000. Udviklingsordningen, Del II: Affald/Genanvendelse - E19 Aske fra biobrændsel.

3 Lovgrundlag og baggrund

I dette afsnit beskrives den lovmæssige baggrund for håndtering af biomasseaske. Desuden beskrives kilderne til tungmetaller (cadmium) i brændslerne.

3.1 Bioaskebekendtgørelsen

Håndtering af bioaske gik i januar 2000 fra at høre under slambekendtgørelsen (Slambekendtgørelsen, 2000) til at skulle reguleres efter bekendtgørelse nr. 39 af 20. januar 2000: Bekendtgørelse om anvendelse af aske fra forgasning og forbrænding af biomasse og biomasseaffald til jordbrugsformål. I daglig tale: Bioaskebekendtgørelsen.

Bekendtgørelsen har som hovedprincip, at næringsstofferne fra halmaske skal tilbageføres til markerne, mens næringsstofferne i træaske skal bruges i skovene. Bekendtgørelsen sætter en række begrænsninger på, hvordan asken kan anvendes. Især askens indhold af cadmium er en afgørende faktor.

Bekendtgørelsen giver anvisning på:

- hvordan man skal opbevare asken, inden den skal udsprede.
- hvor meget aske, der må udsprede pr. hektar.
- hvilke oplysninger, man skal indsende til amt og kommune.

Før Bioaskebekendtgørelsen trådte i kraft, kunne udsprede af aske fra f. eks. halmvarmeværker i realiteten kun ske efter dispensation fra Miljøstyrelsen.

3.1.1 Markedet for biomasseaske

Bekendtgørelsen definerer et marked for biomasseasken. I bekendtgørelsen er **producenten** af aske den virksomhed, der frembringer (eller forhandler) asken, dvs. fx det lokale halmvarmeværk. **Brugeren** er den, der har brugsret over det areal, hvor asken udsprede, dvs. land- eller skovbrugeren.

3.1.1.1 Deklaration

Det påhviler producenten at udarbejde en deklARATION for asken, som skal angive:

- hvor asken er produceret, og af hvilke "råvarer"
- behandling og eventuelle begrænsninger for anvendelsen
- analyseresultater - f. eks. indhold af fosfor og tungmetaller
- opbevaringsmuligheder

Producenten skal årligt meddele til amtsrådet, hvor stor en askemængde, der er leveret, samt hvor asken er produceret.

3.1.1.2 Skriftlig aftale

Der skal foreligge en skriftlig aftale mellem producent og bruger, og det er producenten, der er ansvarlig for, at ovennævnte deklARATION følger asken og

svarer til denne. Producenten skal endvidere sende en kopi af aftalen til den kommune, hvor asken skal bruges.

Den skriftlige aftale må højst omhandle den mængde aske, som brugeren lovligt kan anvende på egne arealer.

3.1.1.3 Opbevaring

Opbevaring af asken inden udspredning kan ske

1. **enten** efter en kapitel 5 godkendelse jvf. miljøbeskyttelsesloven
2. **eller** overdækket på et opbevaringsanlæg, der er opført og drevet efter de regler, der gælder for opbevaring af husdyrgødning
3. **eller** i en lukket container, big-bag eller lignende

For 2 og 3 gælder, at denne form for opbevaring kun må ske hos brugeren og ikke f.eks. på varmeværket. Asken må ikke opbevares i markstakke - kun ganske kortvarigt i forbindelse med udspredning på det pågældende areal.

3.1.1.4 Anvendelse

Asken skal indgå i gødningsplanlægningen hos brugeren. Hvis askemængden udgør mere end 5 t tørstof pr. år, har brugeren pligt til at indberette visse oplysninger til kommunen.

For landmanden betyder det, at de årlige sædskifte- og gødningsplaner for bedriften, skal indeholde oplysninger om, hvor meget aske, der anvendes, og hvor asken spredes ud. Aske, som anvendes på landbrugsarealer, kan doseres som et gennemsnit over 5 år.

Skovbrugere skal fremsende oplysninger om udsprede mængde samt kort med angivelse af udsprede arealer. Aske, som anvendes på skovarealer, kan doseres som et gennemsnit over 10 år.

Hvis asken på landbrugsjord ikke nedbringes umiddelbart efter udspredning, er der visse krav til, hvad der må dyrkes på jorden det næste år. Tilsvarende skal det ved skiltning frarådes at plukke svampe og bær de første 3 måneder, efter der er spredt aske i en offentlig tilgængelig skov. Der lægges i bekendtgørelsen endvidere vægt på, at anvendelsen af aske ikke medfører risiko for forurening eller andre væsentlige gener.

3.1.2 Mængder og grænseværdier

Hvor meget aske, der må spredes på et givet areal, afhænger af, hvor stor et cadmiumindhold, der er i den pågældende aske. De forskellige asketyper deles op i kategorier bestemt af cadmiumindholdet. I nedenstående Tabel 3.1 er angivet, hvor meget aske der må spredes på én hektar over en femårig periode for de forskellige kategorier. Af tabellen ses, at der i bedste fald maksimalt må tilføres 5 t tørstof/ha til landbrugsjord i en 5-årig periode og 7,5 t tørstof/ha til skovarealer i en 10-årig periode. For aske, der anvendes på skovarealer, gælder yderligere den begrænsning, at der maksimalt må tilføres 7,5 t tørstof pr. ha pr. omdrift (100 år).

Der er også begrænsninger på den samlede mængde fosfor, der må tilføres jorden. Som et gennemsnit over en treårig periode må der højst tilføres 30 kg pr. ha pr. år. Tabel 3.1 giver et overblik over grænseværdier for cadmium og maksimale udbringningsmængder for de forskellige kategorier.

Kategori	Beskrivelse	Max. Cd-indhold (mg Cd pr kg TS)	Max. udbringningsmængde
H1	Halmaske	5	0,5 t TS/ha/5 år
H2	Halmaske	2,5	1,5 t TS/ha/5 år
H3	Halmaske	0,5	5 t TS/ha/5 år
T1	Træaske	15	0,5 t TS/ha/10 år
T2	Træaske	8	1,0 t TS/ha/10 år
T3	Træaske	0,5	7,5 t TS/ha/10 år
H+T	Blandingsaske	5	0,5 t TS/ha/5 år

Tabel 3.1. Bioaskebekendtgørelsens inddeling i aske kategorier efter grænseværdier for cadmium samt tilladte udbringningsmængder af de forskellige aske kategorier.

Der er også fastlagt grænseværdier for andre tungmetaller, som det fremgår af Tabel 3.2.

Tungmetal	Grænseværdi (mg pr. kg TS)
Kviksølv	0,8
Bly ¹	120
Nikkel	30 (60) ²
Chrom	100

Tabel 3.2. Bioaskebekendtgørelsens grænseværdier for andre tungmetaller.

¹ For anvendelse i privat havebrug er grænseværdien for bly 60 mg/kg tørstof og for arsen 25 mg/kg tørstof

² Ved indhold mellem 30 og 60 mg/kg tørstof kan asken anvendes som kategori T1 eller H1

Endelig skal der i specielle tilfælde analyseres for en række nærmere specificerede PAH'er.

3.1.2.1 Sammenblanding med gylle

Mange landmænd blander asken op i gylle for at lette udspreddingen. Dette kan man også fortsat gøre, blot skal ovenstående grænseværdier overholdes **inden** sammenblandingen sker. Udspredding af blandingen kan derefter ske efter de regler, der ellers gælder for anvendelse af husdyrgødning - vel at mærke så længe asken udgør 10% tørstof eller mindre af det sammenblandede produkt.

Hvis asken blandes sammen med andre affaldsprodukter - fx spildevandsslam - gælder reglerne i bekendtgørelsen om anvendelse af affaldsprodukter i jordbruget - den såkaldte slambekendtgørelse.

3.2 Cadmium i biobrændsler og -asker

Der er en række kilder til de miljøfremmede stoffer i bioaske. Afsnittet her søger at give et overblik over mængder og kilder for cadmium, der er det mest afgørende miljøfremmede stof i Bioaskebekendtgørelsen.

3.2.1 Oprindelse af cadmium i biomasseaske

At der er cadmium i bioasken skyldes, at der findes cadmium i biomassen, hvilket igen skyldes, at der er cadmium i dyrkningsjorden. Hvis ikke der var tungmetaller i jorden ville biomassen ikke optage tungmetaller. Nogle af tungmetallerne er dog ikke mere miljøfremmede end at de spiller en rolle i det økologiske system.

Cadmium findes i jorden som jordminerale eller det stammer fra nedfald fra luften eller kommer med de stoffer, der spredes på dyrkningsjorden, herunder handelsgødning og kalk. Da cadmium ret let kan udvaskes, er der store

geografiske variationer i cadmiumindholdet afhængig af jordbundsforholdene og afhængig af de geologiske forhold.

Cadmiumtilførsel fra luften skyldes bl.a. forbrænding af affald og fossile brændsler. Cadmiumtilførsel med handelsgødning er mest forbundet med tilførsel af fosfor, fordi der kan være betydelige mængder cadmium i råfosfat udfældet i det marine miljø. Gødningsbekendtgørelsen siger om cadmium i fosforholdige gødninger, at der maksimalt må være 110 mg Cd pr. kg fosfor. Reelt er indholdet i de fleste solgte danske P-gødninger lavere fordi fosfor er udvundet i miner i Finland, hvor der er et meget lavt Cd-indhold i råfosfaten. Mange års tilførsel af Cd-holdige fosforgødninger har påvirket Cd optaget i planter. Cd-indholdet i fosforholdige gødninger er udgangspunktet for aske- og affaldsbekendtgørelser.

Cadmiumtilførsel ved kalkning af dyrkningsjorden er ifølge DMU den største kilde til spredning af cadmium på dyrkningsjorder. De lokale jordbundsforhold er afgørende for hvor meget cadmium, der bliver i jorden og hvor meget, der dermed kan optages af planterne.

I bilag A findes en sammenligning af de cadmiummængder, der fraføres jorden med afgrøderne i form af halm og kerner samt de mængder cadmium, det er muligt at tilføre i forbindelse med gødning med henholdsvis slam (slambekendtgørelsen), handelsgødning (gødningsbekendtgørelsen) og halmaske (Bioaskebekendtgørelsen). Reelt set er der ikke er nogen regulering af den Cd-mængde, der kan spredes med handelsgødning, idet der ikke er grænser for hvor stor en fosformængde, der kan spredes, såfremt jorden har et fosforbehov.

3.2.2 Typiske cadmiummængder

Mængden af cadmium i biobrændsler ligger i de typisk forekommende typer biomasse, der anvendes til energiformål i Danmark, på omkring mellem 0,03 - 0,3 mg/kg TS biomasse.

Tabel 3.3 nedenfor viser nøgletal for cadmiumindholdet i forskellige askefraktioner fra halmfyrede og træflisfyrede værker (Obernberger et al, 1998). Tabellen viser for halmasker, at bundasken i de fleste tilfælde kan blive spredt i betydelige mængder efter kategori H2 eller H3 i Bioaskebekendtgørelsen, mens flyveasken eller blandet aske viser sig at være mere problematisk. For træasker er billedet nogenlunde det samme, idet bundasken kan spredes efter kategori T2 og måske T3, mens blandingsasken kan være problematisk og flyveasken må forventes ikke at kunne spredes.

mg/kg TS	Halmværker		Træflisværker	
	Typisk værdi	Interval	Typisk værdi	Interval
Blandet aske	2	1 - 4	8	3 - 20
Bundaske	0,2	0,1 - 0,5	< 0,8	< 0,8
Cyklonaske	4	3 - 6	20	10 - 50
Filteraske	12	9 - 15	-	-
Partikler i kondensat	-	-	150	25 - 300

Tabel 3.3. Nøgletal for cadmiumindholdet i forskellige askefraktioner (Obernberger et al, 1998).

4 Status for askemængder

Med udgangspunkt i projektets mål om at kunne foreslå nye måder til at øge genanvendelsen af asken har det været en vigtig opgave at skabe et billede af den nuværende situation på askemarkedet. Projektet omfatter derfor en undersøgelse af situationen på alle biomassefyrede varme- og kraftvarmeværker i Danmark.

4.1 Status for askemængder fra fjernvarmeværkerne

4.1.1 Spørgeskemaundersøgelse

Som led i at skabe overblik over eksisterende forhold på landets biomassefyrede fjernvarmeværker, har Danske Fjernvarmeværkers Forening og dk-TEKNIK med en spørgeskemaundersøgelse indsamlet tilgængelige oplysninger om brændselsforbrug og -art, askemængder, askehåndtering og askebortskaffelse. Undersøgelsen omfatter de kraftvarmeværker, som ikke ejes af Energi E2 og Elsam. Spørgeskemaerne er udviklet af projektparterne i fællesskab og kan ses i Bilag B Spørgeskemaer udsendt til fjernvarmeværker.

I det følgende beskrives resultatet af spørgeskemaundersøgelsen opdelt efter værkernes hovedbrændsel. I dette afsnit opgøres værkernes brændselsforbrug og askeproduktion, mens en mere kvalitativ beskrivelse af status for de anvendte systemer til askehåndtering gives i afsnit 5.

Værkerne er blevet inddelt i tre grupper: halmfyrede, træflisfyrede og træpillefyrede anlæg. Inddelingen er udført efter det brændsel, som værket har anvendt mest af i perioden 1998-2000. På flere af værkerne anvendes andre biobrændsler som alternativ til hovedbrændslet i visse belastningssituationer og som prismæssig konkurrent til leverancer af hovedbrændslet.

4.1.2 Halmfyrede værker

Der er udsendt spørgeskemaer til 54 fjernvarmeværker, der vides at fyre med halm eller tilsvarende biomasseprodukter som hovedbrændsel.

Der er modtaget svar fra 46 af værkerne, der alle angiver at have separat askehåndteringssystem for asken fra halmfyret. På 9 af værkerne anvendes tilsatsfyring med andre biomassebrændsler såsom træpiller, flis, kornafrens og frøafrens samt blandede biomasserestprodukter. På et af værkerne anvendes tilsatsfyring med fedtslam i henhold til særlig miljøgodkendelse.

I Tabel 4.1 nedenfor er brændselsforbruget for de halmfyrede fjernvarmeværker opgjort. Af de 46 værker, der har svaret, har 43 angivet deres brændselsforbrug. For at få det samlede brændselsforbrug har det været nødvendigt at skønne halmforbrug for de resterende 11 værker. Der er skønnet halmforbrug for hver af de 11 værker ud fra kendskab til deres størrelse. Det samlede skøn ses i tabellen. I tabellen er det desuden opgjort, hvor store mængder andre brændsler, værkerne har opgivet, at de anvender.

Forbrug af halm (t pr. år)	1998	1999	2000
alm, opgivet forbrug	211.100	220.200	220.400
Halm, skønnet ikke angivet mængde	37.000	39.000	36.000
Halm, i alt	248.100	259.200	256.400
Forbrug af andre brændsler (t pr. år)			
Træflis, opgivet forbrug	8.000	7.400	8.800
Træpiller, opgivet forbrug	1.800	2.500	3.400
Andet biobrændsel, opgivet forbrug	3.700	7.700	7.000

Tabel 4.1. Brændselsforbrug for halmfyrede fjernvarmeværker.

I Tabel 4.2 er askeproduktionen for halmværkerne opgjort. Ikke alle værker har i spørgeskemaerne angivet deres askeforbrug, og således omfatter nedenstående tal 42 værker i 1998, 43 værker i 1999 og 44 værker i 2000.

Askeproduktion (t pr. år)	1998	1999	2000
Våd askemængde, opgivet	12.498	15.915	17.066
Tør askemængde, opgivet	3.175	3.108	3.023
Samlet askemængde, opgivet	15.639	19.023	20.089

Tabel 4.2. Askeproduktion fra halmfyrede fjernvarmeværker.

45 værker oplyser, om de har våd eller tør håndtering af asken. 32 anlæg angiver at have våd håndtering af bundasken, mens 13 har tør håndtering. Med hensyn til cyclonasken opgiver 22 værker, at de har våd håndtering, mens 23 har tør håndtering, og for filterasken er fordelingen 20 med våd askehåndtering og 25 med tør askehåndtering.

Vandprocenterne i vådasken er angivet fra 40% til 65% for anlæg med våd askehåndtering, hvor de laveste vandindhold er fra værker, der har tør udaskning og blot befugter asken i containerne af hensyn til den videre håndtering. De højeste vandindhold er fra værker, der har vandgrav under askefaldet i kedlen, og som håndterer asken med fuldt vandindhold.

Den gennemsnitlige vandprocent i vådasken antages at være ca. 50%, og dermed kan den angivne totalmængde af asketørstof beregnes til 9.424 t i 1998, 11.066 t i 1999 og 11.556 t i 2000.

I Tabel 4.3 ses den samlede mængde asketørstof fra de halmfyrede fjernvarmeværker. Der er i tabellen opført skøn for askemængde dels fra de anlæg, som har svaret uden at opgive askemængde, og dels fra de anlæg, som ikke har svaret.

Askeproduktion (t TS pr. år)	1998	1999	2000
Askeproduktion, opgivet	9.424	11.066	11.556
Skønnet askeproduktion for værker, som har svaret, men ikke angivet mængde	425	205	0
Skønnet askeproduktion for værker, som ikke har svaret	1.725	1.995	1.888
I alt fra halmfyrede fjernvarmeværker	11.574	13.266	13.444

Tabel 4.3. Samlet askeproduktion fra halmfyrede fjernvarmeværker.

Det opgivne, totale tørstofindhold i asken svarer til en askeprocent på mellem 4,20% og 4,82%, når det sættes i relation til den opgivne brændselsmængde. Tendensen i askeprocenten er stigende. Dette kan skyldes vejrmæssige forhold og deraf følgende manglende vejring og udvaskning, men flere værker nævner brugen af svampemidlet "Amistar" som årsagen til, at strået er mindre modent ved høst.

Sammenholdes resultaterne af undersøgelsen med tilsvarende resultater af mindre intern DFF undersøgelse fra 1995, er der sket et fald i halmforbruget på halmvarmeværkerne fra ca. 305.000 t i 1995 til ca. 255.000 t i år 2000. Tilsvarende er asketørstofmængden faldet fra ca. 15.000 t i 1995 til ca. 13.500 t i år 2000.

Halmforbruget og dermed askemængderne fra fjernvarmeværkerne vil fortsat falde i de næste år, da flere halmvarmeværker er i færd med at stille om fra halmfyring til flisfyring.

4.1.3 Træflisfyrede værker

Der er udsendt spørgeskemaer til 49 fjernvarmeværker, der vides at fyre med træflis eller tilsvarende biomasseprodukter som hovedbrændsel.

Der er modtaget svar tilbage fra 34 af værkerne, der alle angiver at have separat askehåndteringssystem for asken fra fliskedlen. Som supplement til fyring med træflis anvender 3 af værkerne halm og 8 af værkerne træpiller. To værker anvender overvejende henholdsvis bark og briketter.

I Tabel 4.4 nedenfor er brændselsforbruget for de træflisfyrede fjernvarmeværker opgjort. Af de 34 værker, der har svaret, har 32 værker angivet deres brændselsforbrug i 1998 og 1999, mens alle 34 har opgivet det i 2000. For at få det samlede brændselsforbrug har det været nødvendigt at foretage skøn af de ikke opgivne mængder. Skønnet er foretaget for hvert af de 17 relevante værker ud fra kendskab til deres størrelse, og det samlede skøn ses i tabellen. I tabellen er det desuden opgjort, hvor store mængder andre brændsler, værkerne har opgivet, at de anvender.

Forbrug af træflis (t pr. år)	1998	1999	2000
Træflis, opgivet forbrug	178.700	209.000	219.600
Træflis, skønnet ikke angivet mængde	51.000	51.000	46.000
Træflis, i alt	229.700	260.000	265.600
Forbrug af andre brændsler (t pr. år)			
Halm, opgivet forbrug	8.600	7.700	8.000
Træpiller, opgivet forbrug	12.900	13.000	6.800
Bark, opgivet forbrug	7.900	6.800	6.500
Briketter, opgivet forbrug	1.600	1.600	1.500

Tabel 4.4. Brændselsforbrug for træflisfyrede fjernvarmeværker.

I Tabel 4.5 er askeproduktionen for træflisværkerne opgjort. Ikke alle værker har i spørgeskemaerne angivet deres askeforbrug, og således omfatter nedenstående tal 29 værker i 1998, 30 værker i 1999 og 31 værker i 2000.

Askeproduktion (t pr. år)	1998	1999	2000
Våd askemængde, opgivet	1.430	1.578	1.574
Tør askemængde, opgivet	1.126	1.163	1.070
Samlet askemængde, opgivet	2.555	2.740	2.644

Tabel 4.5. Askeproduktion fra træflisfyrede fjernvarmeværker.

33 værker oplyser, om de har våd eller tør håndtering af asken. 13 anlæg angiver at have våd håndtering af bundasken, mens 20 har tør håndtering. Med hensyn til cyklonasken opgiver 7 værker, at de har våd håndtering, mens 24 har tør håndtering.

Vandprocenterne i vådasken er angivet fra 20% til 50% for anlæg med våd askehåndtering, hvor de laveste vandindhold er for værker, der blot befugter asken i containerne eller som direkte afvander asken før levering til deponi. De

højeste vandindhold er fra værker, der har vandgrav under askefaldet i kedlen, og som afhænder asken med fuldt vandindhold.

Den gennemsnitlige vandprocent i vådasken antages at være ca. 40%, hvorved den angivne totalmængde af asketørstof kan beregnes til 1.984 t i 1998, 2.110 t i 1999 og 2.014 t i 2000.

I Tabel 4.6 ses den samlede mængde asketørstof fra de træflisfyrede fjernvarmeværker. Der er i tabellen opført skøn for askemængde dels fra de anlæg, som har svaret uden at opgive askemængde, og dels fra de anlæg, som ikke har svaret.

Askeproduktion (t TS pr. år)	1998	1999	2000
Askeproduktion, opgivet	1.984	2.110	2.014
Skønnet askeproduktion for værker, som har svaret, men ikke angivet mængde	261	228	179
Skønnet askeproduktion for værker, som ikke har svaret	522	464	375
I alt fra træflisfyrede værker	2.767	2.802	2.568

Tabel 4.6. Samlet askeproduktion fra træflisfyrede fjernvarmeværker.

Det opgivne, totale tørstofindhold i asken svarer til en askeprocent på mellem 0,95% og 0,83%, når det sættes i forhold til den opgivne brændselsmængde. Tendensen i askeprocenten er faldende, hvilket antageligt skyldes stigende anvendelse af stammeflis frem for heltræs- og grenflis. I perioden har der været en betydelig stigning i importen af hele stammer til anvendelse på værkerne.

Sammenholdes resultaterne af undersøgelsen med tilsvarende resultater af mindre, intern DFF undersøgelse fra 1995, er der sket en væsentlig forøgelse af flisforbruget fra omkring 150.000 t til omkring 265.000 t i år 2000. Tilsvarende er asketørstofmængden steget fra ca. 1.500 t i 1995 til ca. 2.600 t i år 2000.

4.1.4 Træpillefyrede værker

Der er udsendt spørgeskemaer til 26 fjernvarmeværker, der vides at fyre med træpiller eller tilsvarende biomasseprodukter som hovedbrændsel.

Der er modtaget svarskemaer tilbage fra 22 af værkerne, hvoraf 21 angiver at have separat askehåndteringssystem for asken fra træpillefyret. På et værk anvendes der foruden træpiller en mængde træflis, mens man på et andet værk også fyre med affald og kul. De øvrige værker anvender træpiller som eneste biobrændsel.

I Tabel 4.7 nedenfor er brændselsforbruget for de træpillefyrede fjernvarmeværker opgjort. Af de 22 værker, der har svaret, har 16 værker angivet deres brændselsforbrug i 1998, mens 21 værker har opgivet det i 1999 og 2000. For at få det samlede brændselsforbrug har det været nødvendigt at foretage skøn af de ikke opgivne mængder. Skønnet er foretaget for hvert af de 10 relevante værker ud fra kendskab til deres størrelse, og det samlede skøn ses i tabellen. I tabellen er det desuden opgjort, hvor store mængder andre brændsler, værkerne har opgivet, at de anvender.

Forbrug af træpiller (t pr. år)	1998	1999	2000
Træpiller, opgivet forbrug	70.000	91.600	92.800
Træpiller, skønnet ikke angivet mængde	27.900	7.500	9.100
Træpiller, i alt	97.900	99.100	101.900
Forbrug af andre brændsler (t pr. år)			
Træflis, opgivet forbrug	500	400	800
Affald, opgivet forbrug	1.400	3.900	3.600
Kul, opgivet forbrug	300	300	0

Tabel 4.7. Brændselsforbrug for træpillefyrede fjernvarmeværker.

I Tabel 4.8 er askeproduktionen for de træpillefyrede værker opgjort. Ikke alle værker har i spørgeskemaerne angivet deres askeforbrug, og således omfatter nedenstående tal 16 værker i 1998, 18 værker i 1999 og 20 værker i 2000.

Askeproduktion (t pr. år)	1998	1999	2000
Våd askemængde, opgivet	374	527	498
Tør askemængde, opgivet	172	203	263
Samlet askemængde, opgivet	546	730	761

Tabel 4.8. Askeproduktion for træpillefyrede fjernvarmeværker.

21 værker oplyser, om de har våd eller tør håndtering af asken. 8 anlæg angiver at have våd håndtering af bundasken, mens 13 har tør håndtering. Med hensyn til cyklonasken opgiver 6 værker, at de har våd håndtering, mens 13 har tør håndtering, og for filterasken er fordelingen 2 med våd askehåndtering og 6 med tør askehåndtering.

Vandprocenterne i vådasken er angivet fra 40% til 63% for anlæg med vådudaskningsystemer, der har vandgrav under askefaldet i kedlen. Den gennemsnitlige vandprocent i vådasken antages at være ca. 50%, hvorved den angivne totalmængde af asketørstof kan beregnes til 360 t i 1998, 467 t i 1999 og 512 t i 2000.

I Tabel 4.9 ses den samlede mængde asketørstof fra de træpillefyrede fjernvarmeværker. Der er i tabellen opført skøn for askemængde dels fra de anlæg, som har svaret uden at opgive askemængde, og dels fra de anlæg, som ikke har svaret.

Askeproduktion (t TS pr. år)	1998	1999	2000
Askeproduktion, opgivet	360	467	512
Askeproduktion, skønnet ikke angivet mængde	143	38	50
I alt fra træpillefyrede værker	503	505	562

Tabel 4.9. Samlet askeproduktion for træpillefyrede fjernvarmeværker.

Sætter man den opgivne brændselsmængde i relation til den opgivne mængde asketørstof, der er produceret på værkerne, fås en askeprocent på mellem 0,49% og 0,53% målt på brændselsbasis.

4.1.5 Samlet status for fjernvarmeværkerne

I nedenstående Tabel 4.10 er det samlede brændselsforbrug og den samlede askeproduktion i 2000 opgjort for fjernvarmeværkerne.

2000	Brændselsforbrug (t)		Askeproduktion (t TS)
	Hovedbrændsel	Andet biobrændsel ¹	
Halmværker	256.400	19.200	13.440
Træflisværker	265.600	22.800	2.570
Træpilleværker	101.900	400	560
I alt	623.900	42.400	16.570

Tabel 4.10. Samlet brændselsforbrug og askeproduktion fra fjernvarmeværker i 2000.

¹ Den anvendte mængde af andet brændsel end hovedbrændslet dækker kun den opgivne mængde fra de værker, som har oplyst dette forbrug.

4.2 Status for askemængder fra de store halmfyrede kraftvarmeværker

I det følgende afsnit beskrives data for biomassefyrede kraftvarmeanlæg hos Energi E2 og Elsam med hensyn til brændselsforbrug og askeproduktion. Forhold omkring håndteringssystemer, askedisponering og askeanalyser beskrives i afsnit 5.2.

4.2.1 Enstedværkets biokedel

Enstedværkets biokedel omfatter en halm-/flisfyret kedel med separat flisfyret overheder, der leverer damp (542°C/210 bar) til dampturbinen på Enstedværkets kulfyrede blok. Halmkedlen forsynes fra 4 halmindfødningslinier. Halmballerne føres frem til en skrueoprøver, der løsner halmen inden indfødnings på vibrationsristen via indfødningsnegle. Flisen til flisoverhederne fordeles over risten ved hjælp af pneumatisk indkastere.

Forbrug (t)	1998	1999	2000
Halm	68.900	87.800	57.100
Flis	17.600	21.600	30.000

Tabel 4.11. Brændselsforbrug, Enstedværket.

Det lave brændselsforbrug i 2000 skyldes, at anlægget måtte tages ud af drift på grund af korrosionsproblemer i den flisfyrede overheder.

	1998		1999		2000	
	Produktion t	Tørstof %	Produktion t	Tørstof %	Produktion t	Tørstof %
Bundaske	9.710	35	6.290	40	6.270	53
Flyveaske	490	100	1.070	100	660	100

Tabel 4.12. Askeproduktion, Enstedværket.

I perioden er der produceret en total askemængde på tør basis på 11.460 t, hvoraf flyveaskeandelen udgør 19%.

4.2.2 Måbjergværket

Måbjergværkets halm-/flis kedel er ristefyret med indfyring af hele halmballer i cigarbrændere. Kedlen er forsynet med separat naturgasfyret overheder.

Forbrug (t)	1998	1999	2000
Halm	33.600	31.300	31.500
Flis	30.000	29.800	28.300
Andet biobrændsel	4.700	5.200	5.900

Tabel 4.13. Brændselsforbrug, Måbjergværket.

	1998		1999		2000	
	Produktion t	Tørstof %	Produktion t	Tørstof %	Produktion t	Tørstof %
Bundaske	2.470	68	2.800	65	2.900	72
Flyveaske	950	100	950	100	930	100

Tabel 4.14. Askeproduktion, Måbjergværket.

I perioden er der produceret en total askemængde på tør basis på 8.420 t, hvoraf flyveaskeandelen udgør 34%. Flyveaskeandelen er således betydeligt højere end for de øvrige halmfyrede kraftvarmeanlæg. Årsagen hertil er ikke kendt, men cigarfyringssystemet og indfyring af frøafrens kan eventuelt spille en rolle.

4.2.3 Rudkøbing Kraftvarmeværk

Halmkedlen på Rudkøbing Kraftvarmeværk er ristefyret med indfødning af halm via opriver og stempelindfoder.

Forbrug (t)	1998	1999	2000
Halm	15.000	15.200	15.300

Tabel 4.15. Brændselsforbrug, Rudkøbing Kraftvarmeværk.

	1998		1999		2000	
	Produktion t	Tørstof %	Produktion t	Tørstof %	Produktion t	Tørstof %
Bundaske	1.670	52	2.320	42	2.500	28
Flyveaske	144	100	145	100	139	100

Tabel 4.16. Askeproduktion, Rudkøbing Kraftvarmeværk.

I perioden er der produceret en total askemængde på tør basis på 2.970 t, hvoraf flyveaskeandelen udgør 14%.

4.2.4 Haslev Kraftvarmeværk

Halmkedlen på Haslev Kraftvarmeværk er ristefyret med indfødning af hele halmballer i cigarbrændere.

Forbrug (t)	1998	1999	2000
Halm	23.700	14.500	22.400

Tabel 4.17. Brændselsforbrug Haslev.

Produktion t tørstof	1998	1999	2000
Bundaske	940	1.070	990
Flyveaske	390	210	230

Tabel 4.18. Askeproduktion, Haslev.

Der er i perioden produceret en total askemængde på 3.830 t TS, hvoraf flyveasken udgør 22%.

4.2.5 Slagelse Kraftvarmeværk

Halmkedlen på Slagelse Kraftvarmeværk er ristefyret (skubberist) med indfødning af halm via opriver og snegleindfoder.

Halmforbruget udgjorde for årene 1998, 1999 og 2000 henholdsvis 27.000, 28.000 og 25.000 t. Askemængderne afvejes ikke.

4.2.6 Masnedø Kraftvarmeværk

Halm/fliskedlen på Masnedø Kraftvarmeværk er ristefyret med snegleindfødning af halm.

Forbrug (t)	1999	2000
Halm	35.300	34.600
Flis	3.300	5.500

Tabel 4.19. Brændselsforbrug, Masnedø Kraftvarmeværk.

I 1999 blev der produceret i alt 2.400 t aske på tør basis fordelt på 2.079 t bundaske og 321 t flyveaske. Flyveaskeandelen udgjorde således 13% på tør basis. I 2000 blev der produceret i alt 2.420 t aske på tør basis. Flyveaskeandelen kan ikke opgøres, da flyveasken fra og med maj måned er blandet med bundasken.

4.2.7 Maribo-Sakskøbing Kraftvarmeværk

Værket er idriftsat i foråret 2000 og anvender udelukkende halm som brændsel.

Halm Forbrug t	Bundaske		Flyveaske	
	Produktion t	Tørstof %	Produktion t	Tørstof %
30.314	2.314	50	253	>99

Tabel 4.20. Halmforbrug og askeproduktion i 2000 fra Maribo-Sakskøbing Kraftvarmeværk.

Flyveaskeandelen udgør 18% på tør basis.

4.2.8 Samlet status for de store, halmfyrede kraftvarmeværker

I Tabel 4.21 opsummeres brændselsforbrug og askeproduktion for de 7 halmfyrede kraftvarmeværker, der ejes af Energi E2 og Elsam.

2000	Brændselsforbrug [t]			Askeproduktion [t TS]	
	Halm	Træflis	Andet biobrændsel	Bundaske	Flyveaske
Ensted	57.100	30.000	-	3.323	660
Måbjerg	31.500	28.300	5.900	2.088	930
Rudkøbing	15.300	-	-	700	139
Haslev	22.400	-	-	990	230
Slagelse	25.000	-	-	1.100 ¹	260 ¹
Masnedø	34.600	5.500	-	2.088 ²	312 ²
Maribo- Sakskøbing	30.300	-	-	1.157	253
I alt	216.200	63.800	5.900	11.446	2.784

Tabel 4.21. Samlet brændselsforbrug og askeproduktion fra store halmfyrede kraftvarmeværker i 2000.

¹ Mængderne er skønnet, da askemængderne ikke afvejes på Slagelse Kraftvarmeværk.

² Fra maj 2000 sammenblandes bund- og flyveaske. Den samlede mængde i 2000 var 2.400 t TS, og der er her antaget samme flyveaskeandel som i 1999 (13%).

4.3 Status for askemængder fra andre anlæg

I afsnit 4.1 og 1.1 ovenfor er askemængderne for store biomassefyrede forsyningsanlæg opgjort. For at sætte disse mængder i perspektiv, er det relevant at skitsere, hvor stor en mængde biomasseaske, der i Danmark kommer fra andre større anlæg samt fra individuelle biobrændselsinstallationer såsom pejse, brændeovne, private og industrielle kedelanlæg og

blokvarmecentraler. Projektet omfatter ikke en detaljeret opgørelse af denne askemængde, men der findes vejledende data fra (Hansen, 2001).

Foruden de elværksejede kraftvarmeværker er der i Danmark to store, træfyrede industrielle kraftvarmeværker, placeret hos virksomhederne Junckers og Novopan. Brændselsforbruget for disse to værker var i 2000 ca. 750 GWh eller ca. 150.000 t tørt træbrændsel (Energistyrelsen, 2001 og Videncenter for Halm- og Flisfyring, 2000). Denne brændselsmængde antages ud fra et askeindhold på 1% at give anledning til en askeproduktion på ca. 1.500 t.

I den danske energistatistik for 1999 (Energistyrelsen, 2000) kan forbruget af faste biobrændsler for individuelle kedelsystemer and blokvarmecentraler findes i TJ. Tabel 4.22 giver et overblik over brændselsforbrug den producerede askemængde. Der er antaget gennemsnitlige brændværdier og de følgende askeindhold i brændslerne: Træpiller - 0,5%, træflis og træbrænde - 1%, halm - 5%. Mængderne må opfattes som minimumsmængder, idet asken typisk indeholder en betydelig del uforbrændt brændsel, specielt fra brændeovne og portionsfyrede halmkedler.

Det skal understreges, at asken fra disse mindre anlæg for en enkelt eller få husstande ikke er omfattet af Bioaskebekendtgørelsen, såfremt "asken tilbageføres til askeproducentens egne arealer, hvor biomassen/biomasseaffaldet kommer fra."

1999	Brændselsforbrug [t]					Askeproduktion [t TS]
	Halm	Træflis	Træpiller	Træaffald	Brænde	
Husholdninger	240.000	7.700	44.000	-	567.000	14.400
Industri & gartneri	-	-	-	275.000	-	2.200
Offentlig service	-	13.900	22.300	-	-	200
Skovbrug og jordbrug	160.000	2.600	-	-	-	6.400
I alt	400.000	10.300	44.000	275.000	567.000	23.200

Tabel 4.22. Brændselsforbrug og askeproduktion i 1999 i blokvarmecentraler og individuelle kedler og brændeovne (Energistyrelsen, 2000).

4.4 Samlet status for askemængder fra alle anlæg

I Tabel 4.23 fremgår den samlede askemængde i 2000 for alle større danske biomasseanlæg.

2000	Askeproduktion (t TS)
Halmfyrede fjernvarmeværker	13.440
Træflisfyrede fjernvarmeværker	2.570
Træpillefyrede fjernvarmeværker	560
Store, halmfyrede kraftvarmeværker	14.230
Industrielle kraftvarmeværker	1.500
I alt	32.300

Tabel 4.23. Samlet status over askemængder fra kollektive, biomassefyrede forsyningsanlæg i 2000.

Der er ikke tidligere lavet en systematisk undersøgelse af, hvor meget biomasseaske der produceres på danske anlæg. Den almindelige antagelse har dog været, at askeproduktionen lå på omkring 20.000 t/år for de kollektive forsyningsanlæg. Opgørelsen i denne rapport viser, at mængden er 50% større en hidtil antaget - nemlig 32.300 t/år.

Som nævnt i afsnit 4.3 produceres der i blokvarmecentraler samt i individuelle kedler og brændeovne omtrent 23.000 t aske årligt. Sammen med de adspurgte værker i dette projekt repræsenterer disse parter en komplet beskrivelse af kilderne til biomasseaske i Danmark. Der eksisterer ingen andre betydelige askeproducenter, som benytter sig af omsætning af ren biomasse. Således er den totale mængde tør biomasseaske i Danmark årligt omkring 55.000 t.

5 Genanvendelse af bioaske og tekniske muligheder

Dette afsnit giver en status for, hvor stor en mængde bioaske der genanvendes. Desuden beskrives med udgangspunkt i de eksisterende forhold, hvor stor en del af værkerne der har mulighed for separation af asken.

5.1 Askehåndtering på fjernvarmeværker

På basis af spørgeskemaundersøgelsen beskrives herunder askehåndteringen og mulighederne for separation af askefraktionerne på fjernvarmeværkerne.

5.1.1 Halmfyrede værker

Alle halmkedlerne er designet og bygget specielt til halmfyring, da halm på grund af det lave askesmeltepunkt har særlige slaggeproblemer.

Kedlerne kan opdeles i fire grupper, der er fabrikatafhængige, nemlig:

- Indfyring af oprevet eller evt. snittet halm på ristefyrede anlæg med principielt samme indfødningssystem og risteudformning som fliskedler.
- Anlæg med kontinuert indfødning af skiveskårne baller.
- Anlæg med kontinuert indfødning af hele baller.
- Portionsfyrede helballefy.

De ristefyrede anlæg er karakteriseret ved, at de kontinuert bevæger halmen og efterfølgende bundasken frem over risten, hvorpå forbrændingen sker. Ved afslutningen af risten vælter slaggen (bundasken) ned i en askegrav, der enten er vandfyldt og forsynet med askeskraber i form af et "udmugningsanlæg" eller er tør og forsynet med en askesnegl. Sneglen udasker via en cellesluse kedlen til en asketragt, hvorfra en transportsnegl eller redler fører asken til container.

De tre andre typer er uden egentlig bevægelig rist, men har en vandfyldt bund, hvorpå en askeskraber med faste intervaller skraber bundasken frem mod askegraven. På de portionsfyrede helballefy virker indfødningen af de nye baller som askeskraber.

Både de våde og de tørre systemer fungerer teknisk set tilfredsstillende, men den våde udaskning har miljømæssige ulemper i form af vand med meget høj koncentration af salte og andre forureninger fra asken. Endvidere er der korrosionsskader på transportsystemet og containere samt omkostninger til opsamling og håndtering af afvandingsvandet fra containerne. Ulempen ved de tørre udaskningssystemer er større risiko for driftsforstyrrelser i forbindelse med tilstopning af udaskningssnegl eller cellesluse ved slaggedannelse. Denne sidste risiko er størst ved halmfyring, hvorfor våd udaskning er mest udbredt her og også forventes at være det fremover.

Den videre håndtering af halmasken nødvendiggør i langt de fleste tilfælde en befugtning af tør aske, idet omlæsning til mellemlager eller

udspredningsredskaber i modsat fald ville give anledning til unacceptable støvgener.

Røggasrensningen på halmkedlerne består i alle tilfælde af multicyklon og posefiltre. På nogle anlæg er multicyklonen sammenbygget med filtret, men i de fleste tilfælde udgør multicyklonen en selvstændig enhed, således at alle tre askefraktioner i princippet kan adskilles. To værker har våd røggasrensning i stedet for filtre, hvorfor filterasken forekommer i form af kondensatslam.

Traditionelt blandes al asken i eller på vej til containeren, men et stigende antal værker separerer eller har mulighed for at separere, hvis dette bliver et krav, eller hvis der er en udbringningsmæssig fordel herved.

På anlæg med askeseparation udtages filterasken separat og tørt i big-bags, mens bundasken og cyklonasken udtages samlet og vådt i container.

Askefordelingen mellem bundaske, cyklonaske og filteraske varierer fra værk til værk afhængig af anlægsudformningen. Specielt varierer forholdet mellem cyklonaske og bundaske. En typisk fordeling er 70 - 80% bundaske, 5 - 10% cyklonaske og 15 - 20% filteraske målt i vægt. Ofte er filterasken meget voluminøs. Lys flyveaske fra dårlig vejret bygghalm har kun den halve rumvægt i forhold til mørk flyveaske fra god velvejret hvedehalm.

Tre af værkerne angiver af forskellige årsager, at al asken deponeres, mens de resterende værker leverer asken tilbage til landbrugsjord, hvor det spredes enten efter kategori H2 eller H3. Spredning efter kategori H1 er ikke mulig, hvorfor aske i denne kategori deponeres.

Fire af værkerne angiver at have fået etableret mellemlager i henhold til Bioaskebekendtgørelsens bestemmelser, men en række værker arbejder herpå og vil i løbet af 2001 eller senest ved næste fornyelse af halmkontrakterne have indgået aftale herom.

Syv af værkerne har etableret separationsanlæg for filterasken, og fem af disse deponerer filterasken. De to andre værker blander filterasken i containeren med bundasken, idet blandingsasken kan overholde kravene til kategori H2. Yderligere et par værker er ved at etablere muligheden for separation. Et par af værkerne angiver i perioder at have været nødsaget til at køre al asken på deponi, da asken var af kategori H1 på grund af manglende separationsmulighed for filterasken.

På over halvdelen af værkerne kan filterasken udtages separat efter mindre ombygninger af asketransportsnegle fra filtret til askecontainer og efter etablering af fyldesystem for big-bags.

5.1.1.1 Tungmetalanalyser og gødningsværdi

Der foretages løbende kvartalsvise eller halvårslige analyser på alle halmvarmeværkerne i henhold til Bioaskebekendtgørelsen.

I danske værker ses typiske cadmiumindhold i ren bundaske fra <0,1 til 1,0 mg Cd/kg TS, men oftest under de 0,5 mg/kg TS, der er den øvre grænse for H3. Blandingsaske indeholder 1,0 - 3,0 mg Cd/kg TS, men typisk mellem 2,0 og 2,5 mg Cd/kg TS (H2: < 2,5 mg Cd/kg TS). Filteraske indeholder typisk fra 5 - 20 mg Cd/kg TS, men der er målt værdier fra 2 - 25 mg Cd/kg TS.

Indenfor korte perioder svinger cadmiumindholdet i analyserne med en faktor 2-3 på det enkelte værk, da værdien afhænger af den specifikke halmleverance. Der er store geografiske forskelle, men indenfor det lokale område er forskellene lige så store, hvilket antageligt skyldes jordbundsforhold, gødningstilstand og gødningshistorik for den enkelte mark. Som et eksempel kan nævnes Østjydske Halmvarme. Analyseverdierne svinger her mellem 1,1 og 2,9 mg Cd/kg TS for blandingsaske uden noget bestemt mønster. Andre steder ses væsentlig større variationer.

En anden forklaring på variationerne i cadmiumindholdet kan være, at det er meget vanskeligt, om ikke umuligt, at tage en repræsentativ prøve fra en askecontainer. Specielt kan det være svært at udtage en prøve af blandingsaske, som indeholder det rigtige forhold af bundaske og flyveaske. På grund af den meget forskellige kemiske sammensætning af de to askefraktioner har dette naturligvis stor betydning for analyseresultatet for blandingsasken.

De halvårslige eller årlige askeanalyser er derfor ikke repræsentative for sammensætningen af den producerede aske på værkerne, hvilket er en betydelig svaghed ved de nuværende regler i Bioaskebekendtgørelsen.

5.1.1.2 Muligheder for separation og genanvendelse

På grund af de relativt store askemængder på ca. 5% af brændselsforbruget målt på tørstofbasis er det meget nødvendigt for halmvarmeværkerne at satse på tilbageføring af asken til landbrugsjorden under miljømæssigt forsvarlige vilkår. Dette skyldes, at alternativet i form af deponering er for omkostningskrævende, idet der samtidig skal betales for deponering af en tilsvarende mængde vand i den befugtede eller våde aske.

Ved nye halmfyrede anlæg kan det anbefales, at anlægget skal udformes, således at filterasken kan separeres og fyldes i big-bags.

Det anbefales også, at der etableres oparbejdningsanlæg for filteraske, hvor gødningsværdien af halmflyveasken udvaskes og afhændes til kunstgødningsindustrien eller leveres på flydende form til iblanding i svinegylle, der mangler kalium.

5.1.2 Træflisfyrede værker

De fleste af fliskedlerne er bygget specielt til fyring med fugtigt brændsel, hvorfor langt den overvejende del af kedlerne er udstyret med trapperist eller skubberist til at vende brændslet under forbrændingen. Enkelte af anlæggene er udstyret med spreaderstoker, der kaster brændslet ind i fyrboksen, mens resten er udstyret med hydraulisk indmader eller fødesnegl.

Trappe- og skubberistene vælter slaggen (bundasken) ned i en askegrav. Graven er enten vandfyldt og forsynet med askeskraber i form af et "udmugningsanlæg", eller den er tør og forsynet med en askesnegl, der via en celleduse udasker kedlen til en asketragt, hvorfra en transportsnegl eller redler fører asken til containere.

Begge systemer fungerer teknisk set tilfredsstillende, men den våde udaskning har miljømæssige ulemper i form af vand med meget høj koncentration af salte og andre forureninger fra asken. Endvidere er der korrosionsskader på transportsystemet og containere samt omkostninger til opsamling og håndtering af afvandingsvandet fra containerne. Ulempen ved de tørre

udaskningssystemer er større risiko for driftsforstyrrelser i forbindelse med tilstopning af udaskningsnegl eller celleduse ved slaggedannelse. Ligeledes er der risiko for kondensdannelse i transportsnegle med deraf følgende tilstopning. I anlæg med tør udaskning befugtes asken typisk til 20 - 30% vandindhold i containeren, så aflevering på deponi kan ske støvfrit.

Der er ingen markant forskel i alder eller størrelse på kedler, der adskiller de to udaskningssystemer, men de nyeste anlæg bygges enten til tør udaskning eller anlægget udformes, således at vandindholdet i asken i containeren begrænses mest muligt. Alternativt afvandes asken ved f.eks. udtørring inden levering til deponi.

Røggasrensningen på flisfyrede anlæg består på langt den overvejende del af anlæggene af henholdsvis multicykloner og røgvaskerianlæg afhængig af de enkelte anlægs fabrikat, udformning og de lokale miljøgodkendelser. Posefiltre anvendes ikke længere på flisfyrede anlæg, da de typisk er afløst af våd røggasrensning med varmegenvinding. Filteraske forekommer derfor stort set ikke. På enkelte anlæg, der alene fyrer med tørt træaffald, kan det forekomme.

Stort set alle flisfyrede fjernvarmeanlæg er udstyret med røgvaskerianlæg i form af røggaskondenseringsanlæg, der dels nyttiggør varmeindholdet i dampen fra flisens vandindhold, og dels renser røggassen for flyveaskepartikler og sure bestanddele. Hvor stor en del af asken, der ender som kondensatslam, varierer meget afhængigt af kedeldesign og effektivitet af multicyklon. Kondensatslammet udfældes via bundfældning eller ved filtrering gennem båndfiltre.

Askefordelingen mellem bundaske og cyklonaske varierer meget fra værk til værk afhængig af anlægsudformningen, men der er ofte en relativt stor mængde som cyklonaske. De to fraktioner kan på omkring 80% af anlæggene adskilles, men fordelingen herved vil ofte være tvivlsom som følge af cadmiumfordelingen.

For fire af værkerne gælder det, at man fortsat i år 2000 leverede asken til skovbrug, idet man endnu ikke har fået sig indrettet efter Bioaskebekendtgørelsens bestemmelser. I år 2001 gælder dette kun to værker. For alle øvrige værkerne gælder det, at asken deponeres eller afleveres til den kommunale affaldsordning (forbrændingsanlæg), da der ikke findes alternativer og økonomisk overkommelige løsninger for tilbageføring.

Kondensatslam hældes oftest i askecontaineren og deponeres sammen med asken. Enkelte værker afleverer kondensatslammet i tønder til separat deponering.

5.1.2.1 Tungmetalanalyser og gødningsværdi

Der foretages ikke løbende analyser af bundaske og cyklonaske eller kondensatslam på værkerne af disse værdier, da den eneste realistiske mulighed for bortskaffelse er deponering.

5.1.2.2 Muligheder for separation og genanvendelse

På grund af de relativt små askemængder på ca. 1,0% af brændselsforbruget er det ikke rentabelt at investere i separationsanlæg og i analyser til sikring af genanvendelse på de etablerede anlæg.

Ved etablering af nye flisfyrede anlæg kan det dog være hensigtsmæssigt at installere tør udaskning af alle askefraktioner og udforme anlægget, således at bundaske og cyklonaske føres tørt til en lukket container eller big-bags. Et typisk flisvarmeværk har under 100 t tør aske om året, hvorfor en big-bag løsning kunne være aktuel.

I containeren kan asken eventuelt befugtes med vandtåge med henblik på deponering, eller den kan leveres tørt til oparbejdningsanlæg til gødningsformål. Big-bags kan deponeres tørt eller leveres til oparbejdningsanlæg afhængig af, om skovbruget får etableret et anvendeligt retursystem for asken.

Kondensatslam kan håndteres separat og afleveres til deponering eller oparbejdning i separate containere. Kondensatslam til deponering afvandes forinden ved udtørring eller ved afvanding i kammerfilterpresse eller lignende til jordfugtig konsistens. Kondensatslam til oparbejdning kan med fordel leveres på flydende form med slamsugertankvogn.

5.1.3 Træpillefyrede værker

De fleste af træpillekedlerne er ombyggede kulkedler med lamel-vandreriste, der vælter slaggen (bundasken) ned i en askegrav, der enten er vandfyldt og forsynet med askeskraber i form af et "udmugningsanlæg" eller er tør og forsynet med en askesnegl, der via en celleduse udasker kedlen til en asketragt, hvorfra en transportsnegl eller redler fører asken til container.

Begge systemer fungerer teknisk set tilfredsstillende, men den våde udaskning har miljømæssige ulemper i form af vand med meget høj koncentration af salte og andre forureninger fra asken. Endvidere er der korrosionsskader på transportsystemet og containere samt omkostninger til opsamling og håndtering af afvandingsvandet fra containerne. Ulempen ved de tørre udaskningssystemer er større risiko for driftsforstyrrelser i forbindelse med tilstopning af udaskningssnegl eller celleduse ved slaggedannelse.

Der er ingen markant forskel i alder eller størrelse på kedler, der adskiller de to askeudtagssystemer, men de nyeste anlæg bygges med tør udaskning. Dette viser sig blandt andet ved en svag stigning i tøraskeandelen i år 2000.

Enkelte ældre anlæg har tørre udaskningssystemer med pneumatisk asketransport, men disse systemer er ikke driftsmæssigt optimale og har miljømæssige problemer med afkastluften.

Røggasrensningen på træpillekedlerne består af henholdsvis multicykloner og/eller posefiltre afhængig af de enkelte anlægs oprindelige udformning og de lokale miljøgodkendelser. På de ældre værker blandes cyklon og filterasken med bundasken enten undervejs til eller i containeren. På det nyeste værk i Maribo udtages filterasken separat og tørt i big-bags, mens bundasken og cyklonasken udtages samlet og vådt i container.

Askefordelingen mellem bundaske, cyklonaske og filteraske varierer meget fra værk til værk afhængig af anlægsudformningen, men der er ofte en stor mængde som cyklonaske og en begrænset del som egentlig bundaske. De to fraktioner kan dog ofte ikke adskilles som følge af, at askesystemerne er integreret, eller at cyklonasken genindfyres. Hvor der er installeret posefiltre, vil flyveasken fra disse kunne separeres.

To af værkerne leverer fortsat asken til henholdsvis landbrugsjord og skovbrug, idet man endnu ikke har fået sig indrettet efter Bioaskebekendtgørelsens bestemmelser. Alle øvrige værker deponerer asken, da der ikke findes alternativer og økonomisk overkommelige løsninger for tilbageføring.

5.1.3.1 Tungmetalanalyser og gødningsværdi

Der foretages ikke analyser på værkerne af disse værdier, da deponering er den eneste realistiske mulighed for bortskaffelse.

5.1.3.2 Muligheder for separation og genanvendelse

På grund af de relativt små askemængder på ca. 0,5% af brændselsforbruget er det ikke rentabelt at investere i separationsanlæg og i analyser til sikring af genanvendelse på etablerede anlæg. Endvidere er de fleste anlæg mellem 15 og 20 år gamle, hvorfor det kan forventes, at de inden for en kort årrække erstattes af flisfyrede anlæg.

Ved nye træpillefyrede anlæg kan man forestille sig, at der installeres tør udaskning af alle askefraktioner, og at anlægget udformes, således at filterasken kan separeres og fyldes i big-bags. Den tørre bund- og cyklonaske kan fyldes i lukkede containere eller big-bags.

I containeren kan asken evt. befugtes med vandtåge med henblik på deponering, eller den kan leveres tørt til oparbejdningsanlæg til gødningsformål. Big-bags kan deponeres tørt eller leveres til oparbejdningsanlæg, afhængig af om skovbruget får etableret et anvendeligt retursystem for asken.

5.1.4 Samlet status for askehåndtering på fjernvarmeværker

Tabel 5.1 viser status for askemængder og -anvendelse for fjernvarmeværkerne.

2000 Aske i t TS/år	Total askeproduktion	Udbringes på mark/skov	Deponeres
Halmværker	13.440	10.750	2.690
Træflisværker	2.570	0	2.570
Træpilleværker	560	0	560
I alt	16.570	10.750	5.820

Tabel 5.1. Askeanvendelse for fjernvarmeværker.

Den overvejende del af asken fra halmværkerne udbringes på marker, men en del værker må deponere cyklon- og filteraske, mens nogle få værker også deponerer bundasken. Undersøgelsen har ikke afklaret præcis, hvor store mængder, der udbringes på markerne. Det vurderes, at 80% af asken udbringes.

Fire træflisfyrede værker leverede i 2000 aske til skovbrug, men i år 2001 er det kun to værker. Alle øvrige værker deponerer asken eller afleverer den til den kommunale affaldsordning. To træpillefyrede værker leverer asken til henholdsvis landbrugsjord og skovbrug, mens alle de resterende værker deponerer asken. Da der ikke findes tal for hvor store mængder træaske de nævnte værker udbringer, og da mængden i øvrigt er faldende, er mængden i tabellen anført til 0.

5.2 Askehåndtering på store, halmfyrede kraftvarmeværker

I dette afsnit beskrives askehåndteringen på de store halmfyrede kraftvarmeanlæg ejet af Elsam og Energi E2.

5.2.1 Enstedværkets biokedel

5.2.1.1 Bundaske

Slagge fra halmkedel, flisoverheder og halmkedlens 2. træk opsamles i vådafslagere og transporteres ved hjælp af kædeslaggeskrabere frem til en fælles slaggetransportør, hvorfra den blandede slagge føres til container.

I kædeslaggeskraberen ved halmkedel har der været problemer med, at kæden slider spor i bunden af slaggeskraberen (8 mm plade). Bunden er udskiftet visse steder, og der er monteret slidskinner af Hardox-stål under kæden. Der monteres nu zinkanoder på medbringerne for at mindske slidet på kæde, medbringere og slidskinner.

Den fælles slaggetransportør var oprindeligt udført som kædeslaggeskraber, men denne tærede igennem på ca. 2 år (kæde og medbringere) og er udskiftet primo 2000 til et "udmugningsanlæg" med rustfri stålbund.

Bundaske fordeles via Landbogården og udspreddes på landbrugsarealer i henhold til Bioaskebekendtgørelsens kategori H3.

5.2.1.2 Flyveaske

Flyveaske udskilles i to elektrofiltre ved omkring 120°C. En tværgående samlesnegl under hvert el-filter fører asken til det pneumatiske askesendesystem, der transporterer asken til mellembeholderen i sækkefyldeanlægget. Fra mellembeholderen fyldes asken i big-bags ved hjælp af tre fordelersnegle i serie. Flyveasken deponeres i big-bags i Kollund-deponiet.

5.2.1.3 Tungmetalanalyser og gødningsværdi

Tungmetalanalyser fra demo-program (1998/99) og kvartalsprøver er vist i Tabel 5.2 og Tabel 5.3.

mg/kg TS	Bundaske					Flyveaske				
	Cd	Hg	Pb	Ni	Cr	Cd	Hg	Pb	Ni	Cr
Forsøg 1	0,13	<0,03	1,9	12	28	14	1,3	45	5,7	17
Forsøg 2	0,27	<0,03	2	13	31	19	1,5	58	3	10
Forsøg 3	0,18	<0,03	2,9	16	82	12	0,95	43	3,4	10
Forsøg 4	0,23	<0,03	2,7	26	47	14	1,58	47	6,3	13
Forsøg 6	0,17	<0,03	4,7	12	28	11	1,2	103	10	20
Middel	0,20	<0,03	2,8	16	43	14	1,3	59	5,7	14
H3-krav	0,5	0,8	120	30	100	0,5	0,8	120	30	100
H2-krav	2,5					2,5				
H1-krav	5			60		5			60	

Tabel 5.2. Tungmetalanalyser (total) fra demo-forsøgsprogram på Enstedværket.

Kvartal	Cd mg/kg TS	Hg mg/kg TS	Pb mg/kg TS	Ni mg/kg TS	Cr mg/kg TS
3/2000	0,18	<0,01	2,8	7,5	14
2/2000	0,16	<0,01	2,3	4,3	11
1/2000	0,18	<0,01	4,4	5,4	12
4/1999	0,16	0,05	6,0	11	
3/1999	0,29	<0,01	3,2	13	
2/1999	0,28	<0,01	3,7	13	
1/1999	0,18	<0,01	2,0	7,3	
4/1998	0,09	<0,01	2,9	4,9	
3/1998	0,19	<0,01	1,8	5,2	
Middel	0,19	<0,01	3,2	8	12
H3-krav	0,5	0,8	120	30	100

Tabel 5.3. Tungmetal analyser (DS2210/259) af kvartal prøver af bundaske fra Enstedværket.

Alle bundasker fra både demo-forsøg og kvartalsprøver opfylder Bioaskebekendtgørelsens kategori H3 og kan derfor udsprede med den maksimale udbringningsmængde på 5 t TS/ha.

Derimod overskrider flyveasken kravværdierne for både kviksølv og cadmium og kan derfor ikke udsprede på landbrugsjord.

Tages der udgangspunkt i middelværdierne for indholdet af cadmium og kviksølv i bundaske og flyveaske fra demo-forsøget og en flyveaskeandel på tør basis på 19%, kan indholdet i blandingsasken beregnes til henholdsvis 2,9 mg Cd/kg TS og 0,2 mg Hg/kg TS. Generelt kan blandingsasken dermed udsprede i henhold til kategori H1, men den maksimale udbringningsmængde i denne kategori er for lav til praktisk brug.

Sammenlignes analyseresultaterne for bundasker i Tabel 5.2 og Tabel 5.3 ses, at for Cd, Hg og Pb er der ingen signifikant forskel mellem totalbestemmelsen og oplukning efter DS2210/DS259. For Ni og Cr giver DS-oplukningen lavere værdier end totalanalysen.

I forbindelse med demo-forsøgsprogrammet er der foretaget massebalancemålinger for både makro-stoffer og tungmetaller. For Cd er der en generel tendens til manglende genfindning i restprodukterne, men om det er tilførsel med brændsel, der er for stor, eller fraførsel med restprodukter og røggas, der er for lille, er uafklaret.

Analyseresultater vedrørende bundaskens indhold af gødningsstoffer er vist i Tabel 5.4.

Kvartal	Tørstof %	Total-K g/kg TS	Total-P g/kg TS	Total-N g/kg TS	Vandopløselig K g/kg TS	Vandopløselig P g/kg TS
3/2000	59	124	20	<2	18	0,05
2/2000	50	118	19	<2	17	0,17
1/2000	51	106	18	<2	17	0,22
4/1999	41	102	18	<2	17	0,42
3/1999	34	121	18	3	38	0,56
2/1999	44	107	15	<2	22	0,30
1/1999	42	112	17	<2	20	0,26
4/1998	33	94	13	4	22	0,33
3/1998	36	119	16	3	20	0,39
Middel		111	17		21	0,30

Tabel 5.4. Gødningsstofanalyser af kvartal prøver af bundaske fra Enstedværket.

Det ses, at kun knap 20% af bundaskens indhold af kalium er vandopløseligt, og at fosforindholdet stort set er uopløseligt.

5.2.2 Måbjergværket

5.2.2.1 Bundaske

Slagge fra bunden af fyrrummet og kedelaske fra kedlens konvektionspart transporteres med vådudskraber samlet til container. Vådudskraber fungerer efter samme princip som et udmugningsanlæg.

Kedelaske kan give anledning til opblokning i tragt i forbindelse med sodblæsning – måske på grund af tragtens form og størrelse. Asken har da form som ”glødende ståluld”, som har besvær med at komme under vand.

Der har været tendens til opblokning i forbindelse med højt indhold af uforbrændt i slaggen. Systemet er ikke velegnet til transport af sammenbagt slagge, f.eks. slagge, der er ophobet på halmbrænderne, og som falder af i store klumper - eller anden sammenbagt slagge fra rysteristen.

Slaggen bliver bragt ud til landmænd, der anvender den til vejopfyld, men der arbejdes på at få slaggen udspredd på marker i fremtiden.

5.2.2.2 Flyveaske

Efter udskillelse i posefilter transporteres flyveasken med snegle til redler, der leverer asken i en silo, hvorfra den med et sneglesystem doseres i en tvangsblender, der opblender asken med vand. Herfra doseres den blandede aske til container og køres til deponering.

5.2.2.3 Tungmetalanalyser og gødningsværdi

Tungmetalanalyser af bundaske fra de seneste tre perioder fremgår af Tabel 5.5. Bekendtgørelsens kategori H3 kan efterleves.

Periode	Cd mg/kg TS	Hg mg/kg TS	Pb mg/kg TS	Ni mg/kg TS	Cr mg/kg TS
01.11.99-01.05.00	0,41	<0,07	3,3	4,0	
01.05.00-30.09.00	0,28	<0,05	4,3	5,6	7,3
01.10.00-31.12.00	0,25	<0,05	10	4,1	5,9

Tabel 5.5. Tungmetalanalyser (DS2210/259) af prøver af bundaske fra Måbjergværket.

Indholdet af total-P i bundasken udgør henholdsvis 14, 14 og 9 g/kg TS i de tre bundaskeprøver.

5.2.3 Rudkøbing Kraftvarmeværk

Bundaske transporteres med vådslaggeskraber til container. Røggassen renses i posefilter, og flyveasken opsamles i big-bags. Der er generelt gode driftserfaringer med askehåndteringssystemerne, men der er en del korrosion i slaggeskrabere og slaggecontainere.

Bundasken leveres tilbage til halmleverandørerne og udspreddes efter bekendtgørelsens regler. Der udarbejdes en deklaration på basis af de seneste analyseresultater.

Flyveasken deponeres i big-bags i Kollund-deponiet.

5.2.3.1 Tungmetalanalyser og gødningsværdi

De tre seneste komplette analyser af bundaske er vist i Tabel 5.6. Kravene til kategori H3 kan opfyldes for disse tre prøver, men dette er ikke altid tilfældet for bundaske fra Rudkøbing.

Periode	Cd mg/kg TS	Hg mg/kg TS	Pb mg/kg TS	Ni mg/kg TS	Cr mg/kg TS
Februar 2000	<0,1	<0,05	<1	1,1	1,1
Januar 1999	0,49	0,03	3,0	0,98	
Oktober 1997	0,48	0,01	3,5	3,3	

Tabel 5.6. Tungmetal analyser (DS2210/259) af prøver af bundaske fra Rudkøbing.

Indholdet af total-P varierer i området 6-14 g/kg TS.

Der foreligger to analyser af flyveaske fra 1995 og 1997, hvor indholdet af cadmium var henholdsvis 5,1 og 6,5 mg/kg.

5.2.4 Haslev Kraftvarmeværk

Slaggetransportsystemet er hydraulisk drevet med fremad- og tilbagegående bevægelse. Når transportør er i hjemmestilling, er medbringerne nede og bringer den våde slagge fremad. Når transportøren kører tilbage, løftes medbringerne. Der arbejdes med 4 slag pr. kvarter, og slaglængden er 1,75 meter. Slaggen bringes til container. Driftserfaringerne med dette system er generelt gode. Dog kan uforbrændt halm give problemer, da det har tendens til at flyde på vandoverfladen i slaggekarret.

Flyveaske udskilles i posefilter og videreføres herfra ved hjælp af et sneglesystem. Flyveasken kan enten føres til vådudskraber og blandes med slagge eller føres til separat container for flyveaske. Flyveaskecontaineren er forsynet med et vandspraysystem til befugtning af asken inden deponering. Befugtningssystemet er ikke særligt stabilt.

Bundaske leveres tilbage til halmleverandørerne og udspreddes efter bekendtgørelsens kategori H2. Inden for det sidste års tid er der udført forsøg med tilbageblanding af flyveaske i slaggen, idet det blev konstateret, at Cd-niveauet var usædvanligt lavt. P.t. (marts 2001) blandes hele flyveaskemængden med slagge.

En prøve fra marts 2000 med anslået 50% tilbageblanding af flyveaske i slaggen havde et indhold af cadmium på 1,7 mg/kg TS og af vandopløseligt kalium på 34 g/kg TS. I en prøve fra september 2000 med 100% tilbageblanding af flyveaske var indholdet af vandopløseligt kalium forøget til 105 g/kg TS, og også indholdet af bly var forøget væsentligt, hvilket er i overensstemmelse med det forventede. Til gengæld var indholdet af cadmium kun forøget til 1,9 mg/kg TS, således at krav til kategori H2 kan opfyldes. Dette indikerer, at halmens indhold af cadmium er faldet betydeligt fra marts til september 2000, hvor det må antages, at halm fra en ny høstsæson er anvendt. Med halmen fra marts 2000 ville det næppe have været muligt at opfylde H2-kravene med 100% tilbageføring af flyveaske.

5.2.5 Slagelse Kraftvarmeværk

Fra risten falder bundasken ned i slaggeskraberens våde del (vandlås), hvorfra bundasken føres frem og op, således at vand drænes fra. På dette punkt tilføres en delstrøm flyveaske. Fra slaggeskraber falder bundasken ned i en container med fremføringssnegl i top. I containeren sker også en vis dræning.

Når containeren er fuld, skiftes automatisk til ny. Den fyldte container tømmes efter fordelingsnøgle ved en halmleverandør. Generelt er driftserfaringerne med bundaskesystemet gode.

Fra elektrofilter transporteres flyveasken i lukkede rørsnegle. Der er to sneglesystemer. Det ene fører asken frem til en "ren" askecontainer beregnet for deponi. Ved nedfald i askecontainer befugtes asken. Dette er et krav fra lossepladsen (der gives ikke fradrag for vandindhold i deponeringsafgiften). Den befugtede aske giver problemer ved aftipningen, idet den klæber sig fast i containeren. Der lægges plastik i bunden og op ad siderne. Dette har en positiv virkning, men er et arbejdsmiljømæssigt problem og fritager ikke for indvendige rensninger. Den anden snegl fører en delmængde over til blanding med bundasken. Generelt er driftserfaringerne gode med rørsneglene.

Bundasken (inklusive en indblandet mængde flyveaske) fordeles blandt halmleverandørerne, alt efter hvor meget den enkelte har leveret (til jordforbedring kategori H2). Ren flyveaske befugtes og deponeres på Forlev losseplads.

Tilblanding af flyveaske i slaggen er påbegyndt i efteråret 2000, og doseringen er nu (marts 2000) øget fra 1/2 af flyveasken til 2/3 af flyveasken.

5.2.5.1 Tungmetalanalyser og gødningsværdi

Tungmetalanalyser for bundaske, flyveaske og blandingsaske (50% af flyveasken blandet med bundasken) er anført i Tabel 5.7.

mg/kg TS	Bundaske januar 2000					Flyveaske januar 2000				
	Cd	Hg	Pb	Ni	Cr	Cd	Hg	Pb	Ni	Cr
	0,005	<0,02	3,0	<0,3	0,6	15	1,3	28	6,0	20
	Blandingsaske oktober 2000									
	Cd	Hg	Pb	Ni	Cr					
	1,7	0,1	20	6,8	7,2					

Tabel 5.7. Tungmetalanalyser (DS2210/DS259) af askeprøver fra Slagelse.

Det ses, at bundasken i denne periode kan opfylde kravene til kategori H2 ved tilbageblanding af 50% flyveaske, hvorimod 100% tilbageblanding vil bringe bundasken i kategori H1.

I den ikke-blandede bundaske er indholdet af vandopløselig kalium 15 g/kg TS, og indholdet af total-P er 9,3 g/kg TS.

5.2.6 Masnedø Kraftvarmeværk

Bundasken fra kedlen opsamles i et vandfyldt slaggekar under kedlen. Hertil ledes også ved hjælp af et sneglesystem flyveasken, der udskilles i et elektrofilter. Den samlede askemængde transporteres herefter ved hjælp af et lukket kædesystem til lukkede slaggecontainere. Disse afhentes af en vognmand, der leverer asken tilbage til halmleverandørerne.

Før sammenblanding af bundaske og flyveaske blev iværksat i maj 2000, blev flyveasken deponeret på Fasans anlæg ved Fakse.

5.2.6.1 Tungmetalanalyser og gødningsværdi

Tungmetalanalyser for blandet bundaske og flyveaske er vist i Tabel 5.8.

Cd mg/kg TS	Hg mg/kg TS	Pb mg/kg TS	Ni mg/kg TS	Cr mg/kg TS
2,2	0,25	35	6,7	6,8

Tabel 5.8. Tungmetal analyser for blandet bundaske og flyveaske fra Masnedø (DS259) - oktober 2000.

I dette tilfælde kan blandet bundaske og flyveaske opfylde kravene til kategori H2. Antages det, at halmen har et askeindhold svarende til typisk halm på 4,5% på tør basis, svarer et cadmiumindhold i blandet aske på 2,2 mg/kg TS til et indhold af cadmium i halm på 0,1 mg/kg TS.

Der foreligger herudover analyseresultater for separate bundaske- og flyveaskeprøver fra fire fyringsforsøg i 1998 og 1999 med henholdsvis halm- og halm/træflisfyring (Tabel 5.9).

mg/kg TS	Bundaske					Flyveaske				
	Cd	Hg	Pb	Ni	Cr	Cd	Hg	Pb	Ni	Cr
Forsøg E2-1	0,2	<0,02	1,8	6,6	19,5	12,7	0,68	45	<2,5	4,4
Forsøg E2-2	0,2	<0,02	10,2	10,5	40,5	15	0,91	159	<2,5	10
Forsøg E2-3	<0,2	<0,01	5,2	21	88	13	1,7	90	2,5	9,5
Forsøg E2-4	<0,2	<0,01	19	13	75	17	1,5	166	2,0	12

Tabel 5.9. Tungmetal analyser for askeprøver fra fyringsforsøg på Masnedø Kraftvarmeværk.

Forsøg E2-1 : Halm 2/12-1999

Forsøg E2-2 : Halm/træflis 8/12-1999

Forsøg E2-3 : Halm 25/11-1998

Forsøg E2-4 : Halm/træflis 1/12-1998

For halmfyringsforsøgene er analyseresultaterne på niveau med de tilsvarende forsøg på Enstedværket som vist i Tabel 5.2. Ved samfyring med træflis fås en betydelig stigning i indholdet af bly i både bundaske og flyveaske, hvilket afspejler, at træflis generelt har et højere indhold af bly end halm.

Flyveaskeandelen på tør basis er målt til henholdsvis 29% og 14% i forsøg E2-1 og E2-2. I de to øvrige forsøg blev der målt flyveaskeandele på henholdsvis 7% og 10%, men disse værdier er meget usikre. Regnes der med 20% flyveaskeandel, kan blandet bundaske og flyveaske i disse forsøg ikke opfylde kategori H2.

5.2.7 Maribo-Sakskøbing Kraftvarmeværk

Slaggen forlader kedlen i en vådskraber af kædetypen Enbema. Vådskraberens afleverer bundasken i slaggerummet, hvor der er afløb af vandet til opsamlingsbrønd. I slaggerummet under vådskraberens udløb, i ca. 4 m højde, er placeret en slaggefordeler i hele rummets længde. Bundasken læsses på lastbil med gummihjulslæsser og køres ud til halmleverandørerne. Vandet i opsamlingsbrønden pumpes ind til vådskraberens igen og genbruges. Vådskraberens og slaggefordelerens løser opgaven uden problemer i det daglige; men er udsat for kraftig slitage og korrosion.

Flyveasken opsamles i big-bags, rumindhold ca. 2 m³, ved hjælp af transportsnegle og transporteres med lastbilcontainer til sikret losseplads. Systemet er i den daglige drift meget pålideligt. Anlægget er for nylig blevet forsynet med et snegletransportsystem til tilbageblanding af flyveaske i slaggen. Systemet kan operere med variabel tilbageføring af flyveaske, således at tilbageføringsgraden kan optimeres i forhold til analyseresultater for blandingsasken.

Bundasken med tilbageblandet flyveaske køres ud til de forskellige leverandører i forhold til den halmmængde, de har leveret i den forgående 3

måneders periode. Mindste mængde er et læs. Mindre leverandører får kun læs en gang pr. år. I vinterperioden med stor produktion tømmes slaggerum en gang pr. uge.

Den resterende mængde af flyveaske deponeres på Refas sikrede losseplads på Hasselø. Big-bags genanvendes ikke.

5.2.7.1 Tungmetalanalyser

Tungmetalanalyser er vist i Tabel 5.10.

mg/kg TS	Bundaske oktober 2000					Flyveaske august 2000				
	Cd	Hg	Pb	Ni	Cr	Cd	Hg	Pb	Ni	Cr
	0,05	0,05	<0,09	1,3	4,2	8,2	0,08	25	<0,3	0,4

Tabel 5.10. Tungmetalanalyser for askeprøver fra Maribo-Sakskøbing Kraftvarmeværk.

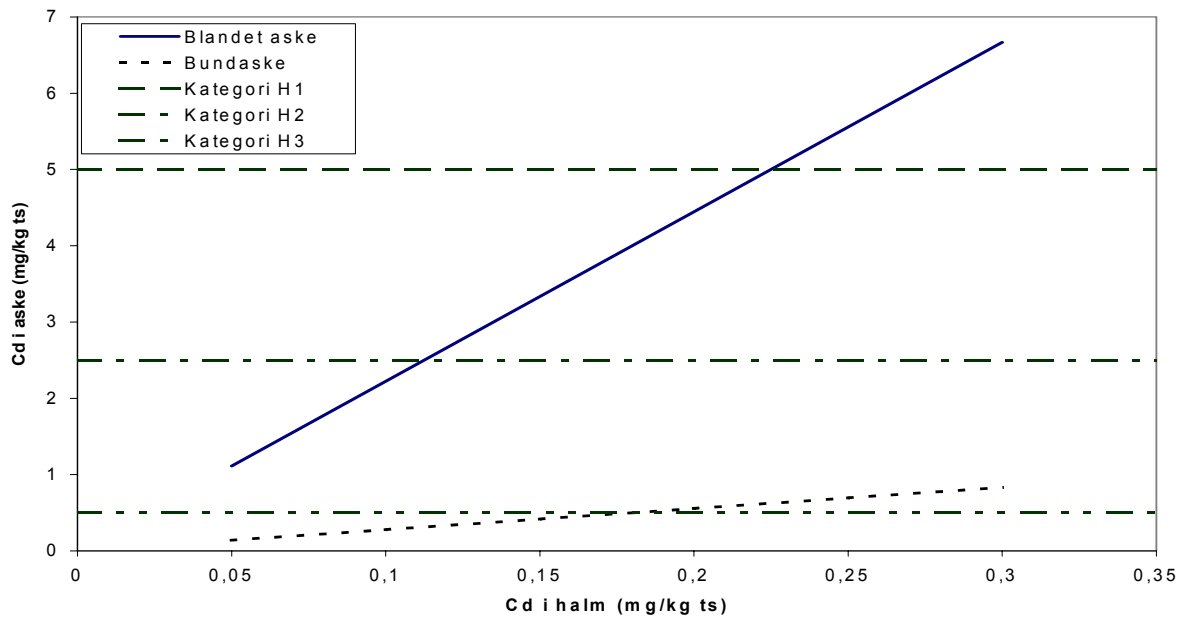
Cd-niveauet er lavt både i bundaske og flyveaske. Antages flyveaskeandelen at udgøre 20%, kan Cd-indholdet i blandingsasken beregnes til 1,7 mg/kg. Blandingsasken vil således kunne opfylde kategori H2.

5.2.8 Cadmium i halm og halmaske

Analyseværdier for indhold af cadmium i halm varierer i området 0,05-0,3 mg/kg TS. Indholdet af cadmium i blandet aske kan beregnes på basis af halmens askeindhold, og indholdet i bundasken kan beregnes på basis af Cd-fordelingen mellem bundaske og flyveaske.

Med antagelse af et askeindhold i halmen på 4,5% på tør basis, en askefordeling på 80% bundaske/20% flyveaske og en indbinding af cadmium i bundaske på 10% er indholdet af cadmium i blandet aske og bundaske beregnet som funktion af halmens indhold af cadmium som vist i Figur 5.1.

Under disse forudsætninger skal indholdet af cadmium i halm være mindre end 0,18 mg/kg TS for, at bundasken kan opfylde kravet til kategori H3 og mindre end 0,11 mg/kg TS for, at blandet aske kan opfylde kravet til kategori H2. I praksis kompliceres dette billede af variationer i fordeling af både aske og cadmium, og endvidere vil et højt indhold af bortglødeligt materiale i asken reducere indholdet af cadmium i asken.



Figur 5.1. Beregnet indhold af Cd i bundaske og blandet aske som funktion af Cd-indhold i halm.

Beregningen illustrerer dog, at med det variationsområde, der kendes for cadmium i halm, vil det som oftest ikke være muligt at opfylde kategori H2 for blandet aske. Derimod vil f.eks. 50% tilbageblanding af flyveaske have stor sandsynlighed for at ligge i H2. Resultaterne fra Masnedø og Maribo-Sakskøbing for 2000-høsten viser dog, at halmen undertiden har så lavt indhold af cadmium, at blandet aske kan opfylde kategori H2. Om der er tale om årsvariationer, regionale forskelle eller en generelt faldende tendens kan ikke afgøres på det foreliggende grundlag. Dette betyder, at det er vanskeligt at forudsige hvor stor tilbageblanding af flyveaske, der vil være acceptabel på det enkelte anlæg.

5.2.9 Sammenfatning og konklusion for store kraftvarmeværker

Brændselsforbruget og askeproduktion er opgjort for de syv biomassefyrede kraftvarmeværker hos Energi E2 og Elsam. Anlægget i Grenå er ikke medtaget, da der her samfyres med kul, således at asken ikke kan nyttiggøres til gødningsformål. Af de syv anlæg er de fire (Rudkøbing, Haslev, Slagelse og Maribo-Sakskøbing) udelukkende halmfyrede, hvorimod de tre øvrige også indfyres flis eller andre biobrændsler.

I Tabel 5.11 er det opsummeret, hvor meget aske der produceres på værkerne, og hvorledes denne aske anvendes.

2000 Aske i t TS/år	Askeproduktion		Udbringning på mark/skov, deponi eller evt. andet		Mængder til udbringning på mark/skov eller deponi	
	Bundaske	Flyveaske	Bundaske	Flyveaske	Udbringning	Deponi
Ensted	3.323	660	Mark	Deponi	3.323	660
Måbjerg	2.088	930	Vejopfyld ¹	Deponi	0	3.018
Rudkøbing	700	139	Mark	Deponi	700	139
Haslev ²	990	230	Mark	Deponi	990	230
Slagelse	1.100 ³	260 ³	Mark	Mark/Deponi ⁵	1.230	130
Masnødø	2.088 ⁴	312 ⁴	Mark	Mark	2.400	0
Maribo- Sakskøbing	1.157	253	Mark	Mark/Deponi ⁵	1.284	126
I alt	11.446	2.784			9.927	4.303

Tabel 5.11. Askeanvendelse for de store, halmfyrede kraftvarmeværker i 2000.

¹ Bundasken fra Måbjergværket anvendes som vejopfyld, og næringsværdien nyttiggøres ikke. I denne opgørelse regnes denne anvendelse derfor som deponi.

² Fra marts 2001 blandes flyveasken med bundasken på Haslev kraftvarmeværk, og hele askemængden udbringes på marken.

³ Mængderne er skønnet, da askemængderne ikke afvejes på Slagelse Kraftvarmeværk.

⁴ Fra maj 2000 sammenblandes bund- og flyveaske. Den samlede mængde i 2000 var 2.400 t TS, og der er her antaget samme flyveaskeandel som i 1999 (13%).

⁵ På Slagelse og Maribo-Sakskøbing Kraftvarmeværk tilbageblandes en del af flyveasken i bundasken. Det er her antaget, at halvdelen tilbageblandes.

Andelen af flyveaske i forhold til den samlede askeproduktion på tør basis udgør mellem 13 og 34% opgjort som gennemsnit af de seneste op til tre år. Den typiske andel er omkring 20%.

Alle anlæg er forsynet med slaggekar i bunden af kedlen. Fra slaggekarret transporteres bundaske videre ved hjælp af kædeskrabersystem eller udmugningsanlæg. Slaggen føres på de fleste anlæg til containere for videretransport. På et enkelt anlæg afleveres slaggen i et slaggerum, hvorfra der læsses på lastbil. Slaggetransportsystemerne er rimeligt pålidelige, men problemer med slid og korrosion har dog medført reparationer og ombygninger. Endvidere kan højt indhold af uforbrændt give håndteringsproblemer.

Flyveaske udskilles i pose- eller elektrofilter og transporteres herfra ved hjælp af sneglesystemer eller ved pneumatisk transport. Driftserfaringerne hermed er gode. Flyveasken opsamles enten i big-bags eller i containere. Ved sidstnævnte løsning kan der være krav om befugtning, hvilket kan medføre en del praktiske problemer. Anvendelse af tvangsblender ser ud til at give færre problemer end befugtning i containere.

På flere sjællandske anlæg er der installeret et parallelt snegletransportsystem til flyveaske, således at en del af flyveasken kan føres til slaggetransportsystemet og blive blandet med bundasken.

Bundaske leveres tilbage til landbruget og udsprede i henhold til bekendtgørelsens regler enten som H3- eller H2-aske. Kategori H1 er ikke praktisk anvendelig på grund af for lav udspretningsmængde.

På de sjællandske anlæg er man i efteråret 2000 begyndt at blande en del af flyveasken sammen med bundasken. Mængden afpasses således, at kravet til indhold af cadmium for kategori H2 kan overholdes.

Flyveasken (eller den del af flyveasken, der ikke sammenblandes med bundaske) deponeres. Anvendes big-bags til transport, forbliver asken i big-bags på deponeringspladsen.

Indholdet af cadmium er bestemmende for hvilken kategori, bundaske eller blandet aske vil ligge i. Bundaske vil som hovedregel kunne overholde kategori H3, men undtagelser forekommer. Blandet bundaske og flyveaske vil typisk falde under kategori H1, men i tilfælde af usædvanligt lavt indhold af cadmium i halmen kan kravene til H2 overholdes. Sammenblanding af 50% flyveaske med bundasken vil ofte overholde kravene til H2. Det er uafklaret, om variationerne i halmens indhold af cadmium skyldes årsvariationer, regionale forskelle, eller om der kan være tale om en faldende tendens, og det er derfor vanskeligt at planlægge tilblanding af flyveasken. Data fra de sjællandske anlæg indikerer, at niveauet for 2000-høsten er lavt, men desværre foreligger der ingen oplysninger for jysk halm fra denne høst.

Med hensyn til gødningsværdi af bundaske ligger indholdet af total kalium på i størrelsesordenen 110 g/kg TS, hvorimod indholdet af vandopløselig kalium varierer i området 15-38 g/kg TS. Ved tilblanding af flyveaske vil indholdet af vandopløselig kalium stige markant. Indholdet af total fosfor ligger i området 6-20 g/kg TS, og heraf er kun en ubetydelig andel vandopløselig.

Der er ikke i forbindelse med nærværende dataindsamling foretaget en vurdering af kvaliteten af de anvendte prøveudtagningsprocedurer. Det må formodes, at der i nogle tilfælde er tale om stikprøver, der ikke nødvendigvis er repræsentative for anlæggets produktion, hvilket kan indebære stor usikkerhed på resultaterne. Det er derfor behov for, at der hurtigst muligt bliver udarbejdet en forskrift for prøveudtagning og analyse af askeprøver.

Det kan konkluderes, at der på de biomassefyrede kraftvarmeværker findes rimeligt pålidelige systemer til separat håndtering af bundaske og flyveaske, således at udspreddning af bundaske på landbrugsjord i henhold til kategori H3 eller H2 kan sikres. De seneste erfaringer fra visse sjællandske anlæg viser endvidere, at en vis tilbageblanding af flyveaske i bundasken er mulig for kategori H2, således at mængden af flyveaske til deponering kan reduceres.

5.3 Askehåndtering i andre anlæg

Til perspektivering beskrives i det følgende askehåndteringen for de i afsnit 4.3 beskrevne anlæg og installationer. Asken fra Junckers deponeres, mens der ikke er information om, hvad der bliver af asken fra Novopan, og det har derfor ikke været muligt at kortlægge askehåndteringen her. Det kan forventes, at asken herfra deponeres i lighed med asken fra de træfyrede fjernvarmeværker.

Askemængden fra hver individuel kedel og brændeovn er ikke stor, men for hele landet er mængden betydelig. Området er ikke blevet undersøgt grundigt, og der er ikke noget overblik over, hvad der sker med asken. Dog kan det anslås, at asken fra de små anlæg sandsynligvis anvendes som gødningsmiddel i haver eller bliver bortskaffet med husholdningsaffaldet, som brændes i affaldsforbrændingsanlæg. Det samme kunne forventes for blokvarmecentraler, men ifølge Bjerg (2001) bliver den overvejende del af asken fra disse anlæg spredt på marker og i skove.

5.4 Samlet status for askehåndtering på alle anlæg

I Tabel 5.12 ses en oversigt over den samlede askemængde og -anvendelse for de anlæg, som behandles i projektet.

2000 Aske i t TS/år	Total askeproduktion	Udbringes på mark/skov	Deponeres
Halmfyrede fjernvarmeværker	13.440	10.750	2.690
Træflisfyrede fjernvarmeværker	2.570	0	2.570
Træpillefyrede fjernvarmeværker	560	0	560
Store, halmfyrede kraftvarmeværker	14.230	9.930	4.300 ¹
Industrielle kraftvarmeværker	1.500	0	1.500
I alt	32.300	20.680	11.620

Tabel 5.12. Samlet status for askeanvendelse på kollektive, biomassefyrede forsyningsanlæg i 2000.

¹ Bundasken fra Måbjergværket (ca. 2000 t) bringes ud til landmænd, der anvender den til vejopfyld.

Den samlede opgørelse viser, at 64% af den totale askemængde i dag udbringes, mens resten må deponeres.

Af askemængden fra de store, halmfyrede kraftvarmeværker udbringes 70%. Denne andel vil kunne øges betydeligt, hvis bundasken fra Måbjergværket (ca. 2.000 tons/år) kan udbringes. En yderligere genanvendelse vil kræve, at man finder anvendelse for flyveasken.

For de halmfyrede fjernvarmeværker er det vurderet, at 80% udbringes. For fjernvarmeværkerne udbringes en stor del af asken på markerne som blandingsaske, men som nævnt betyder den aktuelle prøvetagningsprocedure på værkerne, at analyseprøverne ikke altid er repræsentative for askens indhold af tungmetaller. Det må derfor formodes, at en del af den udbragte aske kemisk set ikke nødvendigvis lever op til grænseværdierne, selvom spredningen af dem administrativt set overholder kravene i Bioaskebekendtgørelsen. For fjernvarmeværkerne er der potentiale for at øge genanvendelsesgraden, men det vil desuden være væsentligt at sikre, at den nuværende genanvendelse sker som tiltænkt i Bioaskebekendtgørelsen, så udbringningen ikke giver anledning til utilsigtet forurening med tungmetaller.

Ingen aske udbringes i dag fra de træfyrede værker, og på dette område er der derfor et stort potentiale for at øge genanvendelsen.

6 Kemisk analyse af udvalgte biomasseasker

Før biomasseaske kan nyttiggøres i skovbrug og landbrug, er det nødvendigt at vurdere askefraktionernes indhold af tungmetaller og deres gødningsmæssige værdi. Projektet omfatter indsamling og analyse af aske fra to halmfyrede fjernvarmeværker og to træflisfyrede værker. Prøverne er analyseret for indhold af plantenæringsstoffer og tungmetaller. Askeanalyserne er gennemført på dk-TEKNIKs laboratorium.

Udtagning, analyse og vurdering af askerne er beskrevet i dette afsnit. Analyseresultaterne er formidlet til Forskningscentret for Skov & Landskab og Landbrugets Rådgivningscenter, der har gennemført en vurdering af askernes gødningsmæssige værdi. Disse vurderinger fremgår af afsnit 8 og 9.

6.1 Udtagning af askeprøver

6.1.1 Prøvetagning og instruktion

På de to halmfyrede anlæg er der over en periode på 10-12 uger udtaget én ugentlig delprøve af hver af de tre askefraktioner: Bund-, cyklon- og filteraske. Prøverne er udtaget i perioden 2001-04-04 til 2001-06-20.

På de to træflisfyrede anlæg er der over en periode på 9-10 uger udtaget én ugentlig delprøve af hver af de tre fraktioner: Bundaske, cyklonaske og kondensatslam. Prøverne er udtaget i perioden 2001-05-28 til 2001-08-06.

Som det fremgår af beskrivelserne ovenfor, har prøvetagningen fundet sted på et tidspunkt på året, hvor værkerne har kørt på dellast. Halmværkerne har først i perioden dog oplevet kolde dage, hvor høj last har været nødvendig. Når værkerne kører på lav last, kan der forventes en relativt større andel bundaske, mens der ved fuld last kan forventes en relativt større andel flyveaske samt en større andel bortglødeligt i asken. Der har i projektet ikke været mulighed for at udtage askeprøver i den koldeste del af året.

Prøverne er udtaget på samme ugedag i hver uge og i dagtimerne, da værkerne brænder de mest repræsentative halmtyper om dagen.

Alle delprøver for hver asketype blev blandet til en råprøve før forbehandling og analyse i laboratoriet.

For at opnå så repræsentative resultater som muligt har værkerne fulgt en prøveudtagningsprocedure, der er blevet gennemgået og aftalt ved besøg på værkerne. Der er lagt vægt på, at askeprøverne er udtaget direkte i askestrømmen. Den nærmere prøveudtagningsprocedure på hvert værk beskrives kort herunder.

6.1.2 Udvalgte værker

Fjernvarmeværkerne er udvalgt ud fra oplysninger om mulighederne for at udtage separate askeprøver, som værkerne har angivet i spørgeskemaerne.

6.1.2.1 Høng Varmeværk

Høng Varmeværk er et 6,3 MW halmfyret fjernvarmeværk. Værket er idriftsat 1990 og forsyner ca. 1.560 forbrugere. Værket har i 1998-2000 årligt brugt omkring 9.500 t halm, hvilket har resulteret i en askeproduktion på 900 - 1.100 t aske med et vandindhold på omkring 45%. Bundasken udtages vådt, mens cyklon- og filterasker udtages tørt, blandes og transporteres til container, hvor det blandes med den våde bundaskefraktion.

6.1.2.2 Rødby Varmeværk

Rødby Varmeværk er et 5 MW halmfyret fjernvarmeværk, der forsyner ca. 765 forbrugere. Værket er idriftsat i 1985 og har i 1998-2000 årligt brugt mellem 5.800 og 6.400 t halm, hvilket har resulteret i en askeproduktion på 500 - 600 t fugtig aske. Alle tre askefraktioner udtages tørt. Askefraktionerne ledes til samme transportsnegl, hvor asken transporteres til container. Asken befugtes i containeren.

6.1.2.3 Hurup Fjernvarmeværk

Hurup Fjernvarmeværk er et 6,8 MW flisfyret fjernvarmeværk med røggaskondensering. Værkets flis kedel er idriftsat i 1986. Den forsyner ca. 1.300 forbrugere og har i 1998-2000 årligt brugt mellem 10.500 og 11.000 t træflis, hvilket har resulteret i en askeproduktion på 65 - 70 t tør aske. Bundaske og cyklonaske udtages tørt og ledes til samme lange transportsnegl, der leder asken til container, hvor den befugtes. Kondensatslammet udtages ikke, men tørres og genindfødes i kedlen.



Figur 6.1. Hurup Fjernvarmeværk.

6.1.2.4 Græsted Fjernvarme

Græsted Fjernvarmeværk er et 5 MW flisfyret fjernvarmeværk med røggaskondensering. Værket er idriftsat i 1995 og forsyner ca. 540 forbrugere. Det har i 1998-2000 årligt brugt mellem 5.400 og 6.200 t træflis, hvilket har resulteret i en askeproduktion på 40 - 55 t fugtig aske. Bundaske og cyklonaske udtages tørt og ledes til samme transportsnegl, der transporterer asken til container, hvor den blandes med det våde kondensatslam og befugtes yderligere.



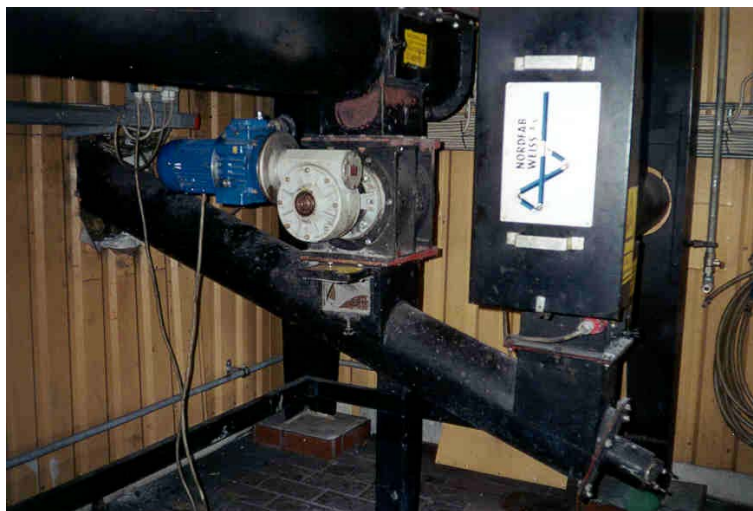
Figur 6.2. Græsted Fjernvarme.

6.1.3 Prøveudtagningsprocedurer

6.1.3.1 Høng Varmeværk

Et sæt prøver er blevet udtaget hver uge fra og med uge 14 til uge 23 2001, dvs. 10 sæt prøver i alt. Der blev taget prøver af bund-, cyclon- og filterasken.

Cyklonaskeprøver blev udtaget i inspektionslem direkte under cyclonen, mens filteraskeprøver blev udtaget i inspektionslem direkte under filteret. Bundaskeprøver blev udtaget fra frembringerne på udmaderen fra det våde askeudtag. Billederne i Figur 6.3 - Figur 6.5 illustrerer hvor prøverne blev udtaget.



Figur 6.3. Cyklonaske blev udtaget under cyclon på Høng Varmeværk.



Figur 6.4. Fil teraske blev udtaget under posefil ter på Høng Varmeværk .



Figur 6.5. Bundasken blev udtaget fra det våde askeudtag på Høng Varmeværk.

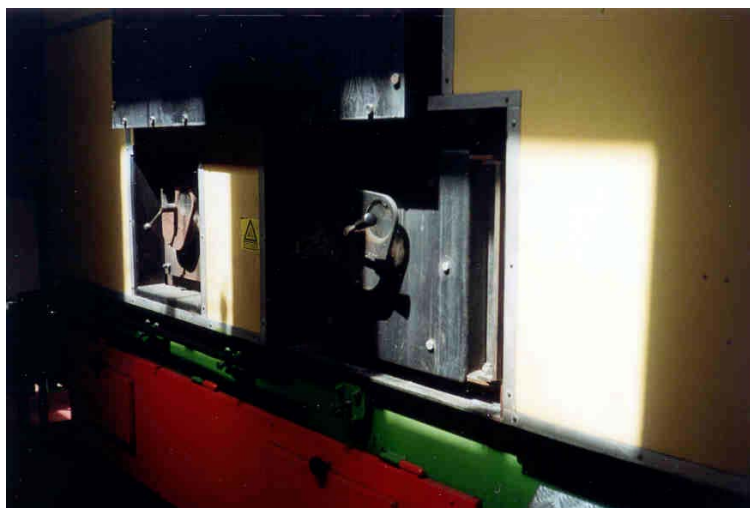
6.1.3.2 Rødby Varmeværk

Et sæt prøver er blevet udtaget hver uge fra og med uge 14 til uge 25 2001, dvs. 12 sæt prøver i alt. Der blev taget prøver af bund-, cyklon- og filterasken.

Før prøvetagningen blev sluserne under cyklonen og filteret stoppet, mens askesneglen fortsat kørte. Efter ca. 1 time blev sneglen og kedlen stoppet (stop af risten). Slusen under cyklonen blev så startet, og sneglen blev kørt manuelt, indtil en askeprøve kunne udtages for enden af sneglen. Slusen under cyklonen blev stoppet, slusen under filteret blev startet, og sneglen blev kørt manuelt, indtil en askeprøve kunne udtages for enden af sneglen. Bundaskeprøven blev udtaget direkte fra risten i hele dens bredde og ca. 10 cm fra bagkanten. Endelig blev kedlen startet igen. Asketransporten på Rødby Varmeværk er illustreret med billederne i Figur 6.6 og Figur 6.7.



Figur 6.6. Fil ter- og cyklonaske blev udtaget for enden af denne askesnegl på Rødby Varmeværk.

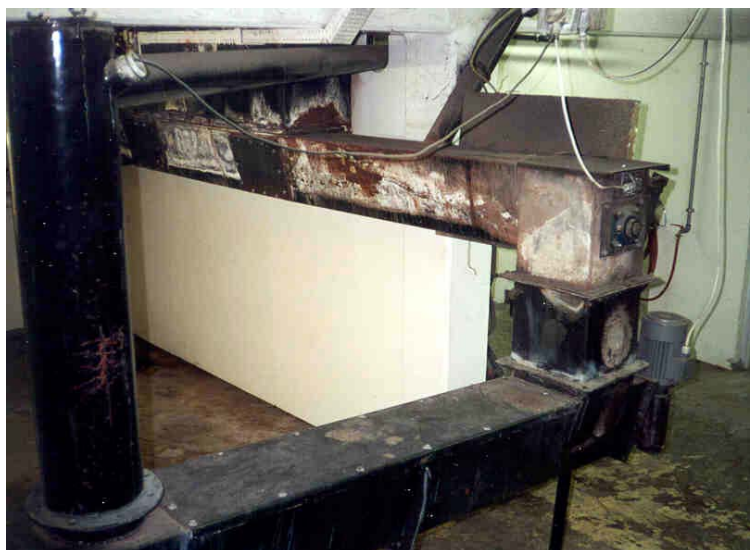


Figur 6.7. Bundasken blev udtaget gennem denne lem direkte fra risten på Rødby Varmeværk.

6.1.3.3 Hurup Fjernvarmeværk

Et sæt delprøver er blevet udtaget hver uge fra og med uge 22 til og med uge 31 2001, dvs. 9 sæt prøver i alt. Der blev taget prøver af bund- og cyklonasken.

Sneglen under cyklonen blev stoppet i en periode for at akkumulere en mængde cyklonaske og holde asken fra sneglen, hvor askerne blandes. Bundaskeprøver blev udtaget fra inspektionslem i hovedsnegl, hvor bundasken normalt blandes med cyklonasken. Asken blev opsamlet ved hjælp af en bakke eller lignende, der gennem inspektionslem kan passes ind under faldet. Cyklonaskeprøver udtages i inspektionslem i sneglen under cyklonen. Askehåndteringssystemet er illustreret på billederne i Figur 6.8 og Figur 6.9.



Figur 6.8. Bundaskeudtaget i kælderen under kedel på Hurup Fjernvarmeværk.



Figur 6.9. Cyklonasken ledes til transportsnegl på Hurup Fjernvarmeværk

6.1.3.4 Græsted Fjernvarme

Et sæt delprøver er blevet udtaget ugentligt fra og med uge 24 til og med uge 32 2001, dvs. 10 sæt prøver i alt. Der blev taget prøver af bund- og cyklonasken samt af kondensatslam.

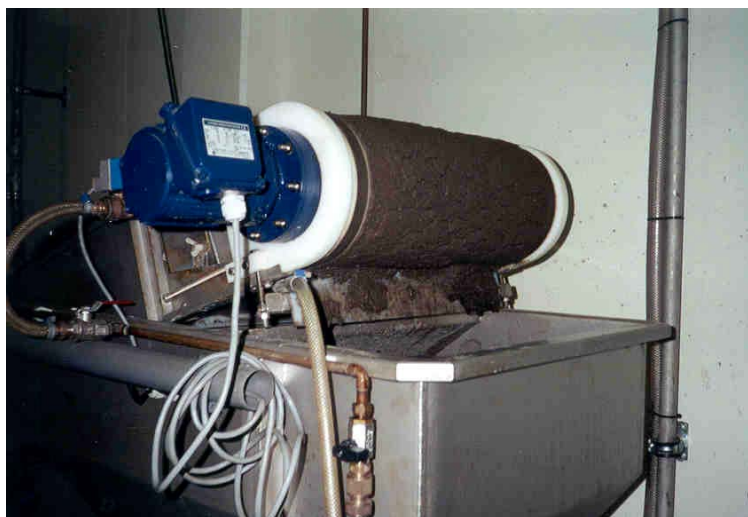
Askeprøver blev udtaget hver mandag i forbindelse med den faste servicrutine. Bundaskeprøven blev udtaget direkte fra risten i hele dens bredde lige før askefaldet. Cyklonaskeprøver blev udtaget i inspektionslem i askefaldet, som er placeret efter sneglen fra cyklonen, inden asken falder ned til transportør i kælder. Kondensatslam blev opsamlet fra båndfilter i hele båndets bredde, lige inden slammet skrubes af. Billederne i Figur 6.10, Figur 6.11 og Figur 6.12 illustrerer prøvetagningen.



Figur 6.10. Bundasken blev udtaget direkte fra risten på Græsted Fjernvarme.



Figur 6.11. Cyklonasken blev udtaget i toppen af askefaldet på Græsted Fjernvarme.



Figur 6.12. Prøver af kondensatslam blev udtaget fra båndfil teret på Græsted Fjernvarme.

6.2 Analyseresultater for udtagne askeprøver

dk-TEKNIK har stået for indsamling af de udtagne askeprøver, forbehandling og forsendelse til diverse laboratorier.

6.2.1 Analyser

Der er foretaget følgende analyser af de i alt 11 råprøver:

Parameter	Metode	Laboratorium	Halmfyrede		Træflisfyrede	
			Bund- og cyklonaske	Filteraske	Bund- og cyklonaske	Kondensatslam **)
Prøveforbehandling	Tørring og trinvis knusning/neddeling/findformaling	dkTEKNIK	+	+	+	+
Mekanisk sigtning	ISO 1953	dkTEKNIK	+		+	
Vandindhold	ISO/DIS 589: 1997	dkTEKNIK	+	+	+	+
Askeindhold	ISO 1171:1997, mod. til 550 °C aske	dkTEKNIK	+	+	+	+
Bortglødeligt	Beregnet som 100 - Vand - Aske	dkTEKNIK	+	+	+	+
Chlorid, vandopløseligt chlor	dk-TEKNIK (LA-5-14-03)	dkTEKNIK	+	+	+	+
pH	1% vandig opslemning	dkTEKNIK	+	+	+	+
Oplukning og analyse for		SG AB Analytica, Sverige	+	+	+	+
Bly (Pb)	DS 259/ICP-QMS *)	SG AB Analytica, Sverige	+	+	+	+
Cadmium (Cd)	DS 259/ICP-QMS *)	SG AB Analytica, Sverige	+	+	+	+
Chrom (Cr)	DS 259/ICP-QMS *)	SG AB Analytica, Sverige	+	+	+	+
Kalium (K)	DS 259/ICP-AES *)	SG AB Analytica, Sverige	+	+	+	+
Kviksølv (Hg)	DS 259/ICP-QMS *)	SG AB Analytica, Sverige	+	+	+	+
Nikkel (Ni)	DS 259/ICP-QMS *)	SG AB Analytica, Sverige	+	+	+	+
Fosfor, vandopløseligt	M-1502 *)	Miljøkemi	+	+	+	+
Fosfor, citratopløseligt	MK1040-ICP *)	Miljøkemi	+	+	+	+
Fosfor, total	MK4252-Nordfor. *)	Miljøkemi	+	+	+	+

*) Udført af eksternt laboratorium. Ikke akkrediteret prøvning

***) Hurup Varmeværk producerer ikke kondensatslam

I Bilag C findes beskrivelser af de anvendte analysemetoder (som bilag til analyserapporter).

En mere dybgående vurdering af gødningsværdien af askerne ville have krævet analyser for calcium (Ca), magnesium (Mg), jern (Fe), natrium (Na) og mangan (Mn). Disse analyser er blevet udeladt. Til gengæld er der udtaget prøver fra fire værker mod planlagt tre værker.

6.2.2 Analyseresultater

Analyseresultater for de indsamlede askeprøver er præsenteret i Tabel 6.1, Tabel 6.2, Tabel 6.3 og Tabel 6.4 herunder, og de vurderes i afsnit 6.3. Analyserapporterne findes i Bilag C Analyserapporter.

6.2.2.1 Halmasker

Indhold	Enhed	Høng	Høng	Høng	Rødby	Rødby	Rødby
		Bundaske	Cyklonaske	Filteraske	Bundaske	Cyklonaske	Filteraske
Brændsel		Halm	Halm	Halm	Halm	Halm	Halm
Vand	% af indleveret prøve	64,1	1,8	0,8	0,9	1,5	0,8
Aske	% af tør prøve	95,2	91,8	97,6	98,0	93,6	96,0
Bortglødeligt	% af tør prøve	4,8	8,3	2,4	2,0	6,4	3,2
Cl-	% af tør prøve	0,82	14	32	0,72	8,2	36
P (vandopl.)	mg/kg tør prøve	24	11	2300	41	33	710
P (citratopl.)	mg/kg tør prøve	4.600	6.900	6.000	5.400	5.700	4.300
P (total)	mg/kg tør prøve	9.100	12.000	6.700	9.700	8.700	6.400
Pb	mg/kg tør prøve	4,9	15	36	1,3	5,0	16
Cd	mg/kg tør prøve	0,34	4,8	10	0,13	2,6	10
Cr	mg/kg tør prøve	3	6,2	1,7	2,7	7,3	4,2
K	mg/kg tør prøve	99.000	230.000	400.000	120.000	180.000	420.000
Hg	mg/kg tør prøve	0,14	0,51	1,1	0,23	0,17	1,0
Ni	mg/kg tør prøve	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

Tabel 6.1. Indhold af næringsstoffer og tungmetaller i forskellige askefraktioner fra to halmfyrede varmekværke.

Størrelse	Høng	Høng	Høng	Rødby	Rødby	Rødby
	Bundaske	Cyklonaske	Filteraske	Bundaske	Cyklonaske	Filteraske
< 45 mm	-	-	-	-	-	-
< 31,5 mm	-	-	-	85%	-	-
< 10 mm	-	-	-	65%	-	-
< 6 mm	-	-	-	58%	-	-
< 4 mm	93%	-	-	-	-	-
< 2 mm	85%	-	-	44%	-	-
< 1 mm	74%	99%	-	-	-	-
< 0,5 mm	53%	96%	-	-	96%	-
< 0,25 mm	33%	90%	-	-	90%	-
< 0,125 mm	18%	71%	-	-	74%	-

Tabel 6.2. Størrelsesfordeling af partikler i forskellige askefraktioner fra to halmfyrede varmekværke.

6.2.2.2 Træflisasker

Indhold	Enhed	Hurup	Hurup	Græsted	Græsted	Græsted
		Bundaske	Cyklonaske	Bundaske	Cyklonaske	Kondensatslam
Vand	% af indleveret prøve	0,5	1,4	0,3	0,9	91,1
Aske	% af tør prøve	98,9	92,3	98,6	89,8	73,3
Bortglødeligt	% af tør prøve	1,1	7,7	1,4	10,2	26,7
Cl-	% af tør prøve	0,17	3,7	<0,05	2,9	0,63
P (vandopl.)	mg/kg tør prøve	<10	<10	<10	<10	<10
P (citratopl.)	mg/kg tør prøve	9.500	<130	5.100	<130	530
P (total)	mg/kg tør prøve	25.000	30.000	10.000	17.000	8.600
Pb	mg/kg tør prøve	8,6	120	3,4	71	120
Cd	mg/kg tør prøve	2,7	48	0,12	59	84
Cr	mg/kg tør prøve	20	47	27	22	6,3
K	mg/kg tør prøve	82.000	93.000	58.000	87.000	8.700
Hg	mg/kg tør prøve	<0,04	0,84	<0,04	0,47	0,92
Ni	mg/kg tør prøve	24	55	22	27	17
pH		11,6	11,9	11,8	12,5	9,5

Tabel 6.3. Indhold af næringsstoffer og tungmetaller i forskellige askefraktioner fra to træflisfyrede varmekværke.

Størrelse	Hurup	Hurup	Græsted	Græsted	Græsted
	Bundaske	Cyklonaske	Bundaske	Cyklonaske	Kondensatslam
< 45 mm	94%	-	-	-	-
< 31,5 mm	80%	-	93%	-	-
< 10 mm	52%	-	49%	-	-
< 6 mm	-	-	-	-	-
< 4 mm	46%	-	37%	-	-
< 2 mm	40%	-	31%	-	-
< 1 mm	-	-	25%	-	-
< 0,5 mm	-	98,3%	16%	99,7%	-
< 0,25 mm	-	95,9%	5,7%	99,2%	-
< 0,125 mm	-	90,2%	-	96,4%	-

Tabel 6.4. Størrelsesfordeling af partikler i forskellige askefraktioner fra to træflisfyrede varmekværke.

6.3 Vurdering af askeanalyser

Analyseværdierne for de indsamlede bioasker er herunder beskrevet i relation til bekendtgørelsens grænseværdier samt forventede værdier. De analyserede asker antages at være repræsentative for typiske asker fra fjernvarme og kraftvarmeanlæg. Analyseresultaterne anvendes derfor ved vurdering af askernes værdi og anvendelsesmuligheder i de efterfølgende afsnit (7, 8 og 9). For de større, halmfyrede kraftvarmekværke viste analyser af askens indhold af tungmetaller og gødningsværdi, at der er ganske stor variation af værdierne for de enkelte asker. Sammenlignes analyseresultaterne for kalium, fosfor og cadmium for kraftvarmekværkerne med de analyseresultater, som er præsenteret ovenfor for de fire fjernvarmekværke, er der dog ganske god overensstemmelse. Det virker derfor rimeligt at antage, at analyseresultaterne præsenteret i dette afsnit er repræsentative for henholdsvis halm- og træasker.

6.3.1 Halmasker (Høng og Rødby)

6.3.1.1 Generelle forhold for halmasker

Både bundasker og cyklonasker er ret basiske (pH 11,1 - 11,4), hvilket skyldes et forholdsvist højt indhold af calciumoxid (CaO) i askerne. Filteraskerne er mindre basiske (pH 9,4 og 10,1). Dette skyldes, at filteraskerne indeholder i størrelsesorden 70% KCl og tilsvarende mindre indhold af calciumoxid (og øvrige ikke kondenserede forbindelser).

Med hensyn til bundaskerne, er der stor forskel i kornstørrelsen for de to anlæg. Bundasken fra Høng har en "Nominal Top Size"¹ omkring 5 mm, hvorimod bundasken fra Rødby er væsentlig grovere med en Nominal Top Size > 32 mm. Cyklonaskerne fra de to anlæg ligger begge med en Nominal Top Size omkring 0,5 mm.

Med hensyn til indhold af "restkulstof" (bortglødeligt ved 550°C) er dette forholdsvist lavt for alle askefraktionerne fra de 2 anlæg: bundaske 2 - 5% i TS, cyklonaske 6 - 8% i TS og filteraske 2 - 3% i TS. Eksempelvis er der i Videnblad nr. 146 fra Videncenter for Halm- og Flisfyring angivet følgende niveauer (fra undersøgelser udført på 5 forskellige halmværker) for indholdet af bortglødeligt: bundaske 0,8 - 7% i TS, cyklonaske 13 - 34% i TS og filteraske 0,8 - 13% i TS.

For de flygtige komponenter chlorid, kalium, cadmium, bly og kviksølv ses en betydelig opkoncentrering "i røggasretningen": bundaske -> cyklonaske -> filteraske.

6.3.1.2 Krav til halmasker i henhold til Bioaskebekendtgørelsen

Grænseværdierne for genanvendelse af halmasker til jordbrugsformål i henhold til Bioaskebekendtgørelsen er beskrevet i afsnit 3.1. Grænseværdierne vedrører indholdet af "syreopløselige metaller" (bestemt i henhold til DS 259).

Bundaskerne fra Høng og Rødby overholder begge disse grænseværdier. Begge bundasker hører endvidere under kategori H3, idet indholdet af cadmium i askerne er mindre end 0,5 mg/kg TS.

Bundaskerne fra Høng og Rødby bekræfter således de foreliggende erfaringer: bundasker fra de halmfyrede anlæg vil generelt kunne overholde Bioaskebekendtgørelsens grænseværdier. Alle bundasker vil dog ikke kunne overholde cadmiumkravet for kategori H3. For bundasker fra nogle halmanlæg er set indhold af cadmium på 0,5 - 2,5 mg/kg TS, svarende til kategori H2. I henhold til Bioaskebekendtgørelsen kan udbringes væsentlige større mængder af H3-asker end af H2-asker.

Også cyklonaskerne fra både Høng og Rødby overholder de ovenfor anførte grænseværdier. Med et indhold af cadmium på henholdsvis 4,8 og 2,6 mg/kg TS hører cyklonaskerne dog under kategori H1, hvoraf der kun kan udbringes en begrænset mængde aske.

For filteraskerne er grænseværdien for både cadmium og for kviksølv overskredet, idet indholdene er henholdsvis 10 mg Cd/kg TS og 1 mg Hg/kg TS.

¹ "Nominal Top Size" er defineret ved kantlængden af hullerne i den sigte, som 95% af materialet netop kan passere.

De samlede, totale asker (bundaske + cyklonaske + filteraske) vil generelt kunne overholde de ovenstående grænseværdier. Såfremt der for halm antages at være et indhold af cadmium på 0,1 mg/kg TS og et indhold af aske på 5% i TS, vil den samlede aske teoretisk have et indhold af cadmium på 2 mg/kg TS. Dette niveau svarer til kategori H2 (0,5 – 2,5 mg cadmium/kg TS).

For de fundne indhold af cadmium i henholdsvis bundaske, cyklonaske og filteraske for de to anlæg kan et indhold af cadmium på 2 mg/kg TS i den samlede aske opnås ved en fordeling mellem de tre askefraktioner på 75% bundaske, 10% cyklonaske og 15% filteraske. Denne teoretiske fordeling svarer rimeligt til de generelle praktiske erfaringer for halmværker: bundaske 70 – 80%, cyklonaske 5 – 10% og filteraske 10 – 15%.

Ved en teoretisk fordeling på 75% bundaske, 10% cyklonaske og 15% filteraske vil en sammenblanding af bundaske og cyklonaske fraktionerne medføre et indhold af cadmium i blandingen på 0,66 mg Cd/kg TS for Høng og 0,41 mg Cd/kg TS for Rødby. En sammenblanding af bund- og cyklonaskefraktionerne medfører således i det ene tilfælde, at blandingen er i den gode kategori H3 og i det andet tilfælde, at indholdet af cadmium overskrider de 0,5 mg/kg TS og dermed lander i kategori H2.

6.3.1.3 Næringsstoffer i halmasker

Som tidligere anført ses en betydelig opkoncentrering af (syreopløseligt) kalium i "røggasretningen": bundaske -> cyklonaske -> filteraske. Dette skyldes, at indholdet af kalium i halm foreligger som letopløselige salte med lave kogepunkter. Over halvdelen af kaliumindholdet i halm foreligger f.eks. som kaliumchlorid (KCl).

Indholdet af kalium i halm og dermed i de producerede asker er meget varierende. For ikke vejret halm (ingen udvaskning på marken) ses indhold af kalium på over 1% af halmtørstoffet, hvor der for godt vejret halm (meget udvasket) ses indhold af kalium på omkring 0,2% af halmtørstoffet. Hvis indholdet af aske i halmtørstoffet ligger på 5%, så vil der teoretisk kunne være op til over 20% kalium i den samlede aske.

Ved en teoretisk fordeling mellem askefraktionerne på 75% bundaske, 10% cyklonaske og 15% filteraske vil den samlede aske fra henholdsvis Høng og Rødby indeholde 16 – 17% kalium. For indhold af kalium ligger askerne fra Høng og Rødby således i den høje ende. Endvidere kan beregnes at kun 50% af den samlede mængde af kalium i askerne findes i bundaskefraktionen. En sammenblanding af bund- og cyklonaskefraktionerne vil øge andelen til omkring 60%.

Indholdet af total fosfor ligger omkring 0,9 – 1,2% i TS for bund- og cyklonaskefraktionerne og noget lavere, 0,6 – 0,7% i TS, for filteraskerne. Det lavere indhold i filteraskerne skyldes det store indhold af kondenserede forbindelser (KCl). Disse værdier er i overensstemmelse med den generelle erfaring om, at indholdet af total fosfor i halmaske (samlet aske) normalt ligger omkring 1% i TS.

I modsætning til flisaskerne ses dels et betydeligt indhold af vandopløseligt fosfor i filteraskerne (omkring 40% af det totale indhold) og dels et betydeligt indhold af citratopløseligt fosfor i alle askefraktionerne (fra 50 – 90% af de totale indhold). Dette forhold er ikke umiddelbart forklarligt. Hvis for

eksempel en stor del af fosforforbindelserne i halmaskerne foreligger som kaliumfosfater, burde disse indgå i både vandopløselig og citratopløselig fosfor.

6.3.2 Flisasker (Hurup og Græsted)

6.3.2.1 Generelle forhold for flisasker

Både bundasker og cyklonasker er meget basiske (pH 11,6 – 12,5), hvilket skyldes det generelt høje indhold af calciumoxid (CaO) i træasker. Kondensatslammet (Græsted) er mindre basisk, hvilket blandt andet skyldes hydratisering og carbonatisering af calciumoxid i den vandige opslemning. Erfaringer fra andre analyser viser, at kondensatslam fra træfyrede fjernvarmeværker ofte er surt.

Bundaskerne er et forholdsvist groft materiale, med en Nominel Top Size på omkring 45 mm. Cyklonaskerne er et noget mere finkornet materiale, med en Nominel Top Size på 0,1 – 0,2 mm.

Med hensyn til indhold af "restkulstof" (bortglødeligt ved 550°C) er dette som regel lavt for bundasker fra flisfyring. Det vil sige < 2% i TS (hvilket også gælder for de undersøgelser, der er refereret i Videnblad nr. 147 fra Videncenter fra Halm- og Flisfyring). Det gælder også for bundaskerne fra Hurup og Græsted. Indholdet af "Restkulstof" i cyklonasker og kondensatslam er normalt væsentligt højere, for cyklonasker op til 20% i TS og for kondensatslam op til 70% i TS (jf. Videnblad nr. 147). Indholdet af "restkulstof" på 8 – 10% i TS for cyklonaskerne fra Hurup og Græsted og på 27% i TS for kondensatslam fra Græsted er derfor forholdsvist lavt. For kondensatslam skal specielt anføres, at en stor del af "restkulstof" udgøres af "hydrat-vand", det vil sige kemisk bundet vand som afgives ved opvarmningen til de 550°C.

For cyklonaskerne ses en betydelig opkoncentrering (i forhold til bundaskerne) af de flygtige komponenter chlorid, cadmium, bly og kviksølv. Og for kondensatslammet fra Græsted ses en yderligere opkoncentrering (i forhold til cyklonasken) for de flygtige og ikke vandopløselige komponenter cadmium, bly og kviksølv.

For cyklonaskerne ses endvidere en mindre opkoncentrering (i forhold til bundaskerne) af kalium og total-fosfor. For kondensatslammet (Græsted) er indholdet af disse stoffer betydeligt lavere end for bundasken. Dette skyldes formentlig at disse opløses og udvaskes.

6.3.2.2 Krav til flisaske i henhold til Bioaskebekendtgørelsen

Grænseværdierne for genanvendelse af træasker til jordbrugsformål i henhold til Bioaskebekendtgørelsen er beskrevet i afsnit 3.1. Grænseværdierne vedrører indholdet af "Syreopløselige metaller" (bestemt i henhold til DS 259).

Bundaskerne fra Hurup og Græsted overholder begge de ovenfor anførte grænseværdier. Bundasken fra Græsted er en kategori T3 aske, hvor indholdet af cadmium maksimalt må være 0,5 mg/kg TS. Bundasken fra Hurup er derimod kun en kategori T2 aske, hvor indholdet af cadmium er 0,5 – 8 mg/kg TS. I henhold til Bioaskebekendtgørelsen kan der udbringes væsentlige større mængder af T3-asker end af T2-asker.

Bundaskerne fra Hurup og Græsted bekræfter således de foreliggende erfaringer: bundasker fra de træflisfyrede anlæg vil generelt kunne overholde

Bioaskebekendtgørelsens grænseværdier – men ikke alle bundasker vil kunne overholde cadmiumkravet for kategori T3.

For både cyklonaskerne fra Hurup og Græsted og for kondensatslammet fra Græsted er grænseværdien for cadmium overskredet. Herudover overskrider cyklonasken fra Hurup og kondensatslammet fra Græsted yderligere grænseværdien for kviksølv.

De samlede, totale asker (bundaske + cyklonaske + kondensatslam) vil formentlig også overskride grænseværdien for cadmium. Såfremt der for træflis antages at være et indhold af cadmium på 0,1 mg/kg TS og et indhold af aske på 1% i TS, vil den samlede aske teoretisk have et indhold af cadmium på 10 mg/kg TS.

Ved et indhold af cadmium i den samlede aske på 10 mg/kg TS kan ud fra de fundne indhold af cadmium i henholdsvis bundaske og cyklonaske beregnes en teoretisk fordeling mellem mængde af bundaske og mængde af cyklonaske. Såfremt andelen af kondensatslam (Græsted) i forhold til den totale mængde af aske sættes til nul, findes for de 2 anlæg at bundaskeandelen udgør 80 – 85% (og cyklonaskeandelen 15 – 20%).

6.3.2.3 Næringsstoffer i flisasker

Indholdet af (syreopløseligt) kalium ligger på 6 – 8% i TS for bundaskerne og omkring 9% i TS for cyklonaskerne. Der er således ikke den helt store forskel på indholdet af kalium i bundaske og cyklonaske. Det fundne niveau på 6 – 9% kalium i TS svarer endvidere til tidligere undersøgelser (f.eks. undersøgelsen refereret i Videnblad nr. 147).

Indholdet af total fosfor ligger på 1 – 2,5% i TS for bundaskerne og på 1,7 – 3% i TS for cyklonaskerne. Et niveau på 1 – 3% i TS for indholdet af total fosfor i træasker er normalt. Det er derimod ikke umiddelbart forklarligt, at der skulle ske en opkoncentrering af fosfor i cyklonaskerne. I en tidligere undersøgelse (Videnblad nr. 147) fandtes for både bundasker og cyklonasker et indhold af total fosfor på 2 – 3% i TS.

Fosforindholdet i askerne er ikke vandopløseligt (< 10 mg/kg TS som vandopløseligt). Dette kan skyldes, at indholdet af fosfor foreligger som calciumfosfat eller calciumpyrofosfat, som er ikke vandopløselige forbindelser. Det er derimod ikke umiddelbart forklarligt, at 40 – 50% af indholdet af total fosfor i bundaskerne er citrat-opløselige og mindre end 1% af indholdet af total fosfor i cyklonaskerne er citrat-opløselige.

6.4 PAH-analyser

Projektet omfatter en analyse og vurdering af askernes indhold af PAH. Analyserne er udført af DMU og benyttes desuden i DMU's arbejde med at fastlægge den bedst egnede analysemetode til PAH. Til analyse for PAH er der til dette projekt benyttet en analysemetode, der anvender Soxhlet ekstraktion med toluen i 48 timer.

De samlede analyseresultater kan ses i Bilag D PAH analyserapport. En vurdering af resultaterne foretages i afsnit 6.4.1.

6.4.1 Vurdering af PAH-analyser

I Tabel 6.5 er de væsentlige dele af analyseresultaterne for PAH blevet udtaget. Resultaterne illustreres ligeledes i Figur 6.13.

Anlæg, askefraktion	SUM af PAH-forbindelser, mg/kg TS				Bort-glødeligt (550 °C) vægt%
	16 EPA ¹	10 EPA – de "lette"	6 EPA – de "tunge"	15 EPA (excl. naftalen)	
Hurup, bundaske	0,72	0,64 (89 %)	0,08 (11 %)	0,52 (72 %)	1,1
Hurup, cyklonaske	6,3	5,6 (89 %)	0,74 (11 %)	4,3 (68 %)	7,7
Græsted, bundaske	0,10	0,10 (100 %)	0,002 (0 %)	0,06 (60 %)	1,4
Græsted, cyklonaske	10,9	10,6 (97 %)	0,35 (3 %)	5,2 (48 %)	10,2
Græsted, kondensatslam	11,3	10,0 (88 %)	1,3 (12 %)	10,6 (94 %)	(26,7) ²
Høng, bundaske	1,2	1,1 (92 %)	0,10 (8 %)	0,86 (72 %)	4,8
Høng, cyklonaske	14,2	13,6 (96 %)	0,57 (4 %)	8,3 (58 %)	8,3
Høng, filteraske	11,0	10,1 (92 %)	0,90 (8 %)	8,6 (78 %)	2,4
Rødby, bundaske	0,29	0,29 (100 %)	0,003 (0%)	0,14 (48 %)	2,0
Rødby, cyklonaske	5,5	5,4 (98 %)	0,074 (2 %)	2,1 (38 %)	6,4
Rødby, filteraske	15,7	15,1 (96 %)	0,60 (4 %)	11,5 (73 %)	3,2

Tabel 6.5. PAH analyseresultater.

¹ De "16 EPA" omfatter følgende PAH'er:

"Lette": Naphtalen, acenaphtylen, acenaphten, fluoren, phenanthren, anthracen, fluoranthen, pyren, benz(a)anthracen, chrysen.

"Tunge": Benz(b+k)fluoranthen, benz(a)pyren, indeno(1,2,3-cd)pyren, dibenz(a,h)anthracen, benz(ghi)perylene.

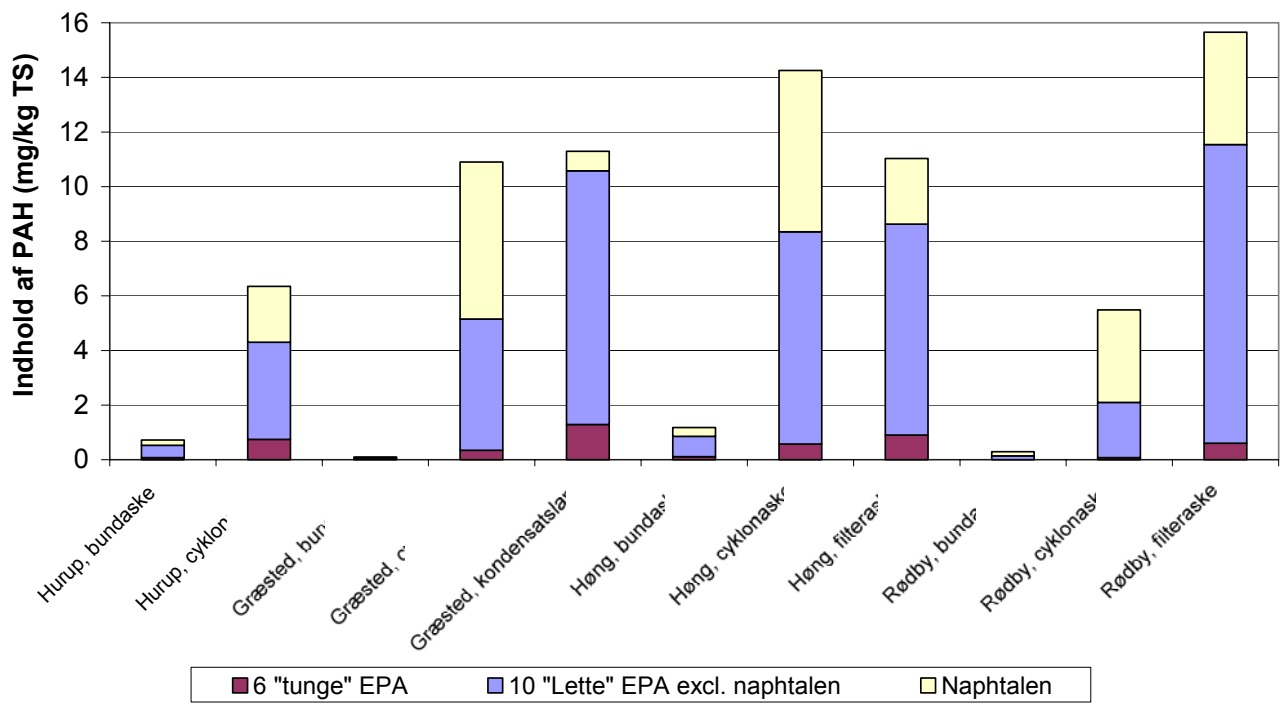
² For kondensatslam vil kemisk bundet vand kunne udgøre en stor del af glødetabet

Bundaskerne ses generelt at have lave PAH-indhold, SUM af "16 EPA" på 0,1 – 1,2 mg/kg TS.

For de 2 bundasker med lavest PAH-indhold, Græsted (0,1 mg/kg TS) og Rødby (0,3 mg/kg TS) udgøres indholdet stort set udelukkende af de "lette" PAH, hvoraf omkring halvdelen udgøres af naphthalen.

Generelt er andelen af de "lette" PAH dominerende, 88 % - 100 %. Der er derimod stor forskel på andelen af naphthalen. For kondensatslammet fra Græsted er der en meget lille andel af naphthalen (6 %), hvorimod der i både bund- og cyklonaske fra Rødby og cyklonaske fra Græsted ses en stor andel af naphthalen, 50 – 60 % af SUM "16 EPA".

Hvis man ser på kolonnen "15 EPA", hvor naphthalen ikke medtages i summen (naphthalen anses af mange for ikke at være en "ægte" PAH, da forbindelsen kun har to aromat-ringe) ses, at indholdet af PAH er stigende i "røggasretningen" bundaske -> cyklonaske -> filteraske/kondensatslam. Dette forhold gælder derimod ikke for indholdet af bortglødeligt, da indholdet heraf i filteraskerne fra de to halmværker er betydeligt lavere end i cyklonaskerne. Der er således ingen umiddelbar sammenhæng mellem indholdet af PAH og indholdet af bortglødeligt i askerne.



Figur 6.13. Indhold af PAH i askeprøver.

7 Status for næringsstofmængder og cadmium

Målet med dette afsnit er kvantificere den mængde næringsstof, der deponeres og dermed ikke nyttiggøres til dyrkningsformål, samt den mængde tungmetaller (Cd), der spredes ud på dyrkningsarealer.

Ifølge de tidligere opgjorte tal for de samlede askemængder udbringes der i dag ca. 10.800 t halmaske på markerne fra fjernvarmeværkerne og ca. 9.900 tons fra de store kraftvarmeværker. Tilsvarende deponeres der ca. 2.700 t og 4.300 t halmaske fra henholdsvis fjernvarme- og kraftvarmeværker. Hele træaskemængden på ca. 4.600 t deponeres.

Til en bestemmelse af næringsstof- og cadmiummængder anses det for rimeligt at antage, at halmasken fra fjernvarmeværkerne udbringes og deponeres som blandingsaske. Af den udbragte mængde fra kraftvarmeværkerne er 9.360 t bundaske, mens 570 t er flyveaske. Den deponerede aske fordeler sig mellem 2.100 t bundaske og 2.200 t flyveaske.

7.1 Næringsstofmængder

Som beskrevet i afsnit 6 ligger indholdet af kalium i den samlede træaske på omkring 6-8% af tørstoffet, mens fosforindholdet ligger mellem 1% og 3%. Den deponerede træaske antages derfor at have et kaliumindhold på 70 g/kg TS og et fosforindhold på 20 g/kg TS. Dette betyder, at der hvert år deponeres ca. 320 t kalium og 92 t fosfor med træasken.

Analyserne fra halmaskeværkerne viste, at kaliumindholdet i halmaske er ca. 10 % af asketørstoffet i bundasken, 20% i cyklonasken, og 40% i filterasken. Andelen af total fosfor i halmaske ligger omkring 0,9 – 1,2% TS for bund- og cyklonaskefraktionerne og noget lavere, 0,6 – 0,7% TS, for filteraskerne. Af den samlede askemængde udgør cyklonasken typisk 10%, og filterasken udgør 15%, og fordelingen af flyveasken er derfor typisk 40% cyklonaske og 60% filteraske.

Ud fra disse tal fås, at bundasken indeholder ca. 100 g kalium pr. kg TS og ca. 10 g fosfor pr. kg TS. Flyveasken indeholder ca. 320 g kalium pr. kg TS og 8 g fosfor pr. kg TS, mens blandingsaske indeholder 155 g kalium pr. kg TS og 9 g fosfor pr. kg TS.

Det antages, at den udbragte halmaske fordeler sig mellem bund-, flyve- og blandingsaske som ovenfor nævnt, og at askens næringsstofindhold kan beskrives ved de her præsenterede tal. Dermed fås, at der årligt udbringes 2.792 t kalium og 195 t fosfor på markerne, mens der årligt deponeres 1.333 t kalium og 63 t fosfor fra biomasseasker.

7.2 Cadmiummængder

Cadmiumindholdet i den samlede træflisaske er som tidligere nævnt ca. 10 mg/kg TS.

Ifølge de generelle tal for halmaske fra afsnit 3.2 og ud fra analyserne beskrevet i afsnit 6 er indholdet af cadmium i cyklonaske ca. 4 mg/kg TS, mens indholdet i filteraske er 12 mg/kg TS. Ud fra en fordeling af flyveasken på 40% cyklonaske og 60% filteraske ligger cadmiumindholdet i flyveasken på ca. 9 mg/kg TS. Bundaskeindholdet i halmasken er typisk omkring 0,2 mg/kg TS. Med en bundaskeandel på 75% er blandingsaskens indhold af cadmium ca. 2 mg/kg TS.

Det antages, at den udbragte halmaske fordeler sig mellem bund-, flyve- og blandingsaske som ovenfor nævnt. Dermed kan det beregnes, at der årligt udbringes i alt ca. 29 kg cadmium på de danske marker med bioasken. Det skal bemærkes, at det relativt meget høje cadmiumindhold i flyveasken betyder, at det er væsentligt at have en god vurdering af, hvor meget flyveaske der udbringes, når den udbragte cadmiummængde skal vurderes. Der er her foretaget en række skøn med hensyn til udbringningen af aske fra fjernvarmeværkerne, og den her opgjorte cadmiummængde er altså forbundet med betydelig usikkerhed.

Til sammenligning deponeres hvert år ca. 46 kg cadmium med træasken, mens ca. 26 kg deponeres med halmasken (hvis der regnes med fordeling mellem bund-, flyve- og blandingsaske som tidligere nævnt).

Af de ca. 23.000 t aske, som årligt produceres på små, individuelle varmeanlæg, er ca. 25% træaske og 75% halmaske. Dermed indeholder træasken fra de små anlæg ca. 58 kg cadmium pr. år, mens halmasken indeholder ca. 35 kg/år, altså en samlet årlig mængde cadmium på 93 kg.

I nedenstående Tabel 7.1 er tallene for deponerede og udbragte mængder af næringsstof og cadmium opgjort samlet.

2000	Halmaske	Træaske	I alt
Udbragt mængde kalium (t/år)	2.792	0	2.792
Deponeret mængde kalium (t/år)	1.333	320	1.653
Udbragt mængde fosfor (t/år)	195	0	195
Deponeret mængde fosfor (t/år)	63	92	155
Udbragt mængde cadmium (kg/år)	29	0	29
Deponeret mængde cadmium (kg/år)	26	46	72

Tabel 7.1. Oversigt over udbragte og deponerede mængder af næringsstof og cadmium i 2000 fra de større, kollektive forsyningsanlæg.

Til sammenligning blev der i 1999 spredt omkring 90.000 tons TS slam på dansk landbrugsjord. Med et gennemsnitligt vægtet cadmiumindhold på 1,39 g/t TS svarer det til omkring 125 kg cadmium.

8 Anvendelse af halmaske til landbrugsformål

På basis af de i projektet gennemførte askeanalyser har Landskontoret for Planteavl på Landbrugets Rådgivningscenter gennemført en vurdering af halmaskernes gødningsværdi. Desuden har Landskontoret for Bygninger og Maskiner på Landbrugets Rådgivningscenter på grundlag af litteraturstudier gennemført en vurdering af hvilke omkostninger, der er forbundet med udbringning af askerne på marken.

8.1 Vurdering af halmaskens gødningsværdi

8.1.1 Indledning

Ved udspredning af halmaske på de landbrugsarealer, hvor halmen til fyring er bjærget, sker der en tilbageførsel af en del af de næringsstoffer, der er fjernet med halmen. Sker tilbageførsel af aske i samme mængder, som der er fjernet fra arealet, vil en sådan tilbageførsel virke miljømæssigt neutralt med hensyn til akkumulering af tungmetaller mv. i jorden sammenlignet med en nedmuldning af halm. Forudsætningen er dog, at tungmetaltilførsel med den ændring af handelsgødningsforbrug, som tilbageførsel af asken vil resultere i, også giver en uændret tilførsel af tungmetaller.

Anvendelse af aske på landbrugsjord behøver ikke nødvendigvis at erstatte næringsstoffer bortført med halm. Næringsstofferne i aske kan også erstatte næringsstoffer der er bortført med afgrøder eller afgrødedele, der ikke anvendes til fyringsformål. Det giver behov for en større tilførsel af aske pr. arealenhed og vil i mange tilfælde give en mere hensigtsmæssig logistik, end at tilbageføre al asken, hvor den kommer fra.

Hvis der tilføres relativt større mængder aske, end der er behov for til at erstatte bortførte næringsstofmængder, vil det give en akkumulering eller føre til en større udvaskning af næringsstoffer og tungmetaller. En større tilførsel kan være begrundet i økonomiske forhold, hvis transport og udspretningsomkostningen overstiger gødningsværdien.

Bortskaffelse af halmaske på en anden måde end tilbageførsel til landbrugsjorden kan resultere i en reduktion i landbrugsjordens indhold af tungmetaller, hvis der er relativt mere tungmetal i den bortskaffede aske sammenlignet med den alternative tilførsel af gødning. Muligheden for at bruge halmfyring til at reducere jordens indhold af tungmetal stiger, hvis tungmetaller kan ophobes i en mindre fraktion af asken, der efterfølgende ikke bruges på landbrugsjorden.

Idéen i Miljøstyrelsens regulering af udspreddning af aske på landbrugsjord i Bioaskebekendtgørelsen er at sikre, at aske bruges til gødningsformål, og der ikke sker en akkumulering af tungmetaller i jorden. Reglerne kan give visse problemer i praksis med at udsprede de tilladte mængder i tilfælde med et højt cadmiumindhold i asken.

I afbrænding i kraftværkerne fremkommer en bundaske og en flyveaskefraktion. Tidligere undersøgelser har vist, at cadmiumkoncentrationen er størst i flyveaskefraktionen. Dette kan udnyttes til en lettere håndtering af reglerne for udspredning af aske på landbrugsjorden. Konsekvensen af en sådan fraktionering af asken er behandlet nærmere i denne rapport.

8.1.2 Bortførelse af næringsstoffer i halm og tilførselsbehov

For at opretholde en rentabel planteproduktion skal de næringsstoffer, der fjernes fra marken med de indhøstede afgrøder, erstattes af en tilførsel af næringsstoffer i husdyrgødning, ved tilførsel af affaldsprodukter eller i handelsgødning. Normalt er der behov for at tilføre mere næringsstof end bortførelsen, idet der for de fleste næringsstoffer vedkommende sker et vist tab fra jorden eller en immobilisering til ikke plantetilgængelige forbindelser.

I Tabel 8.1 er vist en beregning af bortførelse af næringsstoffer i henholdsvis kerne og halm i vinterhvede på forskellige jordtyper (JB 1 - sandjord, JB 4 - middeljordtype og JB 6 - lerjord). Udbytter i kerne er sat i henhold til Plantedirektoratets Vejledning og Skemaer for 2002 (Plantedirektoratet, 2001), mens indholdet af næringsstoffer er sat i henhold til "Fodermiddeltabel for kvæg" (Møller et al, 2000) (efterfølgende modificeret til gødningsplanprogrammet i BEDRIFTLØSNING²). Halmudbytter på forskellige jordtyper er skønnet ud fra målinger af bjærget halmmængde 1994-96 (Pedersen, 1996).

		N	P	K	Mg	S	Na	Fe	Mn	Zn	Cu
		Indhold i procent af tørstof					Indhold i promille af tørstof				
Kerne		1,90	0,28	0,48	0,09	0,05	0,10	50	24	26	2
Halm		0,53	0,09	1,50	0,09	0,09	0,10	291	35	46	3
Udbytte/hkg/ha		JB 6, Bortførelse, kg pr. ha					Bortførelse, g pr. ha				
Kerne	83	134	20	34	6	4	7	353	169	183	14
Halm	43	19	3	55	3	3	4	1064	128	168	11
Udbytte/hkg/ha		JB 4, Bortførelse, kg pr. ha					Bortførelse, g pr. ha				
Kerne	66	107	16	27	5	3	6	281	135	146	11
Halm	40	18	3	51	3	3	3	989	119	156	10
Udbytte/hkg/ha		JB 1, Bortførelse, kg pr. ha					Bortførelse, g pr. ha				
Kerne	52	84	12	21	4	2	4	221	106	115	9
Halm	35	16	3	45	3	3	3	866	104	137	9

Tabel 8.1. Bortførelse af næringsstoffer i kerne og halm med vinterhvede på forskellige jordtyper. Betegnelserne JB 1, JB 4 og JB 6 angiver tre forskellige jordtyper. JB 1 er en sandjordstype, JB 6 er en lerjordstype, mens JB 4 er en middeljordtype.

Af makronæringsstofferne har betydningen af bortførelse af kalium i halmen relativt set størst betydning, mens bortførelse af kvælstof og fosfor i halm kun udgør en mindre del af den samlede bortførelse. Bortførelsen af kalium vil variere meget fra mark til mark, fordi indholdet af kalium i halmen og halmudbyttet varierer meget. Kaliumindholdet i halmen er stigende med stigende kaliumindhold i jorden samt med stigende kaliumtilførsel. Kaliumindholdet i halmen er også meget påvirket af nedbøren i kornets

² BEDRIFTLØSNING er et stykke software, der er udviklet i 1992 af Landbrugets Rådgivningscenter og bl.a. kan anvendes til beregning af gødningsplaner.

modningsfase og mellem høst og bjærgning af halmen. Kalium i strået udvaskes af nedbør.

Behovet for at tilføre næringsstoffer stiger, når halmen fjernes, frem for den nedmuldes. Umiddelbart er behovet for tilførsel det samme, uafhængigt om halmen nedmuldes eller bjærges, fordi behovet for optagelse i afgrøden er det samme. Nedmuldning af halm giver imidlertid en tilbageførsel af næringsstoffer, som kan udnyttes i de efterfølgende afgrøder.

Kvælstofbehovet stiger på lerjord det første år efter første halmnedmuldning på grund af halmens høje C/N-forhold og indholdet af organisk stof i jorden stiger. Efter 10-20 år med halmnedmuldning vil der være opnået en ny ligevægt med indholdet af organisk stof i jorden, og der vil være en nettotilførsel af kvælstof fra den fortsatte halmnedmuldning. På sandjord vil der allerede i de første år være en positiv kvælstofeftervirkning af nedmuldning af halm.

Fosforbehovet vil blive reduceret som følge af nedmuldning af halm. Fosforbehovet bestemmes af indholdet af tilgængelig fosfor i jorden (fosfortallet). Ved nedmuldning af halm vil fosfortallet stige, og på lang sigt vil det stige så meget, at tilførselsbehovet vil falde svarende til bortførslen af fosfor med halmen. I BEDRIFTSLØSNINGs fosformodel er der balance mellem bortførsel og tilførsel ved et fosfortal på 2,5, når halmen fjernes. Når halmen nedmuldes, vil der være balance mellem tilførsel af fosfor og bortførsel af fosfor i kernen ved et fosfortal i jorden på ca. 3.

Kaliumbehovet afhænger udover kaliumindholdet i jorden (kaliumtallet) også af jordtypen, fordi der sker et tab af kalium ved udvaskning på sandjord og en frigivelse af kalium fra lerminerallerne på de sværeste lerjorder. Derudover er bortførslen af kalium afhængig af kaliumindholdet og tilførslen af kalium. I BEDRIFTSLØSNINGs kaliummodel indgår alle disse parametre. Der er foretaget en modelberegning af forskellen mellem tilførselsbehovet med og uden nedmuldning af halm. Resultatet fremgår af Tabel 8.2. **Magnesium** og **mikronæringsstofbehovet** er ligeledes påvirket af bortførsel af halm. Der er ikke regnet specifikt på dette, men den økonomiske konsekvens er beskeden.

	Udbytte, hkg/ha	Kg N/ha	Kg P/ha	Kg K/ha
JB 6				
Halm, bortførsel	43	19	3	55
Ændret tilførselsbehov	-	5	3	35
JB 4				
Halm, bortførsel	40	18	3	51
Ændret tilførselsbehov	-	5	3	33
JB 1				
Halm, bortførsel	35	16	3	45
Ændret tilførselsbehov	-	5	3	23

Tabel 8.2. Ændring i behovet for tilførsel af næringsstoffer ved fjernelse af halm sammenlignet med nedmuldning. Betegnelserne JB 1, JB 4 og JB 6 angiver tre forskellige jordtyper. JB 1 er en sandjordstype, JB 6 er en lerjordstype, mens JB 4 er en middeljordstype.

8.1.3 Vurdering af halmaske som gødning

Nærværende vurdering af halmaske som gødning tager primært udgangspunkt i analyser fra henholdsvis Rødby og Høng Varmeværk.

Resultaterne af analyserne er tidligere præsenteret i Tabel 6.1 og Tabel 6.2. I nedenstående Tabel 8.3 er vist sammensætningen af en antaget blandingsaske, som er beregnet ud fra en antagelse om en fordeling mellem bund-, cyklon- og filteraske på 75%, 10%, 15% (som antaget i 6.3.1).

	Beregnet blandingsaske for Rødby Varmeværk	Beregnet blandingsaske for Høng Varmeværk
Vandindhold (%)	0,945	48,4
Aske (% af vandfri prøve)	97,38	95,2
Bortglødeligt (%)	2,62	4,8
Fosfor (mg/kg TS)	9.105	9.030
Fosfor – vandopløseligt (mg/kg TS)	141	364
Fosfor-citratopløseligt (mg/kg TS)	5.265	5.040
Kalium (mg/kg TS)	171.000	157.250
Bly (mg/kg TS)	3,9	10,6
Cadmium (mg/kg TS)	1,9	2,2
Chrom (mg/kg TS)	3,4	3,1
Kviksølv (mg/kg TS)	0,3	0,3
Nikkel (mg/kg TS)	2,7	3,7

Tabel 8.3. Beregnet blandingsaske for Rødby og Høng Varmeværk. Blandingsaske er beregnet på basis af en antaget fordeling mellem bund-, cyklon- og filteraske samt analyseværdier af de 3 asketyper.

8.1.3.1 Vurdering af anvendelsesmulighederne af asketyperne i henhold til Bioaskebekendtgørelsen

I Bioaskebekendtgørelsens paragraf 12 fremgår det, at ”den samlede næringsstofftilførsel i form af fosfor ikke må overstige 30 kg fosfor pr. ha pr. år. Fosfordoseringen kan dog beregnes som et gennemsnit over 3 år”. På husdyrbrug med det antal dyr pr. ha, som det er tilladt i forhold til Miljøministeriets bekendtgørelse om erhvervsmæssigt dyrehold, er den gennemsnitlige tilførsel af fosfor i husdyrgødning over 30 kg fosfor pr. ha. På disse brugstyper, der dækker et meget stort areal, kan der ikke avendes halmaske. Heller ikke i en mængde, der svarer til den fosformængde, der er fjernet med halmen til opfyring.

For alle asketyper fra Rødby og Høng Varmeværk ligger indholdet af bly, chrom og nikkel langt under Bioaskebekendtgørelsens grænseværdier. For kviksølv er indholdet i filterasken i begge varmegærker højere end grænseværdien, mens grænseværdien overholdes for blandingsasken.

Halmaske inddeles i kategorier efter indholdet af cadmium. Kategorien angiver, hvor meget halmaske, der må spredes ud pr. ha. For både Rødby og Høng Varmeværk bliver den beregnede blandingsaske karakteriseret som en H2 aske, der giver tilladelse til at udsprede 1,5 t aske hvert 5. år. Dette stemmer godt overens med, at de fleste halmværker i dag bringer asken ud som H2-aske. Bundasken bliver karakteriseret som H3 aske, der giver mulighed for udspreddning af 5 t aske hvert 5. år. Cyklonakse bliver karakteriseret som H1 aske, som giver mulighed for udspreddning af 0,5 t aske hvert 5. år (se Tabel 8.4)

	Cd-indhold, mg/kg tørstof	Halmaskekategori	Tilladte mængde til udsprening hvert 5. år
Rødby			
Bundaske	0,1	H3	5,0
Cyklonaske	2,6	H1	0,5
Filteraske	10,0		0
Blandingsaske	1,9	H2	1,5
Høng			
Bundaske	0,3	H3	5,0
Cyklonaske	4,8	H1	0,5
Filteraske	10,0		0
Blandingsaske	2,2	H2	1,5

Tabel 8.4. Cadmiumindhold og indplacering af halmasken i kategorier.

Håndtering af asken som blandingsaske giver således mulighed for at udsprede al halmasken i en mængde på 1,5 t pr. ha hvert 5. år. Håndtering af asken i 3 separate fraktioner betyder, at filterasken ikke kan anvendes på landbrugsjord, at cyklonaksen kun kan anvendes i en mængde på 0,5 t pr. ha, mens bundasken må anvendes i en mængde på 5 t pr. ha.

	Rødby Varmeværk	Rødby Varmeværk	Rødby Varmeværk	Blandingsaske, beregnet	Høng Varmeværk	Høng Varmeværk	Høng Varmeværk	Blandingsaske, beregnet
Asketype:	Bundaske	Cyklonaske	Filter	Blandingsaske	Bundaske	Cyklonaske	Filter	Blandingsaske
% af tørstof ¹	75	10	15	100	75	10	15	100
% af fosfor	80	10	11	100	76	13	11	100
% af kalium	53	11	37	100	47	15	38	100
% af kviksølv	51	5	44	100	33	16	51	100
% af cadmium	53	11	37	100	47	15	38	100

Tabel 8.5. Fordeling af næringsstoffer og tungmetaller i forskellige fraktioner af aske.

¹ Fordelingen af tørstof mellem de tre askefraktioner er antaget. 75% antages at være bundaske, 10% cyklonaske og 15% filteraske.

Kommentar: På grund af afrunding ser summen af de forskellige askefraktioner ikke altid ud til at give 100%. Summen er naturligvis altid 100%, hvis der ses bort fra afrunding.

I filterasken opkoncentreres kalium, kviksølv og cadmium. Kan filterasken ikke anvendes på landbrugsjord, vil 37% af kaliummængden i asken ikke blive tilbageført til landbrugsjorden og tilsvarende vil henholdsvis 44% og 37% af kviksølv- og cadmiummængden heller ikke blive tilbageført.

8.1.3.2 Vurdering af halmasken som gødning

Ved forbrænding ved høje temperaturer kan næringsstoffer aske blive bundet i forbindelser med lav tilgængelighed for planter. Tilgængeligheden af fosfor og kalium er undersøgt i forsøg ved Danmarks Jordbrugsforskning (Hansen og Kjellerup, 1994).

I denne undersøgelse var ca. 50% af fosfor i asken citratopløseligt og udnyttelsen af citratopløseligt fosfor svarede til udnyttelsen af fosfor i handelsgødning. I nærværende undersøgelser af askerne fra Rødby og Høng er godt 50% af totalfosfor citratopløseligt. I cyklon- og filteraskerne er andelen af citratopløseligt fosfor lidt større. Kun en meget lille del af fosfor i asken er vandopløseligt. På lang sigt må man forvente en vis effekt også af den ikke citratopløselige fosfor. Det må antages, at den fosforvirkning af aske på lang sigt vil være 50 til 70% af indholdet af totalfosfor.

I undersøgelsen ved Danmarks Jordbrugsforskning var ca. 35% af kalium i asken vandopløseligt. Resultaterne af forsøgene i 2. år efter udbring tyder på, at der også har været en effekt af den ikke vandopløselige kalium. I de følgende beregninger antages virkningen af kalium i halmaske at være 80% af den syreopløselige kalium.

I Tabel 8.6 er gennemført en beregning af den nødvendige tilførsel af aske ved 2 forskellige behov for kalium og ved tilførsel henholdsvis hvert år og hvert 5. år.

Kaliumbehov	Rødby Varmeværk	Rødby Varmeværk	Rødby Varmeværk	Rødby Varmeværk	Høng Varmeværk	Høng Varmeværk	Høng Varmeværk	Høng Varmeværk
	Bundaske	Cyklonaske	Filter	Blandingsaske	Bundaske	Cyklonaske	Filter	Blandingsaske
	T aske pr. ha for opfyldelse af det angivne kaliumbehov							
80 kg K/ha/år	0,83	0,56	0,24	0,58	1,01	0,43	0,25	0,64
50 kg K/ha/år	0,52	0,35	0,15	0,37	0,63	0,27	0,16	0,40
	T aske pr. ha i 5 år for opfyldelse af det angivne kaliumbehov							
80 kg K /ha/år	4,2	2,8	1,2	2,9	5,1	2,2	1,3	3,2
50 kg K/ha/år	2,6	1,7	0,7	1,8	3,2	1,4	0,8	2,0

Tabel 8.6. Beregnet behov for tilførsel af halmaske for at dække kaliumbehovet ved tilførsel henholdsvis hvert år og hvert 5. år.

Den bedste gødningseffekt af halmasken opnås ved at tilføre den hvert år. Ved tilførsel for flere år af gangen vil der ske en vis udvaskning af kalium på sandjord, og det forhøjede kaliumindhold vil resultere i en luksusoptagelse i afgrøden. På lerjord (JB 6-9) med et relativt højt kaliumindhold i jorden (K_{total} over 10) vil tilførsel af 400 kg kalium hvert 5. år formodentligt være tilstrækkeligt til at opretholde jorden kaliumindhold ved dyrkning af korn. Anvendes BEDRIFTSLØSNINGs kaliummodel vil der dog være behov for at tildele supplerende kalium 4. og 5. år efter udbringning. På grovsandet jord vil der i praksis være behov for supplerende kalium allerede i efter 2. år efterudbringning.

Anvendes bundasken alene karakteriseres asken som en H3 aske, og bekendtgørelsen giver mulighed for udspreddning op til 5 t tørstof pr. ha. Det vil ifølge Tabel 8.6 også dække kaliumbehovet. Udspreddes blandingsasken, som er en H2 aske, må der kun udspreddes 1,5 t aske hvert 5. år. Dette kan ikke dække behovet for tilførsel af kalium. Ud fra et gødningsmæssigt synspunkt er det hensigtsmæssigt at udsprede 3 t bundaske eller 2 t blandingsaske hvert 3. år.

8.1.4 Sammenfatning om halmaskes gødningsværdi

Håndteres asken usepareret, karakteriseres asken som H2 aske med mulighed for at udbringe 1,5 t aske hvert 5. år. Denne mængde kan ikke dække afgrødernes kaliumbehov. Anvendelse af 1,5 t hvert 5. år sikrer mulighed for en god udnyttelse af kalium og andre næringsstoffer i asken.

Håndteres asken som bundaske, kan der udspreddes op til 5 t hvert 5. år, hvilket kan dække afgrødernes behov for kalium. Anvendes cyklon- og filteraske ikke på landbrugsjorden vil ca. halvdelen af kaliummængden og halvdelen af cadmiumindholdet ikke blive tilbageført til landbrugsjorden. Bundaskens indhold af cadmium er lavt i forhold til grænseværdierne.

Der kan regnes med en udnyttelse af syreopløst kalium på ca. 80% i forhold til kalium i handelsgødning. Der kan regnes med en effekt på længere sigt af fosfor i halmaske på ca. 70% sammenlignet med fosfor i handelsgødning.

8.2 Omkostninger ved udbringning af aske på landbrugsjord

8.2.1 Indledning

Udspredning af halmaske på landbrugsjord har fundet sted gennem en årrække; dels aske fra gårdfyre og aske fra halmfyrede varmeværker, og dels (i de seneste ca. 10 år) aske fra biomassefyrede kraft- og kraftvarmeværker. Med den stigende anvendelse af halm til elproduktion - op til 950.000 t i 2004 - vil askemængden, der skal tilbageføres til landbrugsjorden, også stige markant.

Det har i praksis vist sig stort set umuligt at udsprede H1 aske (dvs. max 0,5 t/ha/5 år) på en måde, der sikrer en blot nogenlunde acceptabel fordeling af asken (se dog afsnittet herunder om opblanding i gylle). Mange brugere melder også, at det er vanskeligt at opnå en acceptabel fordeling af H2 asken.

I dette afsnit beskrives de tekniske muligheder for udspredning af H2 og H3 aske, og omkostningerne hertil beregnes. Der er ikke inddraget opbevaring eller landevejstransport af asken.

8.2.2 Metoder til udbringning af halmaske

8.2.2.1 Udspredning med kalk- eller gødningsspreder

Aske kan udsprede med kalk- og gødningsspreder. Flere brugere påpeger, at en forudsætning for en tilfredsstillende funktion forudsætter, at der er tale om relativt tør aske - med et vandindhold, der ikke overstiger 20-25%. Andre steder har man positive erfaringer med udspredning af aske med større vandindhold end dette.

Der er ikke foretaget egentlige undersøgelser af spredningseffektiviteten for spredning af halmaske med kalkspreder. For H3 aske viser erfaringer fra brugerne dog, at der kan opnås en tilfredsstillende fordeling, mens det i mange tilfælde har vist sig problematisk at fordele H2 aske.

8.2.2.2 Udspredning med staldgødnings- eller slamspreder

Specielt for aske med et højt vandindhold kan det være relevant anvende slamspreder. Denne har typisk et rumindhold på ca. 10-13 m³, og er derfor kun relevant for udspredning af H3-aske; ved et tørstofindhold på 50% kan der altså netop spredes 10 t/ha/5 år. Selv her kan der imidlertid være problemer med at få spredt de 10 t aske jævnt over én ha.

Der kan også anvendes staldgødningspreder med bundkæde og 2 valser.

8.2.2.3 Opblanding i gylle og udkørsel med gyllevogn

For aftagere af aske, der også er husdyrproducenter, eksisterer muligheden for at opblande og udsprede asken sammen med husdyrgødningen - specielt hvis denne foreligger som gylle. Dette kan gøres, hvis følgende overholdes:

- Grænseværdierne skal overholdes, inden sammenblandingen sker.
- Sammenblandingen skal herefter ske i et forhold, så de maksimale udbringningsmængder overholdes.
- Asken udgør højst 10% (tørstofbasis) af det sammenblandede produkt.

Udspredning kan herefter ske efter reglerne for anvendelse af husdyrgødning.

At asken højst må udgøre 10% af det sammenblandede produkt betyder imidlertid, at doseringen af H2- og H3-asker ikke kan optimeres ved denne

udbringningsmetode. Hvis der eksempelvis kan udbringes 25 t gylle/ha med et tørstofindhold på 5%, må der højst iblandes aske svarende til 0,14 t tørstof - dvs. ca. 1/10 af den tilladte tildeling pr. ha for H2-aske og ca. 1/35 af den tilladte tildeling pr. ha for H3-aske. Selv om asken blandes i gyllen hvert år, er det således ikke muligt at tildele den fuldt tilladte askemængde med denne metode.

Til gengæld åbner sammenblanding og udbringning med gylle mulighed for en acceptabel fordeling af H1 aske. Der er imidlertid en meget stor del af aftagerne af halmaske, der ikke har denne mulighed - f.eks. planteavlere og maskinstationer.

Hvis asken i stedet sammenblandes med andre affaldsprodukter som fx spildevandsslam, skal man i stedet anvende reglerne i bekendtgørelsen om anvendelse af affaldsprodukter i jordbruget - den såkaldte slambekendtgørelse.

8.2.3 Omkostninger til udspredding af halmaske.

8.2.3.1 Udspredding med kalk- eller gødningsspreder

I "Håndbog til driftsplanlægning" (Landbrugsforlaget, 2000) er omkostningerne til udspredding af kalk med en 8 t kalkspreder opgjort til 627-691 DKK/time ved en gennemsnitlig kapacitet på 12-15 t/time, idet det forudsættes, at der gennemsnitligt kan udspreddes på 3 ha/time .

For H2 aske med 10% vandindhold må der i henhold til Bioaskebekendtgørelsen spredes ca. 1,6-1,7 t/ha. Udspreddingen af ét "læs" sker således over et større areal, og kapaciteten vurderes som følge heraf at reduceres til ca. 6 t/time. Omkostningerne til udspredding af H2 aske beregnes således med disse forudsætninger at ligge i intervallet 105-115 DKK/t.

Tilsvarende må spredes ca. 5,5-5,6 t H3-aske pr. ha med 10% vandindhold. Kapaciteten antages herved at være i samme størrelsesorden - 12 t/time - som ved kalkspredding, og omkostningerne ved udspredding af H3-aske vurderes derfor med disse forudsætninger at ligge i intervallet 52-58 DKK/t.

Erfaringstal fra maskinstationer viser, at omkostningerne til udspredding af H3-aske med kalkspreder ligger mellem 30 og 40 DKK/t.

8.2.3.2 Udspredding med staldgødnings- eller slamspreder

I "Håndbog til driftsplanlægning" er maskinstationsomkostningerne til udspredding med slamspreder anført til 713-783 DKK/time. Ved en kapacitet på 20 t/time svarer dette til en omkostning på 36-39 DKK/t. Dette er som nævnt tidligere kun relevant ved udspredding af våd H3 aske.

Flere maskinstationer tilbyder udspredding med staldgødningsspreder. Kapaciteten varierer mellem 25 og 40 t/time efter forholdene. Dette giver en omkostning til udspredding på ca. 20-30 DKK/t.

Samlet vurderes det ud fra ovennævnte, at omkostningen til udbringning af våd H3-aske med staldgødnings- eller slamspreder vil ligge mellem 20 og 39 DKK/t.

8.2.3.3 Opblanding i gylle og udkørsel med gyllevogn

Udbringning af gylle med gyllevogn m/slæbeslanger kan ifølge "Håndbog til driftsplanlægning" gøres for 12-16 DKK/m³ plus et transporttillæg på 3-4

DKK/m³. Under forudsætning af, at asken ved opblanding ”fylder det samme” som før opblanding, betyder det altså, at asken på denne måde kan udbringes for meget lave omkostninger - 15-25 DKK/t - afhængigt af transportafstanden. Hertil kommer evt. ekstra omkostninger til omrøring af gylletanken inden udkørsel, men ofte vil denne omrøring skulle foretages, selv om der ikke tilføres aske.

8.2.4 Sammenfatning om omkostninger ved udbringning af halmaske på mark

Halmaske kan udsprede med kalkspreader, staldgødnings- eller slamspreder samt ved opblanding og efterfølgende udbringning med gylle. Prisen for udbringning varierer fra 15-115 DKK/t, alt efter hvilken type aske der er tale om (H1-H3) og hvilken udbringningsmetode, der kan anvendes.

Udbringningsmetode	H1	H2	H3
Kalkspreader	-	105-115 DKK/t	30-58 DKK/t
Staldgødnings- eller slamspreder	-	-	20-39 DKK/t
Opblanding med gylle og udbringning med gyllevogn	15 – 25 DKK/t	-	-

Tabel 8.7. Pris for udbringning af halmasker. Priserne er eksklusiv opbevaring og landevejstransport.

Som nævnt i afsnit 8.1.3 er bundaskerne fra Høng og Rødby karakteriseret som H3-asker, mens en beregnet blandingsaske er H2-asker, cyklonasken er en H1-asker. De tre askefraktioner har som gennemsnit af analyseresultaterne for de to værker et kaliumindhold på henholdsvis ca. 11 % (bundaske), ca. 17 % (blandingsaske) og ca. 20 % (cyklonaske) af asketørstoffet. Hvis det antages, at disse kaliumindhold er typiske for H3-, H2- og H1-askerne kan udbringningsomkostninger udregnes i forhold til askens indhold af kalium, se Tabel 8.8.

Udbringningsmetode	H1	H2	H3
Kalkspreader	-	618 – 676 DKK/t K	272 – 527 DKK/t K
Staldgødnings- eller slamspreder	-	-	182 – 355 DKK/t K
Opblanding med gylle og udbringning med gyllevogn	75 – 125 DKK/t K	-	-

Tabel 8.8. Pris for udbringning af halmasker i forhold til askens indhold af kalium. Priserne er eksklusiv opbevaring og landevejstransport.

9 Anvendelse af træaske i skovbruget

På basis af de i projektet gennemførte askeanalyser har Forskningscentret for Skov & Landskab gennemført en vurdering af askernes gødningsværdi. Der er desuden på grundlag af litteraturstudier gennemført en vurdering af hvilke omkostninger, der er forbundet med udbringning af askerne i skoven.

9.1 Indledning

I forbindelse med en stigende anvendelse af biomasse til energiformål har skovene fået et problem. Som følge af at hovedparten af træernes næringsstoffer er indeholdt i nåle og bark, medfører udnyttelsen af hele træer til flis i de tidlige tyndinger af gran et forøget udtag af næringsstoffer. I visse tilfælde kan udtaget af næringsstoffer overstige den mængde, der tilføres bevoksningerne i form af deposition fra luften og forvitring af jordens mineraler. Det er således spørgsmålet, om den nuværende udnyttelse er bæredygtig på længere sigt, eller om en fortsat heltræudnyttelse vil medføre tilvæksttab og sundhedsproblemer i skovene (Nord-Larsen, 2001).

Der synes dog at være en umiddelbar løsning på problemet i form af, at asken fra afbrændingen af biomasse udspreddes i skoven. Asken fra varmekærerne indeholder med undtagelse af kvælstof hovedparten af de næringsstoffer, der var bundet i biomassen fra skoven. Tilbageføring af aske til skoven vil således slutte kredsløbet, samtidig med at kraft-/varmekærerne slipper for at betale deponeringsafgift. Danske fjernvarmekærere producerer hvert år cirka 3.100 t aske ved forbrændingen af træflis og træpiller. Denne aske deponeres på sikrede lossepladser til en pris af mellem 700 og 900 DKK/t. Afgiften betales af værkerne selv og repræsenterer en betydelig udgift.

Dette afsnit ser på mulighederne for at tilbageføre aske fra kraft-/varmekærerne til skoven for herved at kompensere næringsstoffudtaget ved hugst. Undersøgelsen bygger dels på eksisterende svenske og danske undersøgelser og dels på nye danske tal for askens indhold af næringsstoffer. Undersøgelsen omfatter dels en vurdering af askens gødningsværdi og dels en gennemgang af de tekniske muligheder ved udspreddning af aske i skov.

9.2 Kompensation for næringsstofftab ved udbringning af aske i skov

Tilbageførsel af aske fra forbrændingen af skovflis til skovene udgør en oplagt mulighed for at recirkulere en del af de udtagne næringsstoffer og derved kompensere for det ekstra udtag, der er forbundet med udnyttelsen af hele træer til flis. Med Gødningsstrategien for Skov- og Naturstyrelsens skovarealer og Bioaskebekendtgørelsen fra Miljøstyrelsen er rammerne givet for anvendelsen af flisaske i skovbruget.

9.2.1 Gødskningsbehovet

Den samlede næringsstofekspport fra bevoksningerne afhænger af træarten og det valgte dyrkningssystem. Endvidere afgøres behovet for kompensation også af, i hvilket omfang det enkelte næringsstof bliver tilført bevoksningen i form af deposition fra nedbør eller fra luften. Behovet for gødskning med aske er størst i hedeplantagerne i det vestlige Danmark. Dels er jordbunden her i forvejen fattig på næringsstoffer, og dels er det her langt de største mængder af flis fra tyndinger i rødgran produceres. Der optræder således på disse lokaliteter et behov for gødskning som følge af en generel mangel på essentielle næringsstoffer samt et behov for kompensation som følge af eksporten af næringsstoffer ved intensiv biomasseudnyttelse. Der er i Danmark og Sverige udført undersøgelser af den samlede næringsstof eksport gennem en omdrift ved forskellige dyrkningssystemer og udnyttelsesintensiteter.

9.2.1.1 Svenske undersøgelser

Mængden af næringsstoffer indeholdt i hugstaffaldet (grene og nåle) og derved det øgede udtag af næringsstoffer, der er forbundet med udnyttelse af hele træer til flis er blevet undersøgt af Jacobson et al. (1996).

Næringsstofeksporten varierer med træart, lokalitet, bevokningsalder og tyndingens styrke. Gennemsnitligt finder Jacobson et al. (1996), at heltræudnyttelse ved tidlige tyndinger i rødgran giver et merudtag på 91 kg N, 11 kg P, 33 kg K, 68 kg Ca og 11 kg Mg per ha (Tabel 9.1).

Art	Alder år	Stammeved Biomasse m ³ /ha	Hugstaffald					
			Biomasse	N	P	K	Ca	Mg
			kg/ha					
Skovfyr	36	49	7.050	37	4	14	19	3
	71	43	4.590	21	3	9	14	2
	30	56	8.940	41	4	16	22	4
	53	48	11.940	44	4	16	21	5
	32	64	11.780	60	6	21	31	5
	63	33	6.900	33	4	12	13	3
	34	62	10.110	56	5	21	27	5
Rødgran	40	53	10.610	44	5	20	18	5
	41	37	10.290	43	4	15	18	5
	30	57	11.530	84	9	28	40	10
	50	86	17.270	89	7	28	69	9
	27	104	19.730	126	20	54	148	13
	53	77	13.660	79	9	23	67	9
	40	37	11.440	64	9	29	35	6
	29	48	15.620	102	11	41	50	10

Tabel 9.1. Forøgelse af næringsstofeksporten ved hel træudnyttelse i tidlige tyndinger i skovfyr og rødgran (Jacobson et al., 1996).

Sammenlignes næringsstofudtaget ved heltræudnyttelse med udtaget ved almindelig stammehugst kan heltræudnyttelsen i følge en undersøgelse af Egnell og Leijon (1999) medføre en forøgelse af næringsstofudtaget på op til fire gange (Tabel 9.2) ved renafdrift af rødgran.

Lokalitet	Hugst	Biomasse t/ha	Næringsstofekspport				
			N	P	K	Ca	Mg
			kg/ha				
Tönnersjö	Stamme	150	126	12	56	103	23
	Heltræ	199	414	36	126	241	53
	Stamme og grene	165	227	18	86	163	35
Kosta	Stamme	155	106	10	50	141	25
	Heltræ	197	352	35	158	278	49
	Stamme og grene	188	211	22	93	227	38
Lövliden	Stamme	135	114	13	56	207	20
	Heltræ	161	262	31	133	424	38
	Stamme og grene	172	198	20	98	376	32
Lund	Stamme	74	46	4	21	54	10
	Heltræ	96	116	11	49	96	17
	Stamme og grene	86	76	7	34	79	13

Tabel 9.2. Næringsstofekspport ved udtag af forskellige fraktioner af træet på forskellige lokaliteter i Sverige (Egnell og Leijon, 1999).

9.2.1.2 Danske undersøgelser

De svenske undersøgelser underbygger resultaterne fra en række danske undersøgelser af næringsstofekspporten ved heltræudnyttelse. Således har Beier et al. (1995) anslået en forøgelse af næringsstofudtaget på mellem 4% og 26% over en omdrift ved udtag af fortørret heltræflis afhængig af hvilket næringsstof der er tale om. Modelberegninger af forskellige hugst-scenarier har i lighed hermed vist en kraftig forøgelse af næringsstofudtaget ved heltræudnyttelse, selvom fortørring af træerne i bevoksningen ses at reducere udtaget væsentligt (Tabel 9.3).

Udnyttelsesgrad	Biomasse	N	P	K	Ca	Mg
	t/ha pr. omdrift	kg pr. ha pr. omdrift				
Udtag af stammer alene i både tyndinger og ved renafdrift	258	319	34	226	379	71
Flisning af de to første tyndinger efter fortørring i bevoksningen	264	388	39	246	409	79
Grønflisning af de to første tyndinger.	271	432	46	270	426	85
Flisning af de to første tyndinger samt kvas efter renafdrift efter fortørring i bevoksningen	300	739	63	333	579	121
Grønflisning af de to første tyndinger samt kvas efter renafdrift	344	1003	102	465	682	156

Tabel 9.3. Eksempel på fjernelse af biomasse og næringsstoffer i rødgran over en omdrift (70 år, produktionsklasse 12, 6 tyndinger + renafdrift) ved forskellige udnyttelsesgrader. Størrelserne er anslået på grundlag af beregninger lavet i EXCEL-modellen, ESBEN (Møller 2001).

Behovet for kompensationsgødskning afgøres imidlertid ikke alene af udtaget ved hugst, men også af det øvrige næringsstofbudget i den enkelte bevoksning. Således er det muligt, at visse næringsstoffer kompenseres ved deposition fra luften eller med regnvandet, mens andre næringsstoffer tabes gennem udvaskning med jordvandet. Depositionen af kationer som K, Ca og Mg stammer først og fremmest fra havet og er således meget afhængig af afstanden til havet i den fremherskende vindretning. Derimod er depositionen af kvælstof afhængig af mængden og størrelsen af dyrehold i området samt afstanden til byerne. Depositionen af kvælstof antager en størrelse på 10-40 kg/ha/år og er størst i Sønderjylland og mindst ved kysterne. Generelt er størrelsen af depositionen af alle næringsstofferne meget afhængigt af kronetagets højde og ujævnhed og vil derfor variere meget fra bevoksning til bevoksning og gennem bevoksningens liv.

På baggrund af modelberegninger for en rødgranbevoksning 80 km fra kysten i 70-årig omdrift, hvor der flishugges fortørrede træer i de første to tyndinger, anslås gødskningsbehovet at være ca. 56 kg P/ha, 245 kg K/ha, 399 kg Ca/ha (Tabel 9.4 og Tabel 9.5). Magnesium vil formentlig udvaskes i en sådan grad, at der ikke vil ske en ophobning i systemet, hvorimod der ifølge beregningen ses en netto deposition af kvælstof i bevoksningen (Tabel 9.4). Det skal dog understreges at depositionen og udvaskningen af næringsstoffer er meget lokalitetsafhængig og derfor vil kunne variere meget fra bevoksning til bevoksning.

Tynding	Alder	Udnyttelse	Biomasse	N	P	K	Ca	Mg
			t/ha	kg/ha				
1	33	Fortørret flis	19	55	5	24	39	9
2	37	Fortørret flis	18	53	4	23	37	8
3	42	Stammer	17	21	2	15	25	5
4	47	Stammer	16	20	2	14	23	4
5	53	Stammer	18	22	2	16	26	5
6	61	Stammer	22	27	3	19	33	6
Renafdrift	70	Stammer	154	190	20	135	226	42
I alt			264	388	39	246	409	79
Pr. år			3.8	5.5	0.6	3.5	5.8	1.1

Tabel 9.4. Eksempel på fjernelse af biomasse og næringsstoffer i rødgran i de enkelte tyndinger over en omdrift på 70 år (produktionsklasse 12). Størrelserne er anslået på grundlag af beregninger lavet i EXCEL-modellen, ESBEN (Møller 2001).

Næringsstof budget	N	P	K	Ca	Mg
	kg pr. ha pr. omdrift				
Deposition	1.470	0	70	154	238
Udvaskning	1.015	14	70	140	161
Udtag	385	42	245	406	77
Netto budget	70	-56	-245	-392	0

Tabel 9.5. Næringsstofbudget for en rødgranbevoksning i 70-årig omdrift hvor der gennemføres hel træudnyttelse efter fortørring i de første to tyndinger. Størrelserne er anslået på grundlag af beregninger lavet i EXCEL-modellen, ESBEN (Møller 2001).

9.2.2 Askens gødningsværdi

Træflisaskens indhold af næringsstoffer afgøres af hvilken træart, der bliver afbrændt, hvorfra træet stammer, samt hvorfra asken er taget i flisfyrianslægget. Kofman (1987) har undersøgt næringsstofindholdet i flisaske fra forskellige træarter og fra forskellige lokaliteter (Tabel 9.6). Askens indhold af tungmetaller blev også belyst i denne undersøgelse, og man fandt her et gennemsnitligt indhold af cadmium på 8 ppm og et indhold af bly på 107 ppm i ovntør aske. Endvidere blev indholdet af næringsstoffer og tungmetaller opgjort for såvel flyve- som bundaske på fem flisfyrede anlæg. Kofman (1987) fandt her store forskelle på de forskellige askefraktioners indhold af tungmetaller, mens der ikke fandtes betydelige forskelle i askens indhold af næringsstoffer. Således var indholdet af cadmium i flyveasken mere end 4 gange så højt som i bundasken, mens indholdet af bly var ca. dobbelt så højt.

Lokaltet	P	K	Ca	Mg	Fe	Na	Mn	Cu
	%	%	%	%	%	%	%	ppm
Nåletræflis								
Vejle	0,91	3,24	8,8	0,92	0,48	0,52	0,25	67
Nødebo	0,97	2,50	11,4	0,94	1,14	0,54	0,63	63
Svendborg	2,20	7,32	23,2	2,16	1,49	0,81	1,87	200
Klosterheden	1,29	3,59	11,0	2,13	2,35	1,32	0,41	180
Skørping	1,08	3,63	9,9	1,42	0,88	0,58	0,79	100
Arden	1,73	5,51	13,6	2,07	1,31	0,83	1,39	130
Buderupholm	1,81	5,38	16,3	2,15	1,68	0,90	4,20	180
Løgumgård	2,03	8,92	17,4	2,74	1,41	0,84	2,20	250
Vivild	0,54	1,61	4,4	0,79	0,71	0,48	0,18	46
Gennemsnit	1,40	4,63	12,9	1,70	1,27	0,76	1,32	135
Løvtræflis								
Sorø	1,64	5,58	21,8	1,63	1,04	1,28	0,21	158
Otterup	0,90	2,76	13,8	0,89	1,40	0,54	0,06	40
Flemløse	2,80	7,21	33,9	2,98	0,91	0,93	0,47	227
Gennemsnit	1,78	5,18	23,2	1,83	1,12	0,92	0,25	142

Tabel 9.6. Den ovntørre askes indhold af forskellige næringsstoffer (Kofman, 1987).

Som omtalt i afsnit 6 har dk-TEKNIK gennemført kemiske analyser på asken fra to forskellige flisfyrede varmeværker, Hurup og Græsted (resultaterne er tidligere præsenteret i Tabel 6.3). Til forskel fra Kofmans analyser, der blot baseres på en enkelt askeprøve fra hvert anlæg, er dk-TEKNIKS analyser baseret på gentagne prøveudtagninger over en længere periode. Man må derfor forvente, at man i denne undersøgelse i højere grad har elimineret tilfældige udsving og dermed har resultater af bedre kvalitet. Der ser dog ud til at være ganske god overensstemmelse mellem det fundne næringsstofindhold (kalium og fosfor) i de to undersøgelser, om end specielt kalium-værdierne for Hurup og Græsted er lidt højere end i Kofmans undersøgelse.

Ud fra askernes indhold af tungmetaller vil det ikke være muligt at udsprede cyklonaske varmeværkerne i Hurup og Græsted, idet indholdet af cadmium er for stort (>15ppm) i forhold til Bioaskebekendtgørelsen. I øvrigt viser analyseresultaterne, at også indholdet af nikkel, kviksølv og bly i cyklonasken fra Hurup er så stort, at dette udelukker muligheden for udspreddning. Bundasken fra de to varmeværker kan begge udspreddes, idet der i forhold til askebekendtgørelsen maksimalt kan udspreddes 1,0 t tørstof/ha/10 år af bundasken fra Hurup og 7,5 t tørstof/ha/10 år af bundasken fra Græsted. På baggrund af resultaterne fra analyserne udført af dk-TEKNIK er det alene de to bundasker, der vil egne sig til udspreddning i skov i Danmark. Den efterfølgende analyse tager derfor alene stilling til disse to asker.

Ved at sammenligne udtaget af næringsstoffer ved hugst (Tabel 9.5) med bundaskens indhold af næringsstoffer (Tabel 9.6 og de tidligere præsenterede resultater i Tabel 6.3) ses, at der kræves 3-8 t aske pr. ha for at kompensere eksporten af fosfor, kalium, calcium og magnesium (Tabel 9.7). Dog synes indholdet af fosfor i asken fra Græsted at være meget lille sammenlignet med de indhold, der blev fundet af Kofman (1987), hvorfor det synes rimeligt at antage at behovet for kompensation dækkes ved udspreddning af 3-5 t aske pr. ha over en omdrift. Medtages deposition og udvaskning af næringsstoffer (Tabel 9.5) i beregningen, medfører udvaskningen af fosfor, at det samlede kompensationsbehov er 3-6 t aske over en omdrift. Det må dog i denne forbindelse fremhæves, at opgørelsen af udvaskning og deposition er forbundet med stor usikkerhed.

	Hurup	Græsted	Kofman
	kg aske pr. ha pr. omdrift		
P	4.421	8.235	3.000
K	3.025	4.298	5.292
Ca	-	-	3.147
Mg	-	-	4.529

Tabel 9.7. Behovet for kompensering af næringsstofekspport over en omdrift for forskellige næringsstoffer, angivet i den nødvendige tilførsel af askemængde.

Værdien af askens makronæringsstoffer kan vurderes ved at sammenligne med værdien af en tilsvarende handelsgødning. Der findes imidlertid ikke handelsgødninger, der i sammensætning af fosfor og kalium minder om asken. Kofman (1987) har sammenlignet askerne i sin undersøgelse med en NPK 0-4-21 handelsgødning (0% N, 4% P og 21% K) og finder at 200 kg handelsgødning svarer til et t aske. Da denne gødning har en pris på 1260 DKK/t har asken en gødningsværdi på 252 DKK/t. Imidlertid gødskes der i skovene sædvanligvis med NPK 14-4-17 eller NPK 22-3-7 til en pris af henholdsvis 1.920 og 1.890 DKK/t. Man udbringer da omkring 500 kg/ha til en samlet pris af ca. 950 DKK. Skal man opnå samme mængder fosfor og kalium, skal der udbringes op til 3-4 t aske pr. ha og om nødvendigt 300 kg kalkammoniumsalpeter for at opnå den samme mængde kvælstof. Dette giver asken en gødningsværdi på 271 DKK/t. Det skal dog erindres, at Bioaskebekendtgørelsen sjældent vil give mulighed for udspreddning af aske i disse mængder, hvorfor man ikke alene med udspreddning af aske vil kunne kompensere for den eksport af næringsstoffer, der finder sted.

9.3 Omkostninger ved udbringning af aske i skov

Udbringning af aske fra kraft-/varmeværker i skov har kun været praktiseret få steder i Danmark. De eneste kendte eksempler på en konsekvent udbringning er på Klosterheden og Thy Statsskovdistrikter, hvor aske er blevet udbragt i en længere årrække. Der er imidlertid gennemført en række svenske studier af udspreddning af bioaske i skov. Endvidere eksisterer der en række erfaringer med udspreddning af såvel konventionel gødning og kalk som aske i de danske skove.

9.3.1 Storskalaforsøg med askehåndtering i Sverige

Omkostningerne til udspreddning af aske er blevet undersøgt ved fire forskellige feltstudier i Midtsverige fra 1995-1997 (Vattenfall AB, 1998). Undersøgelserne omfattede forskellige typer af aske og forskellige systemer til transport og udbringning af asken. Det mest rationelle system blandt de undersøgte omfattede transport af asken med container til udspreddningspladsen. Asken blev da stående i containeren som en slags mellemlager. Ved udspreddningen flyttedes asken til ladet på en ombygget udkørselstraktor ved hjælp af en lastbil påmonteret en kran. Asken blev spredt med tallerkenspreder eller gødningspreder.

9.3.1.1 Lastbiltransport

Der blev ved forsøget prøvet flere forskellige typer af lastbiltransport. Metoderne omfattede separate transportere af løs aske med containere eller almindelige lastbiler, returtransport af asken med tømmerbilerne fra skoven og transport af asken pakket i sække. Af de afprøvede metoder var separat transport i containere den billigste og mest fleksible, da returtransport krævede en relativt dyr ombygning af tømmerbilerne.

Ved en gennemsnitlig transportafstand på 80 km fra værket til skoven var den gennemsnitlige omkostning ved separat transport i containere 64 DKK/t. Ved udspreddning af 3 t per hektar svarer dette til en omkostning på 192 DKK/ha.

9.3.1.2 Spredning af aske

Der blev ved fuldskalaforsøget forsøgt en række forskellige systemer, der omfattede spredning med ombyggede, middelstore udkørselsmaskiner (FMG 810 og FMG 840) og spredning med en ombygget jordbrugstraktor (MB track), alle monteret enten med tallerken- eller gødningsspreder. Forsøg med udspreddning af forskellige typer af aske blev gennemført såvel på hugstflader som i unge bevoksninger.

Ved spredning med tallerkenspreder slynges asken ud fra to roterende tallerkner. Metoden, der normalt bruges ved spredning af jordbrugskalk, vurderedes at være driftssikker og effektiv. Dog syntes spredningen ikke at være tilfredsstillende jævn over arealet, ligesom tallerkensprederen er følsom overfor ujævnt terræn. Ved spredning med gødningsspreder blæses asken ud over arealet. Metoden vurderes at være driftssikker og effektiv. Spredningen er noget mere jævn, end det er tilfældet for tallerkensprederen. Endvidere er gødningssprederen ikke følsom overfor ujævnheder i terrænet. Begge metoder kræver, at asken er rimeligt tør, således at den kan løbe frit ned i spredningsaggregatet uden at klumpe.

Udover forsøgene udførtes også teoretiske beregninger på omkostningerne ved et fuldt udbygget system, hvor der årligt udspreddes 10.000 t aske, samt ved andre typer af spredning med brug af andet materiel. Blandt de beregnede værdier synes udspreddning med en stor ombygget udkørselsmaskine med en øget kapacitet at have den største relevans.

Omkostningerne ved udspreddning af aske under fuldskalaforsøget (Tabel 9.8) varierede mellem 767 og 839 DKK/ha afhængig af, om der blev anvendt en middelstor udkørselsmaskine (FMG 840) eller en ombygget landbrugstraktor (MB track). Denne relativt store omkostning skal ses i forhold til forsøgets begrænsede størrelse. Ved det fuldt udbyggede system, hvor der årligt spredes 10.000 t aske, skulle omkostningen kunne nedbringes til mellem 316 og 350 DKK/ha. Anvendes en stor ombygget udkørselsmaskine med en lastkapacitet på henholdsvis 2 og 4 gange kapaciteten for FMG 840 og MB track, skulle omkostningen teoretisk kunne nedbringes til 182 DKK/ha for det fuldt udbyggede system. Således ville den samlede omkostning for transport og udbringning af aske for et fuldt udbygget system og ved udspreddning af 3 t aske per ha beløbe sig til ca. 520 DKK/ha ved anvendelse af middelstor udkørselsmaskine eller ombygget landbrugstraktor. Den samlede udgift kan nedbringes til 374 DKK/ha ved brug af en stor ombygget udkørselsmaskine.

		Forsøg		Beregnet		
		FMG 840	MB Track	FMG 840	MB Track	Stor udkørselsmaskine
Grunddata						
Udspredd mængde	t/ha	3	3	3	3	3
Kapacitet	t/læs	4	2	4	2	8
Spredning	kg/m	10	6	10	6	10
Spredningsbredde	m	33	20	33	20	33
Kørehastighed	m/min	40	40	40	40	40
Spredningslængde	m/læs	400	333	400	333	800
Kørsel (lastet)	m	500	500	500	500	300
Kørsel (tom)	m	500	500	500	500	400
Tid						
Lastning	min./læs	4,0	3,0	4,0	3,0	6,0
Lastkørsel	min./læs	12,5	12,5	12,5	12,5	7,5
Spredning	min./læs	10,0	8,3	10,0	8,3	20,0
Tomkørsel	min./læs	8,3	8,3	8,3	8,3	6,7
Øvrigt	min./læs	8,7	8,0	3,5	3,2	4,0
GO tid	min./læs	43,5	40,2	38,3	35,4	44,2
Afbrud	min./læs	8,7	8,0	3,8	3,5	4,4
Øvrig prøvetid	min./læs	50,0	45,0			
Grundtid	min./læs	102,3	93,2	42,1	38,9	48,6
Udspredd mængde	t/time	2,3	1,3	5,7	3,1	9,9
Spredning						
Maskine	DKK/g15	360	240	360	240	520
Omkostning	DKK/læs	613,6	372,8	252,8	156	421,6
Omkostning	DKK/t	153,6	186,4	63,2	77,6	52,8
Omkostning	DKK/ha	460	559,2	189,6	233,6	157,6
Lastbil						
Lastbil	DKK/g15	240	120	240	120	80
Omkostning	DKK/læs	408,8	186,4	168,8	77,6	64,8
Omkostning	DKK/t	102,4	93,6	42,4	39,2	8
Omkostning	DKK/ha	306,4	280	126,4	116,8	24
Total						
Omkostning	DKK/læs	1022,4	559,2	421,6	233,6	486,4
Omkostning	DKK/t	256	280	105,6	116,8	60,8
Omkostning	DKK/ha	767,2	839,2	316	350,4	182,4

Tabel 9.8. Omkostninger ved udspreddning af aske i skov under forsøget og beregnet for det fuldt udbyggede forsøg. Alle beløb er angivet i danske kroner fra 1998.

9.3.1.3 Erfaringer med udspreddning af aske i Sverige

Under det svenske fuldskalaforsøg blev der gjort en række erfaringer med udspreddning af aske i skov og med egnetheden af forskellige typer af aske til formålet.

Aske indeholder en række metaloxider og reagerer derfor meget basisk (pH 10-13). Udspreddes asken derfor på skovjord umiddelbart efter forbrændingen, kan dette medføre skader på træerne og på det biotiske miljø. Endvidere frigives næringsstofferne fra asken så hurtigt, at træerne ikke kan nå at optage dem, med fare for udvaskning af næringsstoffer til grundvand, åer og søer. Asken bør således hærdes inden udspreddning, dels for at opnå en langsom frigivelse af næringsstofferne og dels for at nedbringe askens reaktivitet. Asken hærdes ved tilsætning af vand, hvorved der dannes metalhydroxider, der ved

kontakt med luftens kuldioxid danner stabile metalcarbonater (hovedsageligt CaCO_3 og Mg_2CO_3).

Under forsøget blev forskellige typer af aske afprøvet. Disse omfattede:

- selvhærdet, knust aske. Asken hærdes her efter tilsætning af vand til store blokke, der efterfølgende knustes med skovbladet fra en frontlæsser.
- semigranuleret aske. Asken tilsættes vand i en hurtigt roterende tromle. Tromlens rotation medførte nogen grad af granulering, selvom dens formål i højere grad var en jævn befugtning af asken. Asken hærdes efterfølgende før udspreddning.
- granuleret aske. Asken tilsættes vand og overførtes herefter til en mikropelletizer der granulerede/pelleterede asken. Asken hærdes efterfølgende før udspreddning.

Forsøget viste, i overensstemmelse med et senere forsøg (Lövgren et al., 1999), at den granulerede aske frigiver næringsstofferne betydeligt langsommere end den selvhærdede og semigranulerede aske. Særligt den selvhærdede aske kan have meget forskellige udvaskningsforløb.

Andelen af små partikler og støv er betydende for hastigheden af næringsstoffrigivelsen og for askens tendens til at hærde sammen i store klumper, der besværliggør udspreddningen. Endvidere kan andelen af støv medføre arbejdsmiljømæssige problemer. Andelen af små partikler er langt mindre for den granulerede og semigranulerede aske end for den selvhærdede, knuste aske der ofte hærdes sammen i flere kubikmeter store klumper. Den granulerede aske hærdes endvidere til fysisk hårdhed og er således mere tålsom overfor transport. Andelen af små partikler i den semigranulerede aske var noget højere end i den granulerede og resulterede i, at asken også her ofte hærdes sammen i store klumper.

Askens vandindhold og grad af hærkning har betydning for egenskaberne ved håndtering og spredning af asken. En våd aske har tendens til at danne store isklumper i frostvejr. Endvidere glider den våde aske ikke frit ned i spredningsaggregatet og medfører derfor i mange tilfælde driftsstop. Er den våde aske endvidere ikke ordentligt hærdet, kan den danne cementlignede belægninger, der skal fjernes med hammer og mejsel, på indersiden af indmadningstragten på spredningsaggregatet. Asken bør derfor hærdes under tag med rigelig udluftning i over en måned afhængigt af asketyper. Hærkning under tag har endvidere den fordel at næringsstofferne ikke udvaskes fra bunken af aske og derved skaber et miljømæssigt problem ved værket.

Sammenfattende viste erfaringerne fra det svenske fuldskalaforsøg, at aske til udspreddning i skov bør granuleres for at opnå de bedst mulige tekniske og miljømæssige egenskaber. Asken bør hærdes under tag og spredes sommer eller efterår, hvor jorden ikke er våd, og hvor den visuelle effekt af udspreddningen er lille. Senere forsøg med pelletering af aske har vist, at den pelleterede aske har gode tekniske og miljømæssige egenskaber. Pelletering af aske med en svensk aske pelleteringsmaskine kan ske til en omkostning af 87-94 DKK/t ved et vandindhold på 30% og inklusive kapitalomkostninger.

9.3.2 Danske erfaringer med udspreddning af aske

Der er ikke i Danmark udført egentlige forsøg med udspreddning af aske i skov, selvom udspreddning har været prøvet på en række lokaliteter. I dette afsnit

sammenfattes de danske erfaringer fra Klosterheden og Thy Statsskovdistrikter.

9.3.2.1 Klosterheden Statsskovdistrikt

Klosterheden Statsskovdistrikt har i en længere årrække udspremt forskellige typer af gødning samt aske fra flisfyrede varmekærter i skoven. På baggrund af disse erfaringer er omkostningerne ved udspremt af aske estimeret af Maskinstationsleder Paul Andersen på Klosterheden Statsskovdistrikt. Udgifterne til transport af asken er ikke inkluderet i denne undersøgelse.

Asken tænkes udspremt med en traktor og en Bredahl B.48 tallerkenspreder med en lastkapacitet på 2,5 m³. Ved en densitet af asken på 815 kg/m³ løst vægt giver dette en samlet lastkapacitet på godt 2 t. Det vurderes, at det er muligt at sprede ca. 1,5 læs i timen eller godt 3 t. Maskinprisen er godt 450 DKK/time, hvilket giver en samlet omkostning ved udspremt af 3 t per ha på 450 DKK/ha eller 150 DKK/t.

Det vurderes at man ved at ombygge spredningsaggregatet, således at det kan monteres på en udkørselsmaskine i lighed med de svenske forsøg, kan øge kapaciteten til ca. det dobbelte, dvs. godt 6 t/time. Maskinprisen er da 750 DKK/time, hvilket giver en samlet omkostning ved udspremt af 3 t per ha på 375 DKK/ha eller 125 DKK/t.

9.3.2.2 Thy Statsskovdistrikt

Thy Statsskovdistrikt har i lighed med Klosterheden flere års erfaring med udspremt af flisasker. Ifølge oplysninger fra skovfoged Per Kynde er der på distriktet i perioden 1997-2000 udbragt 351 t våd flisasker med et vandindhold på ca. 34%, svarende til 233 t tørstof. Udbringningen er sket med en almindelig kalkspreder, som bruges i landbruget.

De samlede omkostninger i perioden 1997-2000 til udbringning af aske er 37.025 DKK. Omkostningerne omfatter maskinprisen for traktor og kalkspreder (tallerkenspreder) samt løn og sociale omkostninger. Selve spredningen af asken har således givet en omkostning på 105 DKK/t våd aske. Omregnet til tørstof er omkostningen 159 DKK/t tør aske. Ved udspremt af 3 t våd aske per hektar er prisen således 315 DKK/ha.

9.3.3 Sammenfatning af omkostninger ved udbringning af aske i skov

De ovenfor præsenterede omkostninger for udbringning af aske i skov er sammenfattet i Tabel 9.9.

	Svenske forsøg	Klosterheden Statsskovdistrikt	Thy Statsskovdistrikt
Transport	64 DKK/t	-	-
Udspremt med middelstor udkørselsmaskine	105-117 DKK/t	-	-
Udspremt med stor udkørselsmaskine	61 DKK/t	-	-
Udbringning med traktor og tallerkenspreder	-	125 DKK/t	105 DKK/t
Pelletering	87-94 DKK/t	-	-

Tabel 9.9. Priser for askehåndtering ved udspremt af 3 t aske pr. ha.

I Hurup og Græsted blev der i 2000 produceret henholdsvis 66 og 55 t tør aske. Hvis det antages, at 75% af asken er bundaske, vil det således koste i

omegningen af 5.000 DKK at udsprede asken i skoven for de to værker. Dertil kommer en transportomkostning på omtrent 3.000 DKK.

Som nævnt tidligere er det kun vurderet, hvordan mulighederne er for udbringning af bundasken fra værkerne. Denne aske har ifølge analyseresultaterne i afsnit 6.2 et kaliumindhold på ca. 7 % af det samlede asketørstof. Ud fra dette kaliumindhold kan omkostningerne ved udbringning beregnes i forhold til askens indhold af kalium, se Tabel 9.10.

	Svenske forsøg	Klosterheden Statsskovdistrikt	Thy Statsskovdistrikt
Transport	914 DKK/t K	-	-
Udspreddning med middelstor udkørselsmaskine	1500-1586 DKK/t K	-	-
Udspreddning med stor udkørselsmaskine	871 DKK/t K	-	-
Udbringning med traktor og tallerkenspreder	-	1786 DKK/t K	1500 DKK/t K
Pelletering	1243-1343 DKK/t K	-	-

Tabel 9.10. Priser for askehåndtering i forhold til askens indhold af kalium ved udspreddning af 3 t aske pr. ha.

9.3.4 Omkostninger ved udspreddning af aske - et regneeksempel

Udbringning af 500 kg handelsgødning, hvilket svarer til udspreddningen af 3-4 t aske, vil koste omkring 950 DKK i materialer og 300 DKK for udspreddningen eller 1.250 DKK i alt. En sådan udspreddning forventes imidlertid ikke af den forventede tilvækstforøgelse (Dralle og Larsen, 1993). Derfor foretages en sådan udbringning kun sjældent i dag, selvom udbringning af en balanceret gødning i mange tilfælde vil kunne lede til en ernæringsfysiologisk stabilisering af vore skovøkosystemer og forbedret træ sundhed (Saxe og Larsen, 1991; Dralle og Larsen, 1993).

Ønsker man i stedet at kompensere næringsstoffudtaget med en blanding af T2 aske og handelsgødning under de nuværende regler, skal der indkøbes 100 kg kalkammoniumsalmepeter for 100 DKK og 375 kg handelsgødning til en pris af 712 DKK. Dette spredes sammen med det ene t aske der pt. lovligt kan udspreddes til samme pris som den rene handelsgødning. Den samlede pris bliver således 1.112 DKK/ha, hvilket er 138 DKK mindre end udspreddning af den rene handelsgødning. Kan de to gødninger alene spredes separat, bliver den samlede omkostning 1.412 DKK/ha, hvilket er dyrere end den rene handelsgødning. Under alle omstændigheder kan forskellen mellem gødning med og uden aske formentlig ikke betale de ekstra omkostninger til transport og håndtering, der opstår som følge af at anvende flere forskellige gødninger. Således vil udspreddning af aske i skovbruget formentlig ikke ske under de nuværende betingelser – hvilket også ses af de få erfaringer, der findes på området i Danmark.

Er det imidlertid muligt at pelletere asken og at dokumentere den meget langsomme udvaskning af næringsstofferne, kunne man udspredd den maksimalt tilladelige mængde over 100 år af én gang. Her udspreddes 3-4 t aske sammen med 300 kg kalksalmepeter til 300 DKK. Såfremt de to gødninger kan spredes sammen, bliver den samlede omkostning 600 DKK/ha eller 900 DKK, hvis de to gødninger skal spredes separat. Dette efterlader 4-700 DKK til at betale for pelletering af aske i forhold til udbringning af handelsgødning ved den samme udbragte mængde af N, P og K. Regnestykket falder yderligere ud til askens fordel, når det medtages, at man fremtidigt formentlig

vil udelade udspreddning af kalksalpeter på grund af den store deposition af kvælstof, der sker i danske skovbevoksninger som en følge af det store husdyrhold i Danmark.

9.4 Sammenfatning om anvendelse af træaske i skoven

Som følge af at hovedparten af træernes næringsstoffer er indeholdt i nåle og bark, medfører udnyttelsen af hele træer til flis et forøget udtag af næringsstoffer. I visse tilfælde kan udtaget af næringsstoffer overstige den mængde, der tilføres bevoksningerne i form af deposition fra luften og forvitring af jordens mineraler. På baggrund af modelberegninger for en rødgranbevoksning 80 km fra kysten i 70-årig omdrift, hvor der flishugges fortørrede træer i de første to tyndinger, anslås udtaget af næringsstoffer ved hugst at være ca. 385 kg N/ha, 42 kg P/ha, 245 kg K/ha, 406 kg Ca/ha og 77 kg Mg/ha over en omdrift. Medtages derimod deposition og udvaskning sker der ifølge beregningen en netto deposition af kvælstof i bevoksningen, mens depositionen af magnesium modsvarer eksporten ved hugst og udvaskning. Det samlede kompensationsbehov er beregnet til 56 kg P/ha, 245 kg K/ha og 392 kg Ca/ha, men er behæftet med stor usikkerhed.

dk-TEKNIK har undersøgt forskellige fraktioner af aske fra Hurup og Græsted Varmeværker. Ud fra indholdet af tungmetaller vil det ikke være muligt at udsprede cyklonaske fra de to varmekærker, idet indholdet af cadmium er for stort (>15ppm) i forhold til Bioaskebekendtgørelsen. I øvrigt ses det, at også indholdet af nikkel, kviksølv og bly i cyklonasken fra Hurup er så stort, at dette udelukker muligheden for udspreddning. Bundasken fra de to varmekærker kan begge udspreddes, idet der i forhold til Bioaskebekendtgørelsen maksimalt kan udspreddes 1,0 t tørstof/ha/10 år af bundasken fra Hurup og 7,5 t tørstof/ha/10 år af bundasken fra Græsted. Kondensatslammet fra Græsted er uegnet til udspreddning grundet sit høje indhold af cadmium (84 mg/kg tørstof). Behovet for kompensation dækkes ved udspreddning af 3-5 t aske pr. ha over en omdrift. Sammenholdt med almindelige handelsgødninger har asken således en værdi på 250-270 DKK/t.

Erfaringerne fra svenske forsøg viste, at udspreddning af aske af miljømæssige og tekniske årsager alene bør ske med hærdet aske. Endvidere bør asken ikke være for våd, da den kan have tendens til at klumpe i spredeaggregatet, med driftsstop til følge. Danske erfaringer med ubehandlet aske viser, at asken, når den hærder sammen i større klumper, har tendens til at blokere indmadningstragten til spredningsenheden. Sammenfattende konkluderer den svenske undersøgelse, at spredning af aske bedst sker med granuleret eller pelleteret aske, selvom andre typer af aske også kan spredes. Asken bliver ved granulering lettere at sprede og får en mindre andel af små partikler, hvilket gavner arbejdsmiljøet. Endvidere frigiver granuleret aske næringsstofferne langsommere, hvilket mindsker miljøbelastningen og øger askens værdi som gødning, idet en større andel af næringsstofferne når at blive optaget i træerne. Resultaterne af det svenske forsøg og de danske erfaringer stemmer nogenlunde overens, således at man må forvente at udspreddning af aske i skov kan gøres til en samlet pris af mellem 100 og 125 DKK/t våd aske eksklusiv omkostninger til transport af asken fra varmekærket.

Sammenholdt med priserne på udspreddning og pelletering af aske udgør asken et billigt alternativ til handelsgødningen, samtidig med at udspreddningen sparer varmekærkerne for betydelige deponeringsafgifter. Dette forudsætter imidlertid, at den maksimalt tilladelige udspreddte mængde over 100 år (7,5 t)

kan udsprede af én gang, da omkostningerne ellers vil blive for store. En sådan udspredning forudsætter, at asken pelleteres, og at den langsomme udvaskning af næringsstofferne fra den pelleterede aske dokumenteres.

10 Separation af askefraktioner på biomasseværker

Hvis anlæggene i Danmark fremover skal kunne sende en større mængde aske til genanvendelse frem for til deponi, er det nødvendigt at kunne holde de forskellige askefraktioner adskilt. Som det er fremgået ovenfor har alle kraftvarmeværkerne anlæg til separat håndtering af askefraktionerne, mens fjernvarmeværker i dag blander askerne sammen på et eller andet tidspunkt i processen. På fjernvarmeværkerne er det derfor påkrævet med en mere eller mindre omfattende ombygning.

Hvilken grad af ombygning, der er nødvendig, varierer fra anlæg til anlæg. Omkostningerne til ombygning er herunder vurderet på baggrund af interviews med fem halm- og flisfyrede anlæg ud fra samtaler med driftslederne på anlæggene. De specifikke omkostninger er udregnet på baggrund af den samlede mængde aske, som det enkelte værk producerer.

10.1 Halmværker

Som det er beskrevet i afsnit 5 ovenfor, er der stor forskel på, hvordan halmasken håndteres på de enkelte halmfyrede fjernvarmeværker. Mens nogle anlæg er født med separat håndtering af askefraktionerne, blandes asken i andre anlæg sammen.

Sammenblandingen kan ske helt ude i askecontaineren, men ofte sker den inde i værket på et tidligt tidspunkt kort efter askefald, cyklon og filter. Hvis askerne føres separat ud af værket, vil det ofte være nemt at adskille askefraktionerne. Hvis fraktionerne sammenblandes tidligt, kan en større investering være påkrævet inden asken kan håndteres separat.

10.1.1 Høng

Høng Varmeværk har ikke behov for at separere askefraktionerne, da det er muligt at udbringe blandingsasken på mark. Hvis man får krav om at bygge om, forventer værket, at et system til separat håndtering af flyveasken i big bags at kunne installeres for en investering på omkring 100.000 kroner. Hertil kommer driftsudgifter til skift af big bag og håndtering af fraktionerne hver for sig på værket.

Anlægget producerer årligt ca. 550 t TS aske. Med en forventet flyveaskeandel på 15%, antages driftsudgifterne årligt at udgøre omkring 10.000 kroner. Under antagelse af, at investeringen kan nedskrives på anlæggets forventede tekniske levetid på 15 år, bliver de årlige omkostninger ved at skulle håndtere askefraktionerne separat ca. 17.000 kroner, svarende til 31 kroner/t TS aske.

10.1.2 Rødby

Som Høng afsætter Rødby Varmeværk i dag den samlede askemængde til halmleverandørerne og har derfor ikke behov for at separere. Man har dog overvejet muligheden og forventer, at en ombygning af systemet, så det automatisk kan håndtere flyveasken separat vil kæve en investering på omkring 300.000 kroner. Driftsomkostningerne forventes herved at blive beskedne.

Med en årlig produktion af ca. 350 t TS aske og en forventet nedskrivning af anlægget på 15 år, vil separat håndtering af flyveasken beløbe sig til omkring 57 kroner/t TS aske.

10.1.3 Rødby Havn

I forbindelse med en kapacitetsudvidelse fra 3,5 til 4,5 MW har Rødbyhavn Fjernvarme i 2000 gennemgået en større ombygning og herunder fået et nyt posefilter. Ombygningen inkluderede et nyt system til askehåndtering. Bund- og cyklonaske blandes sammen og føres til samme container, mens flyveasken håndteres helt separat i egen container. Situationen er dog sådan, at den samlede blandede aske hidtil har overholdt grænseværdierne for udspredding på mark, hvorfor askefraktionerne blandes sammen inden udspredding.

Omkostningerne til det nye askehåndteringssystem har alt i alt løbet op i omkring 350.000 kroner, hvilket ud over den egentlige asketransport med styring inkluderer en række dyre tiltag såsom ophugning af gulv til føring af transportører samt opbygning af en overdækket containerplads. Værket vurderer, at værker med passende pladsforhold vil kunne foretage ombygningen for 150 - 200.000 kroner. Systemet giver ikke anledning til væsentligt forøgede driftsomkostninger. Forudsat at investeringen nedskrives over 15 år og askemængden årligt ligger på omkring 350 t TS, vil omkostningerne til separat askehåndtering ligge på mellem og 30 og 70 kroner/t TS aske.

10.2 Træflisværker

Askehåndteringen på flisværkerne er lige så forskellig fra værk til værk som for halmanlæggene. Der er forskel på hvor omfattende en ombygning, der er påkrævet for, at værkerne kan håndtere askefraktionerne adskilt. Også pladsforholdene og dermed rummet for, hvilke løsningsmuligheder, der kan komme i betragtning, varierer fra værk til værk.

10.2.1 Hurup

Hurup Fjernvarmeværk er beliggende midt i Hurup og er, som det fremgår fotoet i afsnit 6.1.2 begrænset i fysisk udfoldelse på tre sider. Indendørs er pladsen meget godt udnyttet - der er ikke meget udenoms plads omkring kedelanlægget.

For i givet fald at skulle kunne håndtere asken separat, forestiller værket sig, at den eksisterende lange asketransportør skal dubleres, ligesom der skal opbygges et system med en lille askevogn og mulighed for omlæsning til en container til opsamling af flyveasken. Investeringen hertil forventes at være omkring 100.000 kroner. Der forventes på grund af de trange pladsforhold endvidere en vis driftsomkostning - anslået ½ time dagligt. Samlet forventes

en årlig omkostning på omkring 32.000 kroner, hvilket med en årlig askeproduktion på ca. 70 t tør aske svarer til en pris på omkring 460 kroner/t TS aske.

10.2.2 Græsted

I modsætning til Hurup ligger Græsted Varmeværk i et åbent industriområde med god plads udenfor værket såvel som indenfor i værket. Endvidere er anlægget teknisk set relativt nemt at ombygge til separat askehåndtering, idet sammenblandingen sker ret sent. Ombygningen vil kræve en ekstra container, der skal være rustfri, idet kondensatslammet forudsættes håndteret sammen med flyveasken. Den nye container kræver en udvidelse af det befæstede areal omkring værket. Hvis kondensatslammet ikke skal med i flyveasken, kan der alternativt anvendes big bags. Samlet forventes en investering på omkring 80.000 kroner at være påkrævet. Driftsomkostningerne til dette system vil være begrænsede. Med en forventet nedskrivning over 15 år og en årlig askeproduktion på omkring 40 t TS bliver de samlede omkostninger omkring 130 kroner/t TS aske.

10.3 Analyseomkostninger

Hvis asken fra biomasseværkerne skal udbringes, er det ifølge Bioaskebekendtgørelsen nødvendigt at foretage jævnlige analyser af askens indhold af tungmetaller m.m. Kravet er, at H2 og T2 asker skal analyseres hver 6. måned, mens H3 og T3 asker skal analyseres hver 12. måned. For anlæg mindre end 2 MW halveres analysehyppigheden.

Ifølge DFF har prisen for en analyse hidtil ligget på omkring 2.500-3.000 DKK. Priserne er dog faldet noget, således at de billigste analyser i slutningen af 2001 kostede 1.300 DKK. Dertil kommer lønomkostninger på fjernvarmeverket til prøveudtagning og administration, og dermed anslås en analyse samlet at koste ca. 3.000 DKK. Alle priser er eksklusiv moms.

De forskellige halmværker tørre askemængde ligger meget spredt mellem 50 og 1.000 t om året. Til en vurdering af analyseomkostninger pr. t regnes der med, at anlæg under 2 MW gennemsnitligt producerer ca. 100 t om året, mens anlæg over 2 MW producerer 300-400 t.

For flisværkerne regnes der med, at den tørre askemængde for anlæg under 2 MW ligger på omtrent 10 t om året, mens anlæg over 2 MW gennemsnitligt producerer 40-50 t aske årligt.

Nedenstående tabel viser omkostningerne ved analyser, når det antages, at hele askemængden udbringes som blandingsaske.

Priser i DKK/t TS	Anlæg under 2 MW	Anlæg over 2 MW
H2 aske	30	15-20
H3 aske	15	8-10
T2 aske	300	120-150
T3 aske	150	60-75

Tabel 10.1. Årlige analyseomkostninger for forskellige asketyper og værkstørrelser.

De specifikke omkostninger til analyser er således meget høje for de træfyrede værker, mens de for de halmfyrede værker ligger på et lavere niveau.

Analyseomkostningerne er for de træfyrede værker en af de barrierer, der hindrer genanvendelse af asken.

10.4 Sammenfatning om askeseperation på biomasseværker

Den lille undersøgelse af omkostninger forbundet med separation af askefraktionerne viser klart, at der er meget stor forskel på forholdene på de forskellige værker - især indenfor flisværkerne. Mens halmværkerne arbejder med omkostninger i et rimeligt niveau på mellem 30 og 70 kroner pr. t aske tørstof, ligger omkostningerne for flisværkerne måske op til 10 gange højere. Det viser sig dog - med Græsted Varmeværk som eksempel - at omkostningerne til separation for nogle flisværker kan forventes at ligge på et overkommeligt niveau. Separation på flisværker kan derfor muligvis blive aktuelt, hvis det eksempelvis kunne betyde, at bundasken kan udbringes direkte uden omkostninger til bl.a. analyser. Der kan kun gives et meget overordnet generelt billede af omkostningerne, og mulighederne vil skulle vurderes for hvert enkelt værk, hvis billedet skal blive helt.

11 Mulighed for samarbejde mellem store og små værker

Som led i projektet er der udført en vurdering af samarbejdsmulighederne mellem store og mindre halmfyrede værker med henblik på at forøge nyttiggørelsen af forskellige bioaskefraktioner.

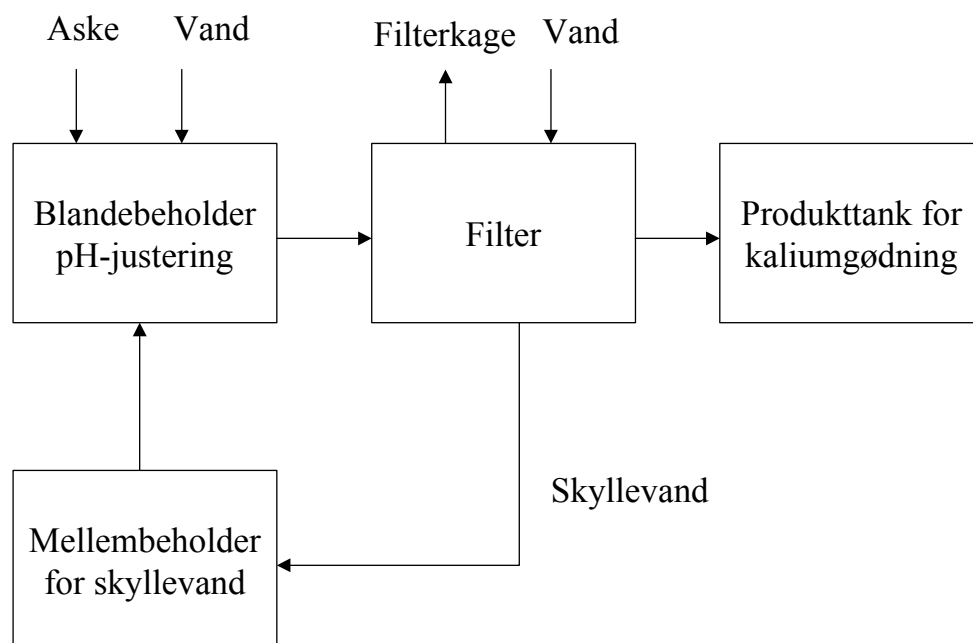
Der tænkes i denne sammenhæng især på separat udtag af bundaske og flyveaske efterfulgt af udvinding af flydende kaliumgødning fra flyveasken. Denne proces er afprøvet på Enstedværket med positivt resultat. Herunder gives en kort redegørelse for de udførte laboratorie- og fuldskalaforsøg på Enstedværket og på basis heraf vurderes mulighederne for samarbejde mellem store og mindre værker.

11.1 Status for laboratorie- og fuldskal aforsøg på Enstedværket

Flyveaske fra halmfyrede kedler er karakteriseret ved et højt indhold af gødningsstoffet kalium i form af kaliumklorid og kaliumsulfat. Samtidigt har halmflyveaske et højt indhold af tungmetallet cadmium, hvilket indebærer, at udskilt flyveaske ikke direkte kan udsprede på landbrugsjord. På nogle halmfyrede kraftvarmeværker bliver en vis andel af asken udspremt via tilbageblanding i bundasken, men herudover må asken deponeres med tab af værdifuld gødning til følge, samt omkostninger til deponering.

På denne baggrund har Elsam med PSO-støtte gennemført et udviklingsprojekt med henblik på etablering af en proces til udvinding af flydende kaliumgødning fra flyveasken. Princippet for processen er meget enkelt, som illustreret i Figur 11.1.

Aske og vand tilføres en blandebeholder med omrøring, således at kalium bringes på opløst form. For at minimere opløsning af tungmetaller i gødningsvæsken foretages samtidigt en pH-justering. Opslemningen føres til et to-trinsfilter. I første trin separeres kaliumgødningen fra remansen, der består af de uopløselige askebestanddele. Gødningsproduktet føres til en produkttank og er herefter klar til nyttiggørelse. For at sikre maksimalt kaliumudbytte skylles filterkagen i filterets andet trin med råvand. Det kaliumholdige skyllevand føres til en mellembeholder, hvorfra det recirkuleres til blandebeholderen.



Figur 11.1. Processkema for udvinding af flydende kaliumgødning fra halmflyveaske.

Indledningsvis blev der på Enstedværkets laboratorium udført en række laboratorieforsøg med det formål at fastlægge optimale blandingsforhold med hensyn til kaliumudbytte og optimal pH-værdi for tilbageholdelse af tungmetaller.

Blandingsforholdet mellem aske og vand blev varieret mellem 1:20 og 1:1,5. I hele dette blandingsområde opnås en fuldstændig opløsning af askens indhold af kaliumklorid. Derimod ses et faldende udbytte af kaliumsulfat ved stigende faststof/væske-forhold, hvilket kan tilskrives opløselighedsbegrænsninger for kaliumsulfat. Laboratorieforsøgene viste endvidere at justering af pH-værdien til omkring 9 kan sikre minimal opløsning af tungmetaller i gødningsvæsken. En økonomisk evaluering viste, at det optimale forhold mellem flyveaske og vand er omkring 1:2.

På grundlag af de positive laboratorieresultater blev der medio 2000 etableret et forsøgsanlæg, hvor der kan udføres fuldskalaforsøg med udvinding af flydende gødning fra bioflyveaske. Anlægget er placeret på Enstedværket i tilknytning til den halm- og flisfyrede biokedel. Forsøgsanlægget omfatter blandetank med vejecelle, Larox trykfilter og opsamlingstanke til filtrat og skyllevand.

Flyveasken opslemmes i vand i en lukket blandebeholder med omrører. Blandebeholderen står på vejeceller. Opblanding foregår ved først at afveje den ønskede mængde vand for derefter at dosere flyveaskemængden til det ønskede blandingsforhold. Efter opblanding indstilles slurryens pH til mellem 9 og 10 med NaOH/HCl. Slurrien pumpes til trykfilteret, hvis arbejdsproces består af følgende trin: Filtrering, membranpresning, kageskylling, membranpresning, lufttørring og tømning. Filtrets optimale driftsforhold er fastlagt ved laboratorieforsøg med opslemmet bioflyveaske hos Larox. Filterkagen falder ned i en dertil indrettet container. Filtrat og skyllevand ledes til hver sin rustfrie ståltank.

Der er udført forsøg med flyveaske fra fem forskellige aske big-bags fra Enstedværkets biokedel. Alle forsøg er udført med et forhold mellem aske og

vand på 1:2. Forsøg er udført med og uden pH-justering og med og uden recirkulation af skyllevand. Analyseomfanget omfatter pH, ledningsevne, densitet, klor, svovl, kalium og fosfor samt tungmetaller. Produktmængder er afvejet med henblik på opstilling af massestrømsfordeling.

Koncentrationen af kalium i filtraterne varierer fra 92 kg/m³ til 130 kg/m³. Dette forholdsvis store variationsområde må tilskrives forskelle i de tre anvendte flyveaskers kemiske sammensætning – herunder specielt indholdet af KCl og K₂SO₄. Som i laboratorieforsøgene kan der konstateres en reduceret opløselighed af sulfat ved forøget indhold af kalium i filtratet. Dette medfører at recirkulation af skyllevand vil medføre et lidt lavere kaliumudbytte.

I praksis vil anvendelse af et fast aske/vand-forhold indebære varierende kaliumkoncentration i gødningsvæsken. Et konstant kaliumniveau kan sikres ved at styre blandingsforholdet efter en ledningsevнемåling, da der observeres en entydig korrelation mellem kaliumkoncentration og ledningsevne.

Faststoffremansen er målt til at udgøre mellem 34 og 43% af askemængden på tørstofbasis. Fugtindholdet udgør omkring 20%, således at der kan regnes med en fugtig filterkagemængde til deponering på omkring 50% af askemængden.

For kobber, kviksølv, nikkel, bly og zink opløses mindre end 1% af indholdet i asken i filtratet. Opløseligheden af cadmium og chrom er højere og mere afhængig af pH-værdien. Optimal pH-værdi er i området 9,5-10, hvor maksimalt 5% af askens indhold af disse tungmetaller overføres til gødningsvæsken. Dette må anses for at være miljømæssigt acceptabelt.

Det kan på basis af de udførte forsøg konkluderes, at resultaterne fra laboratorieforsøgene er blevet bekræftet, at anlægget mekanisk fungerer tilfredsstillende, at skylning og afvanding af filterkagen er effektiv, at der kan fremstilles et gødningsprodukt med 10% kalium og minimalt indhold af tungmetaller, at kaliumudbyttet udgør omkring 75% og at filterkagemængden til deponering udgør omkring 50% af flyveaskemængden.

Der er således skabt et teknisk grundlag for etablering af et anlæg til kontinuerlig drift. Som grundlag for en eventuel beslutning herom er der foretaget undersøgelser af mulighederne for at afsætte produktet til gødningsindustrien. Undersøgelsen har givet positivt resultat for såvel de tekniske som økonomiske aspekter af denne løsning. En anden mulighed kan være afsætning direkte til landmænd med henblik på tilblanding i svinegyfle, hvor der er underskud af kalium.

11.2 Vurdering af samarbejdsmuligheder mellem små og store værker

Ved etablering af et askebehandlingsanlæg for halmflyveaske på et af de større halmfyrede værker vil det være muligt at aftage udskilt flyveaske fra mindre værker, enten ved at udnytte en eventuel overskudskapacitet eller ved en udbygning.

Halmforbruget på halmfyrede fjernvarmeværker udgør som omtalt tidligere i afsnit 4 omkring 250.000 t på årsbasis, hvilket giver anledning til en flyveaskemængde på i størrelsesordenen 2.000 t om året. I Tabel 11.1 er der opstillet et groft skøn over driftsbudgettet for behandling af 1.000 t halmflyveaske på årsbasis.

Salg af gødningsprodukt (265 t K á 1,5 DKK/kg K)	+397.500 DKK
Transport af gødningsprodukt (2650 t á 100 DKK/t)	-265.000 DKK
Deponering af filterkage (500 t á 750 DKK/t)	-375.000 DKK
Drift & vedligeholdelse	-150.000 DKK
I alt	-392.500 DKK
Behandlingspris for flyveaske	392 DKK/t

Tablet 11.1. Driftsbudget for central behandling af 1.000 t halmflyveaske på årsbasis.

Driftsudgifterne svarer til en behandlingspris for asken på knap 400 DKK/t. Hertil skal lægges transport af asken til behandlingsanlægget samt forrentning af anlægsomkostningerne, i alt i størrelsesordenen 250 DKK/t. For et fjernvarmeverk vil de samlede omkostninger til bortskaffelse af halmflyveasken via et behandlingsanlæg således udgøre i størrelsesordenen 650 DKK/t. Ved et årligt halmforbrug på 10.000 t svarer dette til en årlig udgift på omkring 60.000 DKK. Behandlingsudgifterne er således af en betragtelig størrelse, men dog noget lavere end omkostningerne til deponering af den tilsvarende mængde aske.

Det må derfor konkluderes, at muligheden for at få behandlet asken ikke giver de halmfyrede varmeverker noget afgørende incitament til separation af bundaske og flyveaske. For værker, der kan udbringe blandet bundaske og flyveaske, vil dette fortsat være den billigste løsning, og besparelsen ved en eventuel fritagelse for analyse af bundaske ved separation er ikke tilstrækkeligt stor til at ændre dette. For værker, der i forvejen separerer bundaske og flyveaske med henblik på deponering af flyveaske, vil det være økonomisk attraktivt at få oparbejdet asken til flydende gødning.

Gennem projektet er andre muligheder for at gennemføre vask af aske og håndtering af produkterne løseligt blevet diskuteret. I stedet for at transportere asken til et centralt anlæg, kunne askevasken foregå decentralt på fjernvarmeverkerne. Med en kammerfilterpresse som benyttet i den ovennævnte proces, bliver askevask imidlertid for investeringstung. Bruges i stedet et båndfilter, kan investeringen holdes nede. Prisen er et højere vandindhold i remanensen, som dog kunne tørres noget ned med overskudsvarme, der ofte er til stede på værkerne. En decentral askevask vil muligvis ikke kunne overholde kvalitetskrav for leverance til gødningsindustrien. Men gødningsproduktet vil givetvis være tilstrækkelig ensartet til lokal distribution og opblanding med svinegylle.

12 Scenario for genanvendelse af biomasseaske

I de foregående afsnit er der blevet foretaget vurderinger af forskellige dele af processen ved håndtering og udbringning af asken fra biomasseværker. I Tabel 12.1 ses en opsummering af samtlige de økonomiske vurderinger.

Priser i DKK/t	Halmaske	Træaske
Deponi inkl. transport	700-900	700-900
Omkostninger til separation af askefraktioner	30-70	130-460
Analyseomkostninger	10-30	60-300
Udbringning på mark/skov ekskl. transport	H2: 105-115 H3: 20-60	60-125
Transport til mark/skov	ej vurderet	64
Pelletering	-	87-94
Behandling af flyveaske inkl. transport	650	-

Tabel 12.1. Økonomiske vurderinger af forskellige anvendelsesmuligheder for biomasseaske.

Ud fra de økonomiske vurderinger kan det ses, at der er en betydelig økonomisk fordel i at udbringe halmaske på marken. Økonomien ved udbringning af træaske er mere problematisk, hvis der samtidig skal investeres i et askeseperationssystem på værket. Flyveasken vil sjældent kunne udbringes alene, da indholdet af tungmetaller er så højt, at det enten ikke er tilladt at udbringe den, eller at der kun kan udbringes så små mængder, at udbringningsomkostningerne bliver for store.

Der er en betydelig forskel på, hvordan mulighederne for genanvendelse af asken er på kort og langt sigt, og der vil derfor i det følgende blive opredet nogle tænkelige udviklingsforløb for henholdsvis halmfyrede og træfyrede værker på kort og langt sigt. Med det korte sigt menes den helt nære fremtid, hvor man ikke kan forvente, at der er nybygget værker med født askeseperationssystem, men hvor nogle værker separerer i askefraktioner, og der kan være etableret et centralt oparbejdningssystem til flyveaske. Det lange sigt er så lang en tidshorizont, at alle værkerne vil være udskiftet eller have gennemgået en så stor ombygning, at askeseperationssystemer vil være naturligt etableret på anlæggene.

12.1 Scenario for halmfyrede værker

Bundaske fra halmværker vil stort set altid være i kategori H2 og oftest i H3, mens blandingsaske oftest, men ikke altid, vil kunne klare kravene til kategori H2. Man kunne derfor forestille sig, at man tilladte udbringning af bundaske i kategori H2 uden krav om analyse, mens der blev stillet krav til repræsentative analyser ved udbringning af bundaske i kategori H3 eller blandingsaske i kategori H2. Da den nuværende prøvetagningsprocedure for værkerne giver analyseresultater med betydelig usikkerhed, må det formodes, at der i dag er en række værker, som udbringer aske, der ikke opfylder Bioaskebekendtgørelsens krav. Derfor kan et skarpere analysekrav betyde, at genanvendelsen af biomasseasken nedsættes på kort sigt. Kvaliteten af

genanvendelsen forbedres, idet risikoen for at der udbringes aske med et for højt indhold af tungmetal nedsættes.

På kort sigt ser det derfor ud til, at et muligt bud på en udvikling vil være, at alle halmværker, der kan separere askefraktionerne, bringer bundasken ud på marken, mens flyveasken sendes til behandling på et centralt anlæg. De værker, som ikke kan separere (af praktiske eller økonomiske årsager), har to muligheder. Enten må de deponere asken, eller de må få gennemført repræsentative analyser af asken, og hvis askekvaliteten er i orden, kan den udbringes.

Det er i spørgeskemaundersøgelsen for fjernvarmeværkerne ikke blevet kortlagt præcis, hvor mange af værkerne der allerede har etableret eller har mulighed for etablering af askeseparationsanlæg. De økonomiske undersøgelser har dog indikeret, at det for halmværkerne er relativt billigt at etablere askeseparation. Det vurderes derfor, at man på relativt kort sigt vil kunne få etableret separation på 75 % af anlæggene.

På de halmfyrede fjernvarmeværker produceres i dag 13.400 t aske om året, og heraf vil altså ca. 10.000 t aske kunne separeres på kort sigt, mens ca. 3.400 t fortsat vil være blandingsaske. Med en flyveaskeandel på 25% giver dette ca. 3.400 t blandingsaske, 7.500 t bundaske og 2.500 t flyveaske. Hvis halvdelen af blandingsasken kan udbringes, og 90% af resten kan genanvendes, vil det fortsat være nødvendigt at deponere 2.700 t fra de halmfyrede fjernvarmeværker. Ved etablering af anlæg til oparbejdning af flyveaske må det forventes, at hele askemængden fra de større halmfyrede, kraftvarmeværker vil kunne genanvendes inden for en kort tidshorisont.

På længere sigt forventes det, at alle værker vil have et system til separation af askefraktionerne. Dermed vil det kunne forventes, at al bundaske vil blive udbragt, mens flyveaksen vil blive oparbejdet på centrale behandlingsanlæg.

12.2 Scenario for træfyrede værker

På kort sigt virker det ikke realistisk, at de træfyrede værker vil kunne genanvende asken. Indholdet af cadmium i blandingsaske betyder, at asken typisk vil være i kategori T1, og det er derfor ikke interessant at udbringe denne. Desuden er askemængderne for små til, at der kan være en økonomisk fordel i at investere i systemer til askeseparation.

Hvis fremtidige anlæg fra starten bygges med askeseparationssystemer, ser det dog ud til, at det kan være en fordel at bringe asken ud i skoven. Man må derfor forvente, at man på langt sigt vil anvende bundasken i skoven, mens flyveasken må deponeres eller oparbejdes til gødningsformål. Dette forudsætter, at bundasken pelleteres og udbringes samlet for en periode på 100 år.

12.3 Prognose for fremtidige askemængder

Opgørelsen af de anvendte brændselsmængder på de kollektive forsyningsanlæg viser, at der i dag (2000 tal) anvendes ca. 4 PJ biomasse på de store, halmfyrede kraftvarmeværker, ca. 9 PJ på fjernvarmeværkerne og omtrent 2 PJ på de industrielle kraftvarmeværker. Hertil kommer anvendelsen af ca. 19 PJ biomasse på de mindre, individuelle anlæg.

I Energi 21's planlægningsforløb for den danske energiforsyning regnes der med, at biomasseanvendelsen frem til 2005 øges til 50 PJ, hvoraf ca. halvdelen er halm og halvdelen er træ. Stigningen i biomasseanvendelse i perioden fra 2005 til 2030 antages i Energi 21 at ske alene ved indførelse af energiafgrøder i energiforsyningen. Fra 2005 til 2030 forventes anvendelsen af energiafgrøder øget jævnt fra 0 PJ til 50 PJ, således at den samlede, årlige biomasseanvendelse (ekskl. biogas og affald) bliver ca. 100 PJ i 2030.

Der forventes således en betydelig forøgelse af biomasseanvendelsen i de kommende år. Askeproduktionen forventes at øges tilsvarende. Energi 21 indeholder dog ingen nærmere specifikationer på, hvor i energiforsyningen biomassen forventes anvendt, og det er derfor svært at vurdere hvor stor en andel af askeproduktionen, som har potentiale for genanvendelse.

Ifølge Energistyrelsens seneste fremskrivning af det danske energiforbrug (Energistyrelsen, 2001 (2)) vil der ske følgende forøgelse af biomasseanvendelsen i perioden 1999-2012:

- 150.000 t halm (ca. 2,2 PJ) og 300.000 t træpiller (ca. 5,3 PJ) anvendes fra 2002 på Avedøreværkets blok 2
- 200.000 t træflis (ca. 2,1 PJ) anvendes fra 2003 på Herningværket
- 100.000 t halm (ca. 1,5 PJ) anvendes fra 2004 til tilsatsfyring på Studstrupværkets blok 4
- 150.000 t halmpiller (ca. 2,2 PJ) anvendes fra 2004 til tilsatsfyring på Amagerværket. (Energistyrelsen (2001 (2)) regner med, at der skal anvendes 100.000 t halm fra 2004 til tilsatsfyring på Avedøreværkets blok 1, men Energi E2 har efterfølgende ændret planerne).
- Halmfyret kraftvarme stiger med 1,75 PJ (ca. 120.000 t)
- Træfyret kraftvarme stiger med 1,75 PJ (ca. 170.000 t)
- Halmfyret fjernvarme stiger med 1,7 PJ (ca. 120.000 t)
- Træflisfyret fjernvarme stiger med 1,7 PJ (ca. 160.000 t)

Samlet betyder de forskellige tiltag, at biomasseanvendelsen på de større, kollektive anlæg forventes at stige med ca. 20 PJ frem til 2012. Den øgede anvendelse fordeles på 390.000 t halm, 300.000 t træpiller og 530.000 t træflis samt 250.000 t halm til samfyring. Asken fra Amagerværket og Studstrupværket vil ikke kunne udbringes på markerne, da der samfyres med kul, men de resterende askemængder vil kunne anvendes. Der er således i runde tal tale om følgende forøgelse af de nuværende askemængder:

- 20.000 t halmaske/år
- 7.000 t træaske/år

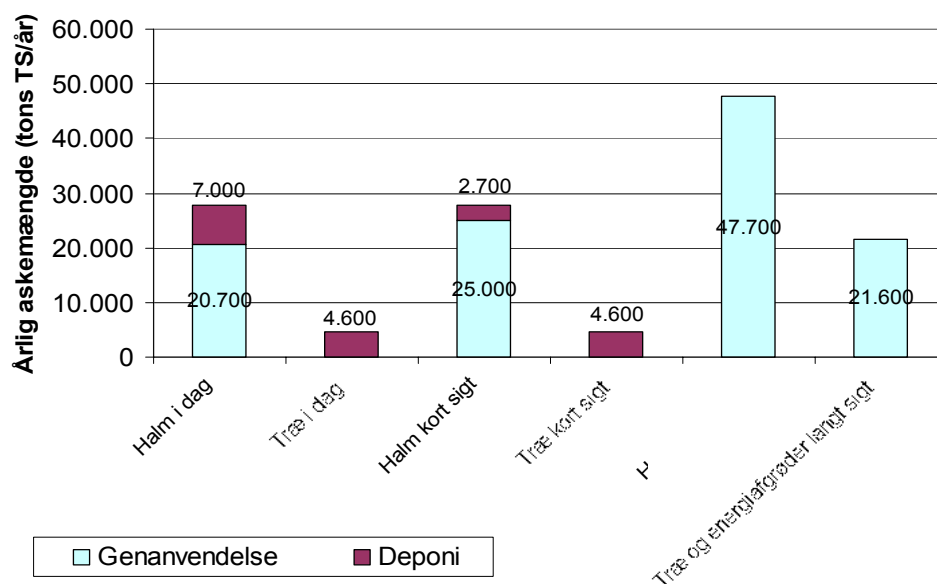
Frem til 2012 vil der således ske omtrent en fordobling af halmaskemængderne fra de større, kollektive anlæg, mens mængden af træaske mere end fordobles. Hvor store askemængder, der vil blive produceret herefter, afhænger af flere forhold:

- fastholdes målsætningen om biomasse mængder fra Energi 21 (100 PJ i 2030)?
- hvor stor en andel af biomassen vil blive anvendt i større, kollektive anlæg?
- hvilken type biomasse vil der blive udbygget med efter 2012?
- hvor stor en andel af samfyring med kul vil der ske på de større værker?

Det er derfor temmelig usikkert, hvordan produktionen af biomasseaske vil udvikle sig efter 2012. Men hvis fordelingen mellem kollektive og individuelle anlæg ikke ændres, og målsætningen fastholdes, vil der frem til 2030 skulle anvendes yderligere 10 PJ biomasse på de større, kollektive anlæg. Under forudsætning af, at dette bliver energifgrøder eller eventuelt importeret træ med en brændværdi på 10 GJ/t og et askeindhold på ca. 1 %, vil askemængderne frem til år 2030 yderligere forøges med 10.000 t. Således vil der fra de større, kollektive anlæg i alt være i størrelsesordenen 70.000 t aske, som potentielt kan genanvendes i landbrug eller skovbrug i 2030.

12.4 Konsekvenser for askehåndteringen

De ovenfor beskrevne scenarier for udviklingen på kort og langt sigt vil betyde en ændret genanvendelse af asken fra de biomassefyrede værker, se Figur 12.1.



Figur 12.1. Askemængder og -håndtering i de to scenarier.

Med "Udviklingen på kort sigt" menes ændringen i askeanvendelsen over de næste få år. Tidshorisonten er så kort, at der ikke er indregnet nye askemængder. Med det lange sigt ses på en udvikling frem til afslutningen af Energi 21's planlægningsforløb i 2030. Der er her regnet med, at hele askemængden vil blive genanvendt på lagt sigt.

13 Konklusion og anbefalinger

Dette projekt er den hidtil mest omfattende samling af viden om aske fra danske biomassefyrringsanlæg. Projektet omfatter indsamling af data og oplysninger om asken fra alle biobrændselsanlæg i landet samt en række vurderinger af forhold omkring produktion og genanvendelse af bioasker. De følgende konklusioner og anbefalinger er udarbejdet på baggrund af denne genererede viden.

Askemængder og anvendelse

I projektet opregnes den samlede askemængde i år 2000 for alle, større danske biomasseanlæg. Projektet omfatter en detaljeret undersøgelse af hvorledes værkerne håndterer og genanvender eller bortskaffer bund- og flyveasken. Som en følge af projektets detaljerede kontakt til danske biomasseanlæg, har det været muligt at sammensætte følgende oversigt over den samlede askemængde og -anvendelse anlæggene.

2000 Aske i t TS/år	Total askeproduktion	Udbringes på mark/skov	Deponeres
Halmfyrede fjernvarmeværker	13.440	10.750	2.690
Træflisfyrede fjernvarmeværker	2.570	0	2.570
Træpillefyrede fjernvarmeværker	560	0	560
Store, halmfyrede kraftvarmeværker	14.230	9.930	4.300
Industrielle kraftvarmeværker	1.500	0	1.500
I alt	32.300	20.680	11.620

Der er ikke tidligere lavet en systematisk undersøgelse af, hvor meget biomasseaske der produceres på danske anlæg. Den almindelige antagelse har dog været, at askeproduktionen lå på omkring 20.000 t/år for de kollektive forsyningsanlæg. Opgørelsen her viser, at mængden er mere end 50% større en hidtil antaget.

Blokvarmecentraler og individuelle kedler og brændeovne producerer omtrent 23.000 t aske årligt. Sammen med de adspurgte værker repræsenterer dette en komplet beskrivelse af produktionen af biomasseaske i Danmark. Der eksisterer ingen andre betydelige askeproducenter, som benytter sig af omsætning af ren biomasse. Den totale produktion af tør biomasseaske i Danmark årligt er opgjort til ca. 55.000 t.

Udbringningen af bioasker gennemføres på grundlag af løbende kemiske analyser af værkernes aske. Analysekravene til bioasker defineres af Bioaskebekendtgørelsen og er periodiske. De fleste værker blander de forskellige askefraktioner i samme container, hvilket i praksis gør det svært at udtage en repræsentativ askeprøve. Udbringningen kan derfor ske på et usikkert grundlag, og det er opfattelsen, at prøvetagningsproceduren bør forbedres. En mulighed, der kan gennemføres på de fleste værker, kunne være at udtage askerne separat og blande dem sammen i et forhold fastsat på baggrund af forsøg på det enkelte værk eller standardiserede nøgletal.

Askeanalyser

Som en del af projektet er der fra to halmfyrede og to træflisfyrede fjernvarmeværker rundt i landet udtaget prøver af alle askefraktioner over en

periode. Askerne er analyseret for indhold af næringsstoffer og miljøfremmede stoffer, og analyseresultaterne efterfølgende sammenlignet med øvrige kendte analyseværdier og vurderet i relation til Bioaskebekendtgørelsen og næringsværdi. Det konkluderes, at de indsamlede asker er repræsentative for henholdsvis halm- og træasker fra fjernvarmeværker.

For halmaskerne kan det konkluderes, at for de flygtige komponenter chlorid, kalium, cadmium, bly og kviksølv sker en betydelig opkoncentrering ”i røggasretningen”: bundaske -> cyklonaske -> filteraske. I relation til Bioaskebekendtgørelsen kan det konkluderes, at bundasken fra de to halmværker tilhører askekategori H3, hvilket dog erfaringsmæssigt ikke kan siges at gælde generelt. De analyserede cyklonasker falder i kategori H1, hvorfor de kun kan spredes på marker i begrænset omfang, mens filterasken vil skulle deponeres. Blandes askefraktionerne sammen, vil de kunne spredes efter kategori H3 hhv. H2 for de to værker. Analyserne viser endvidere, at 50% af den samlede mængde kalium samt over 90% af den samlede mængde fosfor i halmaskerne findes i bundaskefraktionen.

For flisaskerne kan det ligeledes konkluderes, at der sker en betydelig opkoncentrering af de flygtige komponenter chlorid, cadmium, bly og kviksølv i cyklonaskerne i forhold til bundaskerne. I relation til Bioaskebekendtgørelsen konkluderes det, at bundasken fra de to flisværker tilhører askekategori T2 hhv. T3. Bundaskerne bekræfter således de foreliggende erfaringer: Bundasker fra de træflisfyrede anlæg vil generelt kunne overholde Bioaskebekendtgørelsens grænseværdier - men ikke alle bundasker vil kunne overholde cadmiumkravet for kategori T3. Cyklonaskerne for begge værker overskrider grænseværdien for cadmium og kan ikke spredes. Blandingsasken må forventes ligeledes at overskride grænseværdien for cadmium. Analyserne viser, at der ikke er stor forskel på indholdet af kalium i bundaske og cyklonaske fra flisværkerne, samt at størstedelen af den samlede mængde fosfor findes i bundasken.

De indsamlede asker er analyseret for PAH. Bundaskerne har generelt et lavt PAH-indhold, og for de laveste indhold udgøres indholdet stort set kun af lette PAH'er. Indholdet af PAH er stigende i ”røggasretningen” bundaske -> cyklonaske -> filteraske/kondensatslam. Dette forhold gælder derimod ikke for indholdet af bortglødeligt, da indholdet heraf i filteraskerne fra de to halmværker er betydeligt lavere end i cyklonaskerne. Der er således ingen umiddelbar sammenhæng mellem indholdet af PAH og indholdet af bortglødeligt i askerne.

Analysen og vurderingerne af askerne viser for de halmfyrede fjernvarmeværker, at hvis filterasken udtages separat, vil det formodentlig være forsvarligt at udsprede blanding af cyklon- og bundaske efter H2 uden periodiske analyser. Filterasken vil skulle deponeres eller oparbejdes. For flisfyrede fjernvarmeværker ses tilsvarende, at bundaske formodentlig vil kunne spredes efter T2 uden krav om periodiske analyser, mens flyveasken og evt. kondensatvand og -slam ville skulle deponeres eller oparbejdes.

Med baggrund i disse vurderinger er det altså værd at overveje, om kravene til periodiske analyser for visse aske kategorier kan lempes med henblik på at øge genanvendelsen af askernes næringsstoffer.

Til perspektivering af konklusionen for fjernvarmeværkerne skal det bemærkes, at for de store halmfyrede kraftvarmeværker kan bundasken

spredes i overensstemmelse med kategori H2 og i visse tilfælde H3. Blandingsasker vil i nogle tilfælde kunne spredes efter H2, men i andre kun efter H1. Der arbejdes derfor på flere værker med delvis tilbageblanding af flyveasken i bundasken.

Cadmium- og næringsstofmængder

På baggrund af den indsamlede viden konkluderer projektet følgende om transporten af næringsstoffer og cadmium fra biomasseasker i Danmark i 2000:

2000	Halmaske	Træaske	I alt
Udbragt mængde kalium (t/år)	2.792	0	2.792
Deponeret mængde kalium (t/år)	1.333	320	1.653
Udbragt mængde fosfor (t/år)	195	0	195
Deponeret mængde fosfor (t/år)	63	92	155
Udbragt mængde cadmium (kg/år)	29	0	29
Deponeret mængde cadmium (kg/år)	26	46	72

Bioaskebekendtgørelsen bevirker altså, at en stor del af den cadmium, der optræder med biomasseasker bliver deponeret. Det ses også, at der stadig er ret store mængder næringsstof, der vil kunne udnyttes til dyrkningsformål.

Genanvendelse af bioasker

Projektet omfatter en vurdering af gødningsværdien af halm- og træaskerne samt en vurdering af omkostninger ved at udbringe asker på marker og i skove. Vurderingerne tager udgangspunkt i de i projektet indsamlede asker.

For halmasken gælder, at hvis asken håndteres usepareret, karakteriseres asken som H2 og kan ved udspredding ikke dække afgrødernes kaliumbehov, men der sikres mulighed for en god udnyttelse af kalium og andre næringsstoffer i asken. Udspreddes alene bundasken, kan den spredes i en mængde, der kan dække afgrødernes behov for kalium. Anvendes cyklon- og filteraske ikke på landbrugsjorden vil ca. halvdelen af kaliummængden og halvdelen af cadmiumindholdet ikke blive tilbageført til landbrugsjorden. Bundaskens indhold af cadmium er lavt i forhold til grænseværdierne.

Omkostninger ved udbringning af halmasker opgøres i projektet i forhold til askens kaliumindhold:

Udbringningsmetode	H1	H2	H3
Kalkspreder	-	618 – 676 DKK/t K	272 – 527 DKK/t K
Staldgødnings- eller slamspreder	-	-	182 – 355 DKK/t K
Opblanding med gylle og udbringning med gyllevogn	75 – 125 DKK/t K	-	-

For flisasker gælder, at det under ingen omstændigheder forventes at være muligt at udbringe blandingsasker i skoven. Indholdet af cadmium giver i henhold til Bioaskebekendtgørelsen ikke mulighed for, at man kan sprede asken i en mængde, så det praktisk og økonomisk kan lade sig gøre. Omkostningerne i forbindelse med spredning af 3 t aske pr. hektar fremgår af følgende:

	Svenske forsøg	Klosterheden Statsskovdistrikt	Thy Statsskovdistrikt
Transport	914 DKK/t K	-	-
Udspreddning med middelstor udkørselsmaskine	1500-1586 DKK/t K	-	-
Udspreddning med stor udkørselsmaskine	871 DKK/t K	-	-
Udbringning med traktor og tallerkenspreder	-	1786 DKK/t K	1500 DKK/t K
Pelletering	1243-1343 DKK/t K	-	-

Bundasken fra flisværker vurderes at have en gødningsværdi på omkring 270 kroner/t TS. Sammenholdt med de vurderede priser på udspreddning og pelletering af aske udgør asken et billigt alternativ til handelsgødningen, samtidig med at udspreddningen sparer varmegærkerne for betydelige deponeringsafgifter. Dette forudsætter imidlertid, at den maksimalt tilladelige udspreddte mængde over 100 år (7,5 t) kan udspreddes af én gang, da omkostningerne ellers vil blive for store. En sådan udspreddning forudsætter, at asken pelleteres, og at den langsomme udvaskning af næringsstofferne fra den pelleterede aske dokumenteres.

Maskineri til pelletering af aske er omkostningstungt. Et mobilt anlæg kunne evt. anskaffes af flere værker i fællesskab og bringes rundt til værkerne efter tur.

Omkostninger ved askeseparation og askeanalyse

Projektet viser, at en mere optimal udnyttelse af næringsstofferne i askerne kan opnås ved at håndtere askefraktionerne separat. Mens de store kraftvarmegærker allerede kan håndtere asken separat, forudsætter det på fjernvarmegærkerne i de fleste tilfælde en vis ombygning. Projektet har vurderet omkostningerne til denne ombygning på eksisterende værker. Omkostningerne er meget forskellige fra værk til værk, især for flisværkerne, og mulighederne vil skulle vurderes for hvert enkelt værk, hvis billedet skal blive fuldstændigt.

Det kan konkluderes, at mens omkostningerne for halmværkerne ligger i et rimeligt niveau på mellem 30 og 70 kroner pr. t aske tørstof, ligger omkostningerne for flisværkerne op til 10 gange højere. Det viser sig dog, at omkostningerne til separation for nogle flisværker kan forventes at ligge på et overkommeligt niveau. Separation på flisværker kan derfor muligvis blive aktuelt, hvis det eksempelvis kunne betyde, at bundasken kan udbringes direkte uden omkostninger til bl.a. analyser. Under alle omstændigheder vil det være rimeligt at stille krav om, at asken opsamles i separate fraktioner i forbindelse med nybyggeri og muligvis ved større renoveringer af kedelanlæg. Det vil endvidere være fordelagtigt for genanvendelsesmulighederne, hvis der alene anvendes tør udaskning fra anlæggene.

Værkernes omkostninger til kemisk analyse af askerne vurderes i projektet - under antagelse af at hele askemængden bringes ud som blandingsaske - at antage følgende årlige omfang:

Priser i DKK/t TS	Anlæg under 2 MW	Anlæg over 2 MW
H2 aske	30	15-20
H3 aske	15	8-10
T2 aske	300	120-150
T3 aske	150	60-75

De specifikke omkostninger til analyser er således meget høje for de træfyrede værker, mens de for de halmfyrede værker ligger på et lavere niveau. Analyseomkostningerne er for de træfyrede værker en af de barrierer, der hindrer genanvendelse af asken.

Samarbejde mellem store og små værker

For at muliggøre oparbejdning af næringsstofferne i flyveaske fra især halmværker, har Elsam udviklet en metode til vask af asken. Metoden adskiller næringsstoffer i en flydende gødningsfraktion fra de miljøfremmede stoffer, er beskrevet og vurderet i projektet, og tænkes måske anvendt også til flyveasken fra mindre fjernvarmeværker.

Driftsudgifterne til bortskaffelse af halmflyveasken via et behandlingsanlæg vil for et fjernvarmeværk med et halmforbrug på 10.000 t ligge omkring 60.000 DKK, hvilket er en betragtelig størrelse, men dog noget lavere end omkostningerne til deponering af den tilsvarende mængde aske. Hvis metoden kan billiggøres i forhold til den her skitserede, vil det sammen med en besparelse ved en eventuel fritagelse for periodisk analyse af bundasken, give de halmfyrede varmeværker et afgørende incitament til separation af bundaske og flyveaske. For værker, der kan udbringe blandet bundaske og flyveaske, vil dette fortsat være den billigste løsning. For værker, der i forvejen separerer bundaske og flyveaske med henblik på deponering af flyveaske, vil det være økonomisk attraktivt at få oparbejdet asken til flydende gødning.

Gennem projektet er andre muligheder blevet diskuteret. I stedet for at transportere asken til et centralt anlæg, kunne askevasken foregå decentralt på fjernvarmeværkerne i et billigere anlæg. En decentral askevask vil muligvis ikke kunne overholde kvalitetskrav for leverance til gødningsindustrien. Men gødningsproduktet vil givetvis være tilstrækkelig ensartet til lokal distribution og opblanding med svinegylle.

Scenarier for askegenanvendelsen

For at samle op på projektets mange forskellige delkonklusioner, er der opstillet et scenario for hvordan bioaske kan genanvendes, og der er gennemført en fremskrivning situationen for bioaske i Danmark. Projektet konkluderer, at det på kort sigt vil være muligt at opnå visse forbedringer i genanvendelsen af især halmaskernes næringsstoffer. På længere sigt forventes det, at alle biobrændselsanlæg et udstyret med separat håndtering af askefraktionerne, og at en af de væsentlige barrierer for at genanvende asken optimalt dermed er ryddet af vejen.

Mens den årlige bioaskeproduktion i større kollektive fyringsanlæg i 2000 lå på godt 32.000 t, forventer projektet ifølge fremskrivningen at der i 2012 vil være yderligere 27.000 t og i 2030 yderligere 10.000 tons, således, at samfundet i 2030 må forventes årligt at skulle håndtere op mod 70.000 t biomasseaske, der kan anvendes til jordbrugsformål.

14 Litteraturliste

Beier, C., Gundersen, P., Møller, I. S. 1995. Fjernelse af næringsstoffer ved flisning. Videnblade Skovbrug 6.3-9. Forskningscentret for Skov & Landskab, Hørsholm. 2 pp.

Bioaskebekendtgørelsen. 2000. Bekendtgørelse nr. 39 af 20. januar 2000: Bekendtgørelse om anvendelse af aske fra forgasning og forbrænding af biomasse og biomasseaffald til jordbrugsformål. Miljø- og Energiministeriet.

Bjerg, J. 2001. Anlægs- og driftsdata for biobrændselsfyrede blokvarmecentraler. dk-TEKNIK ENERGI & MILJØ, juni 2001.

Dralle, K. og Larsen, J. B., 1993. Produktionsgødskning af rødgran på Skov- og Naturstyrelsens hededistrikter. Dansk Skovbrugs Tidsskrift, 78, 14-31.

Egnell, G. og Leijon, B. 1999. Survival and growth of planted seedlings of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* after different levels of biomass removal in clear-felling. Scandinavian Journal of Forest Research 14: 303-311.

Energistyrelsen. 2000. Energistatistik 1999 – Danmarks produktion og forbrug af energi. Miljø- og Energiministeriet.

Energistyrelsen. 2001. Decentrale kraftvarmeanlæg – status for 2000. Energistyrelsens opfølgingsprogram for decentral kraftvarme på faste biobrændsler. Miljø- og Energiministeriet.

Energistyrelsen. 2001 (2). Fremskrivning af Danmarks energiforbrug og CO₂-udledning. Miljø- og Energiministeriet, marts 2001.

Hansen, J.F. og Kjellerup, V. 1994. Gødningsvirkning af fosfor og kalium i halmaske og i slam. SP.-rapport nr. 14,1994.

Hansen, M.T. 2001. Treatment of residues from solid waste. Bioenergy 2001, Nordic & European Bioenergy Conference, 25-28 September, 2001, Århus, Danmark.

Jacobson, S., Kukkola, M., Mälkönen, E., Tveite, B. og Möller, G. 1996. Growth response of coniferous stands to whole-tree harvesting in early thinnings. Scandinavian Journal of Forest Research 11: 50-59.

Kofman, P. D. 1987. Aske fra flisfyrede varmeværker - kemisk sammensætning og anvendelsesmuligheder. Skovteknisk Institut 3: 20 pp.

Landbrugsforlaget. 2000. Håndbog til driftsplanlægning. ISBN 0419-9936.

Lövgren, L., Lundmark, J-E., Jansson, C. (1999) Kretsloppsanpassning av bioaskor. Utvärdering av ny teknik för pelletering av bioaska med avseende på dels driftsegenskaper, dels miljöeffekter i skogen av askäterföring. Rapport Etapp 1. Statens energimyndighet, projekt P11647-1. Sverige.

- Møller, J. et al. 2000. Fodermiddeltabel for kvæg. Landsudvalget for Kvæg, 2000
- Møller, I.S. 2001. ESBEN 1.0, - Estimering af biomasse- og næringsstofudtag ved udnyttelse af heltræer i rødgran. Videntjenesten, Skovbrug. Skov & Landskab, Hørsholm. Under publicering (diskette).
- Nord-Larsen, T. 2001. Heltræudnyttelse og tilvækst ved tyndinger i ung rødgran. Forskningscentret for Skov & Landskab. Videnblad 8.5-15. 2 pp.
- Obernberger I., Dahl J., Evald A. et al. 1998. Fractionated heavy metal separation and ash utilization in biomass combustion and gasification plants. Endelig rapport fra JOULE projekt JOR3-CT95-0001.
- Pedersen, C.A. 1996. Oversigt over Landsforsøgene (redigeret af C.A. Pedersen). Landsudvalget for Planteavl.
- Plantedirektoratets Vejledning og Skemaer for 2002. Plantedirektoratet, 2001.
- Saxe, H. and Larsen, J. B. 1991. "Røde rødgraner" – økofysiologiske aspekter. Dansk Skovbrugs Tidsskrift 77(1), 187-205.
- Slambekendtgørelsen. 2000. Bekendtgørelse nr. 49 af 20. januar 2000: Bekendtgørelse om anvendelse af affaldsprodukter til jordbrugsformål. Miljø- og Energiministeriet.
- Vattenfall AB (1998). Storskalig askhantering i Mellansverige. Vattenfall Support AB. Stockholm.
- Videncenter for Halm- og Flisfyring. 1999. Videnblad nr. 146: Halmasker, kemisk sammensætning. dk-TEKNIK. Søborg.
- Videncenter for Halm- og Flisfyring. 2000. Videnblad nr. 147: Flisasker – kemisk sammensætning. dk-TEKNIK. Søborg.
- Videncenter for Halm- og Flisfyring. 2000. "Danish Bioenergy Solutions – reliable and efficient", juni 2000.

1 Fraførsel og maksimal tilførsel af cadmium for landbrugsarealer

Se oversigten 'Cadmiumbalancer for landbrugsarealer' på næste side.

Cadmiumbalancer for landbrugsarealer

Fraført cadmiummængde med afgrøderne

	mg Cd / kg TS	Ton / ha / år	Ton / ha / 5 år	g Cd / ha / 5 år	g Cd / ha / år
Helsæd	0,1	10	50	5,0	1,0
Kerner	0,1	6	30	3,0	0,6
Halm	0,1	4	20	2,0	0,4

Maximalt tilført cadmiummængde efter slambekendtgørelsen

	mg Cd / kg TS	Ton / ha / år	Ton / ha / 3 år	g Cd / ha / 3 år	g Cd / ha / år
Til 30.06.2000	0,8	10,0	30,0	24,0	8,0
Efter 01.07.2000	*) 0,8	7,0	21,0	16,8	5,6

*) Skærpelsen pr 01.07.2000 til 0,4 mg Cd / kg TS er udgået af den seneste revision af Slambekendtgørelsen

Indhold af næringssalte i form af fosfat og kvælstof vil normalt føre til lavere doceringer

Maximalt tilført cadmiummængde efter slambekendtgørelsens fosforrelaterede grænseværdier

	mg Cd / kg fosfor	kg fosfor / ha / år	kg fosfor / ha / 3 år	g Cd / ha / 3 år	g Cd / ha / år
Til 30.06.2000	200	40	120	24	8
Fra 01.07.2000	100	30	90	9	3

Maximalt tilført cadmiummængde efter gødningsbekendtgørelsen

	mg Cd / kg fosfor	kg fosfor / ha / år	kg fosfor / ha / 3 år	g Cd / ha / 3 år	g Cd / ha / år
Fra 01.07.1995	110	40	120	13,2	4,4
Fra 01.07.2000	110	30	90	9,9	3,3

Maximalt tilbageført cadmiummængde efter bioaskebekendtgørelsen

	mg Cd / kg TS		Ton / ha / 5 år	g Cd / ha / 5 år	g Cd / ha / år
H 1 (filteraske)	5		0,5	2,5	0,5
H 2 (blandingsaske)	2,5		1,5	3,75	0,75
H 3 (bundaske)	0,5		5	2,5	0,5

1 Spørgeskemaer udsendt til fjernvarmeværker

Separation og genanvendelse af aske fra biobrændselsanlæg

Spørgeskema om håndtering af aske

Basisoplysninger

Anlægsnavn:

Driftsleder:

Adresse:

Telefonnummer:

Hovedbrændsel: Træflis

Kraftvarme:

Brændsels-forbrug

I skemaet nedenfor er skrevet de oplysninger, som dk-TEKNIK eller Energistyrelsen har om værkets brændselsforbrug. Ret oplysningerne, hvis de er forkerte og tilføj oplysninger, hvor de mangler.

Årstal	Årligt forbrug (tons) af		
	Brændsel 1	Brændsel 2	Brændsel 3
	Træflis		
1998			
1999			
2000			

Hvordan tages asken ud af anlægget?

Streg asketyper ud, hvis de ikke findes på anlægget.
Forbind aske typer, der blandes (se evt. eksempel).

Aske-type	Hvordan tager I asken ud?
	Vådt / tørt
Bund-aske	Vådt
Cyklon-aske	

Aske-type	Hvordan tager I asken ud?
	Vådt / tørt
Bund-aske	
Cyklon-aske	

Separation og genanvendelse af aske fra biobrændselsanlæg

Aske- og kondensat produktion

I dette skema skrives, hvor meget aske anlægget producerer om året.
Husk også at angive vandindholdet af de forskellige typer asker.

Årstal	Årlig produktion (tons) af						
	Aske i alt tons/år	heraf Bundaske		heraf Cyklon-aske		Kondensat-slam	
		tons/år	Vandind- hold %	tons/år	Vandind- hold %	tons/år	Vandind- hold %
1998							
1999							
2000							

Askelagring og genanvendelse

Hvordan lagres asken?	
Hvem henter asken?	
Hvor bringes asken hen?	Mark / Skov / Deponi
Er der mulighed for at få fat i en prøve af hver asketype for sig?	

Kommentarer

Det udfyldte skema sendes inden torsdag d. 22. marts 2001 til:

Danske Fjernvarmeværkers Forening
Att. Viktor Jensen
Galgebjergvej 44
6000 Kolding

form letters3

Separation og genanvendelse af aske fra biobrændselsanlæg

Spørgeskema om håndtering af aske

Basisoplysninger

Anlægsnavn:

Driftsleder:

Adresse:

Telefonnummer:

Hovedbrændsel: Halm

Kraftvarme:

Brændsels-forbrug

I skemaet nedenfor er skrevet de oplysninger, som dk-TEKNIK eller Energistyrelsen har om værkets brændselsforbrug. Ret oplysningerne, hvis de er forkerte og tilføj oplysninger, hvor de mangler.

Årstal	Årligt forbrug (tons) af		
	Brændsel 1	Brændsel 2	Brændsel 3
	Halm		
1998			
1999			
2000			

Hvordan tages asken ud af anlægget?

Streg asketyper ud, hvis de ikke findes på anlægget.
Forbind aske-typer, der blandes (se evt. eksempel).

Aske-type	Hvordan tager I asken ud?
	Våd / tørt
Bund-aske	Våd
Cyklon-aske	
Filter-aske	

Aske-type	Hvordan tager I asken ud?
	Våd / tørt
Bund-aske	
Cyklon-aske	
Filter-aske	

form letters1

Separation og genanvendelse af aske fra biobrændselsanlæg

Aske-produktion

I dette skema skrives, hvor meget aske anlægget producerer om året.
Husk også at angive vandindholdet af de forskellige typer asker.

Årstal	Årlig produktion (tons) af						
	Aske i alt tons/år	heraf Bundaske		heraf Cyklon-aske		heraf Filter-aske	
		tons/år	Vandind- hold %	tons/år	Vandind- hold %	tons/år	Vandind- hold %
1998							
1999							
2000							

Askelagring og genanvendelse

Hvordan lagres asken?	
Er der etableret et mellemlager?	
Hvem henter asken?	
Er afhentningen af asken en del af halmprisen?	
Hvor bringes asken hen?	Mark / Skov / Deponi

Kommentarer

Det udfyldte skema sendes inden torsdag d. 22. marts 2001 til:

Danske Fjernvarmeværkers Forening
Att. Viktor Jensen
Galgebjergvej 44
6000 Kolding

form letters 1

Separation og genanvendelse af aske fra biobrændselsanlæg

Spørgeskema om håndtering af aske

Basisoplysninger

Anlægsnavn:

Driftsleder:

Adresse:

Telefonnummer:

Hovedbrændsel: Træpiller

Kraftvarme:

Brændsels-forbrug

I skemaet nedenfor er skrevet de oplysninger, som dk-TEKNIK eller Energistyrelsen har om værkets brændselsforbrug. Ret oplysningerne, hvis de er forkerte og tilføj oplysninger, hvor de mangler.

Årstal	Årligt forbrug (tons) af		
	Brændsel 1	Brændsel 2	Brændsel 3
	Træpiller		
1998			
1999			
2000			

Hvordan tages asken ud af anlægget?

Streg asketyper ud, hvis de ikke findes på anlægget. Forbind aske-typer, der blandes (se evt. eksempel).

Aske-type	Hvordan tages I asken ud? Våd / tørt
Bund-aske	Våd
Cyklon-aske	
Filter-aske	

Aske-type	Hvordan tages I asken ud? Våd / tørt
Bund-aske	
Cyklon-aske	
Filter-aske	

Separation og genanvendelse af aske fra biobrændselsanlæg

Aske-produktion

I dette skema skrives, hvor meget aske anlægget producerer om året.
Husk også at angive vandindholdet af de forskellige typer asker.

Årstal	Årlig produktion (tons) af						
	Aske i alt tons/år	heraf Bundaske		heraf Cyklon-aske		heraf Filter-aske	
		tons/år	Vandind- hold %	tons/år	Vandind- hold %	tons/år	Vandind- hold %
1998							
1999							
2000							

Askelagring og genanvendelse

Hvordan lagres asken?	
Hvem henter asken?	
Hvor bringes asken hen?	Mark / Skov / Deponi

Kommentarer

Det udfyldte skema sendes inden torsdag d. 22. marts 2001 til:

Danske Fjernvarmeværkers Forening
Att. Viktor Jensen
Galgebjergvej 44
6000 Kolding

K:\116789\evaluering af erfaringer\spørgeskema-undersøgelser\spørgeskema.doc

1 Analyserapporter



Rekvirent:

Sag 16780
Vedr. : Miljøstyrelsen

Journal nr.: 402538

2001.08.07

Att. : JCR

PRØVNINGSRAPPORT

Undersøgelse af fast brændsel

Sag. nr. : 16780
Rekvissions nr. : -
Prøve modtaget d. : 2001.06.29
Prøvningstermin : 2001.06.29-2001.08.07
Udarbejdet af : Henning Munk Jensen

Resultaterne for prøvningen findes på side: 2-3

Præcision og usikkerhed jvf. vedlagte bilag.

dk-TEKNIK ENERGI & MILJØ


Susanne Westborg

Side 1 af 3

Prøvningsrapporten må kun gengives i uddrag efter skriftlig godkendelse fra dk-TEKNIK. Prøvningresultaterne gælder udelukkende de prøvede emner.
The test report shall not be reproduced except in full without the written approval of dk-TEKNIK. The test results relate only to the items tested.

Undersøgelse af slagge/aske fra fast brændsel				
Prøve af	Bundaske			
Mærket	Høng Varmeværk, halm			
Prøvens størrelse	25573,2	g	Emballage	2 Tætte plast spande
Forbehandling af prøve:	Er foretaget i henhold til DIN 51701			
Bestanddel			Basis: Vandfri prøve	Indleveret prøve
Vand	ISO/DIS 589		-	64,1 %
Aske	ISO 1171, mod. til 550°C		95,2 %	34,2 %
Svovl	(S) ASTM D 1757		∕ %	∕ %
Chlor	(Cl) ISO 587		∕ %	∕ %
Chlor, vandopløselig	(Cl) dk-TEKNIK		0,82 %	0,80 %
Bortglødeligt	Beregnet som 100 – Vand – Aske		4,8 %	1,7 %
Carbon, TC	(C) prEN 13137	*	∕ %	∕ %
Carbonat-carbon, TIC	(C) prEN 13137	*	∕ %	∕ %
TOC (TC – TIC)	(C) prEN 13137	*	∕ %	∕ %
Restenergi	Øvre brændværdi jvf. ISO 1928, uden korr. for S		∕ MJ/kg	∕ MJ/kg
Askens smelteforløb	ISO 540, mod. til 550°C aske	Bestemt i:	Reducerende atm.	Prøveform: Terning
Blødgørings	temperatur	(IDT)		∕ °C
Halvkugle	temperatur	(HT)		∕ °C
Flyde	temperatur	(FT)		∕ °C
Bemærkninger:	<p>* Mekanisk sigtning (ISO 1953):</p> <p>93 % < 4 mm</p> <p>85 % < 2 mm</p> <p>74 % < 1 mm</p> <p>53 % < 0,5 mm</p> <p>33 % < 0,25 mm</p> <p>18 % < 0,125 mm</p> <p>* Ikke akkrediteret prøvning.</p> <p>∕: Ikke analyseret parameter.</p>			



Journal nr.: 402538

Undersøgelse af slagge/aske fra fast brændsel

Prøve af Bundaske
Mærket Høng Varmeværk, halm

Prøvens størrelse 25573,2 g Emballage 2 Tætte plast spande

Resultater:

Parameter	metode	mg/kg tør prøve	mg /kg indleveret prøve
Phosphor, vandopl.	M-1502 ^{*)}	24	8,6
Phosphor, citratopl.	MK1040-ICP ^{*)}	4600	1700
Phosphor, total	MK4252-Nordfor. ^{*)}	9100	3300

^{*)} Udført af eksternt laboratorium. Ikke akkrediteret prøvning

Parameter	metode	mg/kg tør prøve	mg /kg indleveret prøve
Bly (Pb)	DS 259/ICP-QMS ^{*)}	4,9	1,7
Cadmium (Cd)	DS 259/ICP-QMS ^{*)}	0,34	0,12
Chrom (Cr)	DS 259/ICP-QMS ^{*)}	3,0	1,1
Kalium (K)	DS 259/ICP-AES ^{*)}	99000	35000
Kviksølv (Hg)	DS 259/ICP-QMS ^{*)}	0,14	0,049
Nikkel (Ni)	DS 259/ICP-QMS ^{*)}	4,0	1,4

^{*)} Udført af eksternt laboratorium. Ikke akkrediteret prøvning

pH (1 % vandig opslæmning)	11,1
----------------------------	------

Side 3 af 3

Rekvirent:

Sag 16780
Vedr. : Miljøstyrelsen

Journal nr.: 402539

2001.08.07

Att. : JCR

PRØVNINGSRAPPORT

Undersøgelse af fast brændsel

Sag. nr. : 16780
Rekvissions nr. : -
Prøve modtaget d. : 2001.06.29
Prøvningstermin : 2001.06.29-2001.08.07
Udarbejdet af : Henning Munk Jensen

Resultaterne for prøvningen findes på side: 2-3

Præcision og usikkerhed jvf. vedlagte bilag.

dk-TEKNIK ENERGI & MILJØ


Susanne Westborg

Side 1 af 3

Prøvningsrapporten må kun gengives i uddrag efter skriftlig godkendelse fra dk-TEKNIK. Prøvningsresultaterne gælder udelukkende de prøvede emner.
The test report shall not be reproduced except in full without the written approval of dk-TEKNIK. The test results relate only to the items tested.

Undersøgelse af slagge/aske fra fast brændsel					
Prøve af	Cyclonaske				
Mærket	Høng Varmeværk, halm				
Prøvens størrelse	3528,0	g	Emballage	2 Tætte plast spande	
Forbehandling af prøve:	Er foretaget i henhold til DIN 51701				
Bestanddel			Basis:	Vandfri prøve	Indleveret prøve
Vand	ISO/DIS 589			-	1,8 %
Aske	ISO 1171, mod. til 550°C			91,8 %	90,1 %
Svovl	(S) ASTM D 1757			∕ %	∕ %
Chlor	(Cl) ISO 587			∕ %	∕ %
Chlor, vandopløselig	(Cl) dk-TEKNIK			14 %	14 %
Bortglødeligt	Beregnet som 100 - Vand - Aske			8,3 %	8,1 %
Carbon, TC	(C) prEN 13137		*	∕ %	∕ %
Carbonat-carbon, TIC	(C) prEN 13137		*	∕ %	∕ %
TOC (TC - TIC)	(C) prEN 13137		*	∕ %	∕ %
Restenergi	Øvre brændværdi jvf. ISO 1928, uden korr. for S			∕ MJ/kg	∕ MJ/kg
Askens smelteforløb	ISO 540, mod. til 550°C aske	Bestemt i:	Reducerende atm.	Prøveform: Terning	
Blødgørings	temperatur	(IDT)		∕	°C
Halvkugle	temperatur	(HT)		∕	°C
Flyde	temperatur	(FT)		∕	°C
Bemærkninger:					
	* Mekanisk sigtning (ISO 1953):				
	99 % < 1 mm				
	96 % < 0,500 mm				
	90 % < 0,250 mm				
	71 % < 0,125 mm				
	* Ikke akkrediteret prøvning.				
	∕ Ikke analyseret parameter.				



Journal nr.: 402539

Undersøgelse af slagge/aske fra fast brændsel

Prøve af Cyclonaske
Mærket Høng Varmeværk, halm

Prøvens størrelse 3528,0 g Emballage 2 Tætte plast spande

Resultater :

Parameter	metode	mg/kg tør prøve	mg /kg indleveret prøve
Phosphor, vandopl.	M-1502 ^{*)}	11	11
Phosphor, citratopl.	MK1040-ICP ^{*)}	6900	6800
Phosphor, total	MK4252-Nordfor. ^{*)}	12000	12000

^{*)} Udført af eksternt laboratorium. Ikke akkrediteret prøvning

Parameter	metode	mg/kg tør prøve	mg /kg indleveret prøve
Bly (Pb)	DS 259/ICP-QMS ^{*)}	15	15
Cadmium (Cd)	DS 259/ICP-QMS ^{*)}	4,8	4,7
Chrom (Cr)	DS 259/ICP-QMS ^{*)}	6,2	6,1
Kalium (K)	DS 259/ICP-AES ^{*)}	230000	220000
Kviksølv (Hg)	DS 259/ICP-QMS ^{*)}	0,51	0,50
Nikkel (Ni)	DS 259/ICP-QMS ^{*)}	5,0	4,9

^{*)} Udført af eksternt laboratorium. Ikke akkrediteret prøvning

pH (1 % vandig opslæmning)	11,4
----------------------------	------

Side 3 af 3

Rekvirent:

Sag 16780
Vedr.: Miljøstyrelsen

Journal nr.: 402540

2001.08.07

Att.: JCR

PRØVNINGSRAPPORT

Undersøgelse af fast brændsel

Sag. nr. : 16780
Rekvisitions nr. : -
Prøve modtaget d. : 2001.06.29
Prøvningstermin : 2001.06.29-2001.08.07
Udarbejdet af : Henning Munk Jensen

Resultaterne for prøvningen findes på side: 2-3

Præcision og usikkerhed jvf. vedlagte bilag.

dk-TEKNIK ENERGI & MILJØ


Susanne Westborg

Side 1 af 3

Prøvningsrapporten må kun gengives i uddrag efter skriftlig godkendelse fra dk-TEKNIK. Prøvningsresultaterne gælder udelukkende de prøvede emner.
The test report shall not be reproduced except in full without the written approval of dk-TEKNIK. The test results relate only to the items tested.

Undersøgelse af slagge/aske fra fast brændsel					
Prøve af	Filteraske				
Mærket	Høng Varmeværk, halm				
Prøvens størrelse	2220,5	g	Emballage	2 Tætte plast spande	
Forbehandling af prøve:			Er foretaget i henhold til DIN 51701		
Bestanddel			Basis:	Vandfri prøve	Indleveret prøve
Vand	ISO/DIS 589			-	0,8 %
Aske	ISO 1171, mod. til 550°C			97,6 %	96,9 %
Svovl	(S) ASTM D 1757			∕ %	∕ %
Chlor	(Cl) ISO 587			∕ %	∕ %
Chlor, vandopløselig	(Cl) dk-TEKNIK			32 %	32 %
Bortglødeligt	Beregnet som 100 – Vand – Aske			2,4 %	2,3 %
Carbon, TC	(C) prEN 13137		*	∕ %	∕ %
Carbonat-carbon, TIC	(C) prEN 13137		*	∕ %	∕ %
TOC (TC – TIC)	(C) prEN 13137		*	∕ %	∕ %
Restenergi	Øvre brændværdi jvf. ISO 1928, uden korr. for S			∕ MJ/kg	∕ MJ/kg
Askens smelteforløb	ISO 540, mod. til 550°C aske	Bestemt i:	Reducerende atm.	Prøveform: Terning	
Blødgørings	temperatur	(IDT)		∕	° C
Halvkugle	temperatur	(HT)		∕	° C
Flyde	temperatur	(FT)		∕	° C
Bemærkninger:					
* Ikke akkrediteret prøvning.					
∕ Ikke analyseret parameter.					



Journal nr.: 402540

Undersøgelse af slagge/aske fra fast brændsel

Prøve af Filteraske
Mærket Høng Varmeværk, halm

Prøvens størrelse 2220,5 g Emballage 2 Tætte plast spande

Resultater :

Parameter	metode	mg/kg tør prøve	mg /kg indleveret prøve
Phosphor, vandopl.	M-1502 ^{*)}	2300	2300
Phosphor, citratopl.	MK1040-ICP ^{*)}	6000	6000
Phosphor, total	MK4252-Nordfor. ^{*)}	6700	6600

^{*)} Udført af eksternt laboratorium. Ikke akkrediteret prøvning

Parameter	metode	mg/kg tør prøve	mg /kg indleveret prøve
Bly (Pb)	DS 259/ICP-QMS ^{*)}	36	36
Cadmium (Cd)	DS 259/ICP-QMS ^{*)}	10	9,9
Chrom (Cr)	DS 259/ICP-QMS ^{*)}	1,7	1,7
Kalium (K)	DS 259/ICP-AES ^{*)}	400000	400000
Kviksølv (Hg)	DS 259/ICP-QMS ^{*)}	1,1	1,0
Nikkel (Ni)	DS 259/ICP-QMS ^{*)}	1,4	1,3

^{*)} Udført af eksternt laboratorium. Ikke akkrediteret prøvning

pH (1 % vandig opslæmning)	9,4
----------------------------	-----

Side 3 af 3

Rekurent:

Sag 16780
Vedr. : Miljøstyrelsen

Journal nr.: 402535

2001.08.07

Att. : JCR

PRØVNINGSRAPPORT

Undersøgelse af fast brændsel

Sag. nr. : 16780
Rekvisitions nr. : -
Prøve modtaget d. : 2001.06.29
Prøvningstermin : 2001.06.29-2001.08.07
Udarbejdet af : Henning Munk Jensen

Resultaterne for prøvningen findes på side: 2-3

Præcision og usikkerhed jvf. vedlagte bilag.

dk-TEKNIK ENERGI & MILJØ


Susanne Westberg

Side 1 af 3

Prøvningsrapporten må kun gengives i uddrag efter skriftlig godkendelse fra dk-TEKNIK. Prøvningsresultaterne gælder udelukkende de prøvede emner.
The test report shall not be reproduced except in full without the written approval of dk-TEKNIK. The test results relate only to the items tested.

Undersøgelse af slagge/aske fra fast brændsel					
Prøve af	Bundaske				
Mærket	Rødby Varmeværk, halm				
Prøvens størrelse	3201,2	g	Emballage	3 Tætte plast spande	
Forbehandling af prøve:	Er foretaget i henhold til DIN 51701				
Bestanddel			Basis:	Vandfri prøve	Indleveret prøve
Vand	ISO/DIS 589			-	0,9 %
Aske	ISO 1171, mod. til 550°C			98,0 %	97,1 %
Svovl	(S) ASTM D 1757			∕ %	∕ %
Chlor	(Cl) ISO 587			∕ %	∕ %
Chlor, vandopløselig	(Cl) dk-TEKNIK			0,72 %	0,72 %
Bortglødeligt	Beregnet som 100 – Vand – Aske			2,0 %	2,0 %
Carbon, TC	(C) prEN 13137		*	∕ %	∕ %
Carbonat-carbon, TIC	(C) prEN 13137		*	∕ %	∕ %
TOC (TC – TIC)	(C) prEN 13137		*	∕ %	∕ %
Restenergi	Øvre brændværdi jvf. ISO 1928, uden korr. for S			∕ MJ/kg	∕ MJ/kg
Askens smelteforløb	ISO 540, mod. til 550°C aske	Bestemt i:	Reducerende atm.	Prøveform: Terning	
Blødgørings	temperatur	(IDT)		∕	°C
Halvkugle	temperatur	(HT)		∕	°C
Flyde	temperatur	(FT)		∕	°C
Bemærkninger:					
	* Mekanisk sigtning (ISO 1953):				
	85 % < 31,5 mm				
	65 % < 10 mm				
	58 % < 6 mm				
	44 % < 2 mm				
	* Ikke akkrediteret prøvning				
	∕: Ikke analyseret parameter.				



Journal nr.: 402535

Undersøgelse af slagge/aske fra fast brændsel

Prøve af Bundaske
Mærket Rødby Varmeværk, halm

Prøvens størrelse 3201,2 g Emballage 3 Tætte plast spande

Resultater :

Parameter	metode	mg/kg tør prøve	mg /kg indleveret prøve
Phosphor, vandopl.	M-1502 ^{*)}	41	41
Phosphor, citratopl.	MK1040-ICP ^{*)}	5400	5400
Phosphor, total	MK4252-Nordfor. ^{*)}	9700	9600

^{*)} Udført af eksternt laboratorium. Ikke akkrediteret prøvning

Parameter	metode	mg/kg tør prøve	mg /kg indleveret prøve
Bly (Pb)	DS 259/ICP-QMS ^{*)}	1,3	1,3
Cadmium (Cd)	DS 259/ICP-QMS ^{*)}	0,13	0,13
Chrom (Cr)	DS 259/ICP-QMS ^{*)}	2,7	2,7
Kalium (K)	DS 259/ICP-AES ^{*)}	120000	120000
Kviksølv (Hg)	DS 259/ICP-QMS ^{*)}	0,23	0,23
Nikkel (Ni)	DS 259/ICP-QMS ^{*)}	2,4	2,3

^{*)} Udført af eksternt laboratorium. Ikke akkrediteret prøvning

pH (1 % vandig opløsning)	11,4
---------------------------	------

Side 3 af 3

Rekurent:

Sag 16780
Vedr.: Miljøstyrelsen

Journal nr.: 402536

2001.08.07

Att.: JCR

PRØVNINGSRAPPORT

Undersøgelse af fast brændsel

Sag. nr. : 16780
Rekvisitions nr. : -
Prøve modtaget d. : 2001.06.29
Prøvningstermin : 2001.06.29-2001.08.07
Udarbejdet af : Henning Munk Jensen

Resultaterne for prøvningen findes på side: 2-3

Præcision og usikkerhed jvf. vedlagte bilag.

dk-TEKNIK ENERGI & MILJØ


Susanne Westborg

Side 1 af 3

Prøvningsrapporten må kun gengives i uddrag efter skriftlig godkendelse fra dk-TEKNIK. Prøvningsresultaterne gælder udelukkende de prøvede emner.
The test report shall not be reproduced except in full without the written approval of dk-TEKNIK. The test results relate only to the items tested.

Undersøgelse af slagge/aske fra fast brændsel				
Prøve af	Cyclonaske			
Mærket	Rødby Varmeværk, halm			
Prøvens størrelse	5346,9	g	Emballage	3 Tætte plast spande
Forbehandling af prøve:	Er foretaget i henhold til DIN 51701			
Bestanddel			Basis: Vandfri prøve	Indleveret prøve
Vand	ISO/DIS 589		-	1,5 %
Aske	ISO 1171, mod. til 550°C		93,6 %	92,2 %
Svovl	(S) ASTM D 1757		∕ %	∕ %
Chlor	(Cl) ISO 587		∕ %	∕ %
Chlor, vandopløselig	(Cl) dk-TEKNIK		8,2 %	8,1 %
Bortglødeligt	Beregnet som 100 – Vand – Aske		6,4 %	6,3 %
Carbon, TC	(C) prEN 13137	*	∕ %	∕ %
Carbonat-carbon, TIC	(C) prEN 13137	*	∕ %	∕ %
TOC (TC – TIC)	(C) prEN 13137	*	∕ %	∕ %
Restenergi	Øvre brændværdi jvf. ISO 1928, uden korr. for S		∕ MJ/kg	∕ MJ/kg
Askens smelteforløb	ISO 540, mod. til 550°C aske	Bestemt i:	Reducerende atm.	Prøveform: Terning
Blødgørings	temperatur	(IDT)		∕ °C
Halvkugle	temperatur	(HT)		∕ °C
Flyde	temperatur	(FT)		∕ °C
Bemærkninger:				
	* Mekanisk sigtning (ISO 1953):			
	96 % < 0,500 mm			
	90 % < 0,250 mm			
	74 % < 0,125 mm			
	* Ikke akkrediteret prøvning.			
	∕ Ikke analyseret parameter.			



Journal nr.: 402536

Undersøgelse af slagge/aske fra fast brændsel

Prøve af Cyclonaske
Mærket Rødby Varmeværk, halm

Prøvens størrelse 5346,9 g Emballage 3 Tætte plast spande

Resultater :

Parameter	metode	mg/kg tør prøve	mg /kg indleveret prøve
Phosphor, vandopl.	M-1502 ^{*)}	33	33
Phosphor, citratopl.	MK1040-ICP ^{*)}	5700	5600
Phosphor, total	MK4252-Nordfor, ^{*)}	8700	8600

^{*)} Udført af eksternt laboratorium. Ikke akkrediteret prøvning

Parameter	metode	mg/kg tør prøve	mg /kg indleveret prøve
Bly (Pb)	DS 259/ICP-QMS ^{*)}	5,0	4,9
Cadmium (Cd)	DS 259/ICP-QMS ^{*)}	2,6	2,5
Chrom (Cr)	DS 259/ICP-QMS ^{*)}	7,3	7,2
Kalium (K)	DS 259/ICP-AES ^{*)}	180000	180000
Kviksølv (Hg)	DS 259/ICP-QMS ^{*)}	0,17	0,16
Nikkel (Ni)	DS 259/ICP-QMS ^{*)}	5,9	5,9

^{*)} Udført af eksternt laboratorium. Ikke akkrediteret prøvning

pH (1 % vandig opslæmning)	11,3
----------------------------	------

Side 3 af 3

Rekvirent:

Sag 16780
Vedr. : Miljøstyrelsen

Journal nr.: 402537

2001.08.07

Att. : JCR

PRØVNINGSRAPPORT

Undersøgelse af fast brændsel

Sag. nr. : 16780
Rekvissions nr. : -
Prøve modtaget d. : 2001.06.29
Prøvningstermin : 2001.06.29-2001.08.07
Udarbejdet af : Henning Munk Jensen

Resultaterne for prøvningen findes på side: 2-3

Præcision og usikkerhed jvf. vedlagte bilag.

dk-TEKNIK ENERGI & MILJØ


Susanne Westborg

Side 1 af 3

Prøvningsrapporten må kun gengives i uddrag efter skriftlig godkendelse fra dk-TEKNIK. Prøvningsresultaterne gælder udelukkende de prøvede emner.
The test report shall not be reproduced except in full without the written approval of dk-TEKNIK. The test results relate only to the items tested.

Undersøgelse af slagge/aske fra fast brændsel					
Prøve af	Filteraske				
Mærket	Rødby Varmeværk, halm				
Prøvens størrelse	3743,6	g	Emballage	3 Tætte plast spande	
Forbehandling af prøve:	Er foretaget i henhold til DIN 51701				
Bestanddel			Basis:	Vandfri prøve	Indleveret prøve
Vand	ISO/DIS 589			-	0,8 %
Aske	ISO 1171, mod. til 550°C			96,8 %	96,0 %
Svovl	(S) ASTM D 1757			∕ %	∕ %
Chlor	(Cl) ISO 587			∕ %	∕ %
Chlor, vandopløselig	(Cl) dk-TEKNIK			36 %	35 %
Bortglødeligt	Beregnet som 100 – Vand – Aske			3,2 %	3,2 %
Carbon, TC	(C) prEN 13137		*	∕ %	∕ %
Carbonat-carbon, TIC	(C) prEN 13137		*	∕ %	∕ %
TOC (TC – TIC)	(C) prEN 13137		*	∕ %	∕ %
Restenergi	Øvre brændværdi jvf. ISO 1928, uden korr. for S			∕ MJ/kg	∕ MJ/kg
Askens smelteforløb	ISO 540, mod. til 550°C aske	Bestemt i:	Reducerende atm.	Prøveform: Terning	
Blødgørings	temperatur	(IDT)		∕	°C
Halvkugle	temperatur	(HT)		∕	°C
Flyde	temperatur	(FT)		∕	°C
Bemærkninger:					
* Ikke akkrediteret prøvning.					
∕ Ikke analyseret parameter.					



Journal nr.: 402537

Undersøgelse af slagge/aske fra fast brændsel

Prøve af Filteraske
Mærket Rødby Varmeværk, halm

Prøvens størrelse 3743,6 g Emballage 3 Tætte plast spande

Resultater :

Parameter	metode	mg/kg tør prøve	mg /kg indleveret prøve
Phosphor, vandopl.	M-1502 ^{*)}	710	700
Phosphor, citratopl.	MK1040-ICP ^{*)}	4300	4300
Phosphor, total	MK4252-Nordfor. ^{*)}	6400	6300

^{*)} Udført af eksternt laboratorium. Ikke akkrediteret prøvning

Parameter	metode	mg/kg tør prøve	mg /kg indleveret prøve
Bly (Pb)	DS 259/ICP-QMS ^{*)}	16	16
Cadmium (Cd)	DS 259/ICP-QMS ^{*)}	10	10
Chrom (Cr)	DS 259/ICP-QMS ^{*)}	4,2	4,2
Kalium (K)	DS 259/ICP-AES ^{*)}	420000	420000
Kviksølv (Hg)	DS 259/ICP-QMS ^{*)}	1,0	1,0
Nikkel (Ni)	DS 259/ICP-QMS ^{*)}	1,9	1,9

^{*)} Udført af eksternt laboratorium. Ikke akkrediteret prøvning

pH (1 % vandig opslæmning)	10,1
----------------------------	------

Side 3 af 3

Rekvirent:

Sag 16780
Vedr. : Miljøstyrelsen

Journal nr.: 402661

2001.09.17

Att. : JCR

PRØVNINGSRAPPORT

Undersøgelse af fast brændsel

Sag. nr. : 16780
Rekvissions nr. : -
Prøve modtaget d. : 2001.08.15
Prøvningstermin : 2001.08.15-2001.09.17
Udarbejdet af : Henning Munk Jensen

Resultaterne for prøvningen findes på side: 2-3

Præcision og usikkerhed jvf. vedlagte bilag.

dk-TEKNIK ENERGI & MILJØ


Susanne Westborg

Side 1 af 3

Prøvningsrapporten må kun gengives i uddrag efter skriftlig godkendelse fra dk-TEKNIK. Prøvningsresultaterne gælder udelukkende de prøvede emner.
The test report shall not be reproduced except in full without the written approval of dk-TEKNIK. The test results relate only to the items tested.

Undersøgelse af slagge/aske fra fast brændsel					
Prøve af	Bundaske				
Mærket	Græsted Varmeværk, træflis, bundaske				
Prøvens størrelse	9246,3	**	g	Emballage	Tæt metal spand
** Prøven blev frasorteret 9,2 g metal inden sigtning og forbehandling.					
Forbehandling af prøve:	Er foretaget i henhold til DIN 51701				
Bestanddel				Basis:	Vandfri prøve Indleveret prøve
Vand	ISO/DIS 589			-	0,3 %
Aske	ISO 1171_mod. til 550°C			98,6 %	98,4 %
Svovl	(S)	ASTM D 1757		∕ %	∕ %
Chlor	(Cl)	ISO 587		∕ %	∕ %
Chlor, vandopløselig	(Cl)	dk-TEKNIK		< 0,05 %	< 0,05 %
Bortglødeligt	Beregnet som 100 – Vand – Aske			1,4 %	1,4 %
Carbon, TC	(C)	prEN 13137	*	∕ %	∕ %
Carbonat-carbon, TIC	(C)	prEN 13137	*	∕ %	∕ %
TOC (TC – TIC)	(C)	prEN 13137	*	∕ %	∕ %
Restenergi	Øvre brændværdi jvf. ISO 1928, uden korr. for S			∕ MJ/kg	∕ MJ/kg
Askens smelteforløb	ISO 540_mod. til 550°C aske	Bestemt i:	Reducerende atm.	Prøveform: Terning	
Blødgørings	temperatur	(IDT)		∕	°C
Halvkugle	temperatur	(HT)		∕	°C
Flyde	temperatur	(FT)		∕	°C
Bemærkninger:	* Mekanisk sigtning (ISO 1953):				
	93 % < 31,5 mm				
	49 % < 10 mm				
	37 % < 4 mm				
	31 % < 2 mm				
	25 % < 1 mm				
	16 % < 0,5 mm				
	5,7 % < 0,25 mm				
* Ikke akkrediteret prøvning.					
∕ Ikke analyseret parameter.					



Journal nr.: 402661

Undersøgelse af slagge/aske fra fast brændsel

Prøve af Bundaske
Mærket Græsted Varmeværk, træflis, bundaske
Prøvens størrelse 9246,3 g Emballage Tæt metal spand

Resultater :

Parameter	metode	mg/kg tør prøve	mg /kg indleveret prøve
Phosphor, vandopl.	M-1502 ^{*)}	< 10	< 10
Phosphor, citratopl.	MK1040-ICP ^{*)}	5100	5100
Phosphor, total	MK4252-Nordfor. ^{*)}	10000	10000

^{*)} Udført af eksternt laboratorium. Ikke akkrediteret prøvning

Parameter	metode	mg/kg tør prøve	mg /kg indleveret prøve
Bly (Pb)	DS 259/ICP-QMS ^{*)}	3,4	3,4
Cadmium (Cd)	DS 259/ICP-QMS ^{*)}	0,12	0,12
Chrom (Cr)	DS 259/ICP-AES ^{*)}	27	27
Kalium (K)	DS 259/ICP-AES ^{*)}	58000	57000
Kviksølv (Hg)	DS 259/AFS ^{*)}	< 0,04	< 0,04
Nikkel (Ni)	DS 259/ICP-AES ^{*)}	22	22

^{*)} Udført af eksternt laboratorium. Ikke akkrediteret prøvning

pH (1 % vandig opslemning)	11,8
----------------------------	------

Side 3 af 3

Rekvirent:

Sag 16780
Vedr. : Miljøstyrelsen

Journal nr.: 402662

2001.09.17

Att. : JCR

PRØVNINGSRAPPORT

Undersøgelse af fast brændsel

Sag. nr. : 16780
Rekvissions nr. : -
Prøve modtaget d. : 2001.08.15
Prøvningstermin : 2001.08.15-2001.09.17
Udarbejdet af : Henning Munk Jensen

Resultaterne for prøvningen findes på side: 2-3

Præcision og usikkerhed jvf. vedlagte bilag.

dk-TEKNIK ENERGI & MILJØ


Susanne Westborg

Side 1 af 3

Prøvningsrapporten må kun gengives i uddrag efter skriftlig godkendelse fra dk-TEKNIK. Prøvningsresultaterne gælder udelukkende de prøvede emner.
The test report shall not be reproduced except in full without the written approval of dk-TEKNIK. The test results relate only to the items tested.

Undersøgelse af slagge/aske fra fast brændsel				
Prøve af	Cyclonaske			
Mærket	Græsted Varmeværk, træflis, Cyclonaske			
Prøvens størrelse	2306,4	g	Emballage	Tæt metal spand
Forbehandling af prøve:	Er foretaget i henhold til DIN 51701			
Bestanddel			Basis: Vandfri prøve	Indleveret prøve
Vand	ISO/DIS 589		-	0,9 %
Aske	ISO 1171, mod. til 550°C		*/** 89,8 %	*/** 89,0 %
Svovl	(S) ASTM D 1757		∕ %	∕ %
Chlor	(Cl) ISO 587		∕ %	∕ %
Chlor, vandopløselig	(Cl) dk-TEKNIK		2,9 %	2,9 %
Bortglødeligt	Beregnet som 100 – Vand – Aske		10,2 %	10,1 %
Carbon, TC	(C) prEN 13137	*	∕ %	∕ %
Carbonat-carbon, TIC	(C) prEN 13137	*	∕ %	∕ %
TOC (TC – TIC)	(C) prEN 13137	*	∕ %	∕ %
Restenergi	Øvre brændværdi jvf. ISO 1928, uden korr. for S		∕ MJ/kg	∕ MJ/kg
Askens smelteforløb	ISO 540, mod. til 550°C aske	Bestemt i:	Reducerende atm.	Prøveform: Terning
Blødgørings	temperatur	(IDT)		∕ °C
Halvkugle	temperatur	(HT)		∕ °C
Flyde	temperatur	(FT)		∕ °C
Bemærkninger:	* Mekanisk sigtning (ISO 1953):			
	99,7 % < 0,5 mm			
	99,2 % < 0,25 mm			
	96,4 % < 0,125 mm			
	* Ikke akkrediteret prøvning.			
	** Resultaterne kunne ikke overholde kravet til præcision og den angivne værdi er et gennemsnit af 4 enkeltbestemmelser med en relativ standardafvigelse (% CV) på 1,0.			
	Ved udglødningen dannedes der krystalagtige ansamlinger på askens overflade.			
	∕: Ikke analyseret parameter.			



Journal nr.: 402662

Undersøgelse af slagge/aske fra fast brændsel

Prøve af Cyclonaske
Mærket Græsted Varmeværk, træflis, Cyclonaske

Prøvens størrelse 2306,4 g Emballage Tæt metal spand

Resultater :

Parameter	metode	mg/kg tør prøve	mg /kg indleveret prøve
Phosphor, vandopl.	M-1502 ^{*)}	< 10	< 10
Phosphor, citratopl.	MK1040-ICP ^{*)}	< 130	< 130
Phosphor, total	MK4252-Nordfor. ^{*)}	17000	17000

^{*)} Udført af eksternt laboratorium. Ikke akkrediteret prøvning

Parameter	metode	mg/kg tør prøve	mg /kg indleveret prøve
Bly (Pb)	DS 259/ICP-AES ^{*)}	71	70
Cadmium (Cd)	DS 259/ICP-AES ^{*)}	59	58
Chrom (Cr)	DS 259/ICP-QMS ^{*)}	22	22
Kalium (K)	DS 259/ICP-AES ^{*)}	87000	86000
Kviksølv (Hg)	DS 259/AFS ^{*)}	0,47	0,47
Nikkel (Ni)	DS 259/ICP-AES ^{*)}	27	26

^{*)} Udført af eksternt laboratorium. Ikke akkrediteret prøvning

pH (1 % vandig opslemning)	12,5
----------------------------	------

Side 3 af 3

Rekvirent:

Sag 16780
Vedr. : Miljøstyrelsen

Journal nr.: 402663

2001.09.17

Att. : JCR

PRØVNINGSRAPPORT

Undersøgelse af fast brændsel

Sag. nr. : 16780
Rekvissions nr. : -
Prøve modtaget d. : 2001.08.15
Prøvningstermin : 2001.08.15-2001.09.17
Udarbejdet af : Henning Munk Jensen

Resultaterne for prøvningen findes på side: 2-3

Præcision og usikkerhed jvf. vedlagte bilag.

dk-TEKNIK ENERGI & MILJØ


Susanne Westborg

Side 1 af 3

Prøvningsrapporten må kun gengives i uddrag efter skriftlig godkendelse fra dk-TEKNIK. Prøvningsresultaterne gælder udelukkende de prøvede emner.
The test report shall not be reproduced except in full without the written approval of dk-TEKNIK. The test results relate only to the items tested.

Undersøgelse af slagge/aske fra fast brændsel				
Prøve af	Slam			
Mærket	Græsted Varmeværk, træflis, kondensatslam			
Prøvens størrelse	7017,7	g	Emballage	Tæt plast spand
Forbehandling af prøve:	Er foretaget i henhold til DIN 51701			
Bestanddel			Basis: Vandfri prøve	Indleveret prøve
Vand	ISO/DIS 589		-	91,1 %
Aske	ISO 1171, mod. til 550°C		73,3 %	6,5 %
Svovl	(S) ASTM D 1757		// %	// %
Chlor	(Cl) ISO 587		// %	// %
Chlor, vandopløselig	(Cl) dk-TEKNIK		0,63 %	0,056 %
Bortglødeligt	Beregnet som 100 – Vand – Aske		26,7 %	2,4 %
Carbon, TC	(C) prEN 13137	*	// %	// %
Carbonat-carbon, TIC	(C) prEN 13137	*	// %	// %
TOC (TC – TIC)	(C) prEN 13137	*	// %	// %
Restenergi	Øvre brændværdi jvf. ISO 1928, uden korr. for S		// MJ/kg	// MJ/kg
Askens smelteforløb	ISO 540, mod. til 550°C aske	Bestemt i:	Reducerende atm.	Prøveform: Terning
Blødgørings	temperatur	(IDT)		// °C
Halvkugle	temperatur	(HT)		// °C
Flyde	temperatur	(FT)		// °C
Bemærkninger:				
* Ikke akkrediteret prøvning.				
// Ikke analyseret parameter.				



Journal nr.: 402663

Undersøgelse af slagge/aske fra fast brændsel

Prøve af Slam
Mærket Græsted Varmeværk, træflis, kondensatslam

Prøvens størrelse 7017,7 g Emballage Tæt plast spand

Resultater :

Parameter	metode	mg/kg tør prøve	mg /kg indleveret prøve
Phosphor, vandopl.	M-1502 ^{*)}	< 10	< 1
Phosphor, citratopl.	MK1040-ICP ^{*)}	530	47
Phosphor, total	MK4252-Nordfor. ^{*)}	8600	760

^{*)} Udført af eksternt laboratorium. Ikke akkrediteret prøvning

Parameter	metode	mg/kg tør prøve	mg /kg indleveret prøve
Bly (Pb)	DS 259/ICP-AES ^{*)}	120	10
Cadmium (Cd)	DS 259/ICP-AES ^{*)}	84	7,5
Chrom (Cr)	DS 259/ICP-QMS ^{*)}	6,3	0,56
Kalium (K)	DS 259/ICP-AES ^{*)}	8700	770
Kviksølv (Hg)	DS 259/AFS ^{*)}	0,92	0,081
Nikkel (Ni)	DS 259/ICP-QMS ^{*)}	17	1,5

^{*)} Udført af eksternt laboratorium. Ikke akkrediteret prøvning

pH (1 % vandig opslerning)	9,5
----------------------------	-----

Side 3 af 3

Rekurent:

Sag 16780
Vedr. : Miljøstyrelsen

Journal nr.: 402670

2001.09.17

Att. : JCR

PRØVNINGSRAPPORT

Undersøgelse af fast brændsel

Sag. nr. : 16780
Rekvisitions nr. : -
Prøve modtaget d. : 2001.08.16
Prøvningstermin : 2001.08.16-2001.09.17
Udarbejdet af : Henning Munk Jensen

Resultaterne for prøvningen findes på side: 2-3

Præcision og usikkerhed jvf. vedlagte bilag.

dk-TEKNIK ENERGI & MILJØ


Susanne Westborg

Side 1 af 3

Prøvningsrapporten må kun gengives i uddrag efter skriftlig godkendelse fra dk-TEKNIK. Prøvningsresultaterne gælder udelukkende de prøvede emner.
The test report shall not be reproduced except in full without the written approval of dk-TEKNIK. The test results relate only to the items tested.

Undersøgelse af slagge/aske fra fast brændsel				
Prøve af	Bundaske			
Mærket	Hurup Fjernvarmeværk, bundaske, råprøve 1-3			
Prøvens størrelse	27962,2	g	Emballage	3 Tætte plast spande
Forbehandling af prøve:	Er foretaget i henhold til DIN 51701			
Bestanddel			Basis: Vandfri prøve	Indleveret prøve
Vand	ISO/DIS 589		-	0,5 %
Aske	ISO 1171, mod. til 550°C		98,9 %	98,4 %
Svovl	(S) ASTM D 1757		∕ %	∕ %
Chlor	(Cl) ISO 587		∕ %	∕ %
Chlor, vandopløselig	(Cl) dk-TEKNIK		0,17 %	0,17 %
Bortglødeligt	Beregnet som 100 – Vand – Aske		1,1 %	1,1 %
Carbon, TC	(C) prEN 13137	*	∕ %	∕ %
Carbonat-carbon, TIC	(C) prEN 13137	*	∕ %	∕ %
TOC (TC – TIC)	(C) prEN 13137	*	∕ %	∕ %
Restenergi	Øvre brændværdi jvf. ISO 1928, uden korr. for S		∕ MJ/kg	∕ MJ/kg
Askens smelteforløb	ISO 540, mod. til 550°C aske	Bestemt i:	Reducerende atm.	Prøveform: Terning
Blødgørings	temperatur	(IDT)		∕ °C
Halvkugle	temperatur	(HT)		∕ °C
Flyde	temperatur	(FT)		∕ °C
Bemærkninger:	* Mekanisk sigtning (ISO 1953):			
	94	% <	45	mm
	80	% <	31,5	mm
	52	% <	10	mm
	46	% <	4	mm
	40	% <	2	mm
	* Ikke akkrediteret prøvning.			
	∕ Ikke analyseret parameter.			



Journal nr.: 402670

Undersøgelse af slagge/aske fra fast brændsel

Prøve af Bundaske
Mærket Hurup Fjernvarmeværk, bundaske, råprøve 1-3

Prøvens størrelse 27962,2 g Emballage 3 Tætte plast spande

Resultater :

Parameter	metode	mg/kg tør prøve	mg /kg indleveret prøve
Phosphor, vandopl.	M-1502 ^{*)}	< 10	< 10
Phosphor, citratopl.	MK1040-ICP ^{*)}	9500	9500
Phosphor, total	MK4252-Nordfor. ^{*)}	25000	25000

^{*)} Udført af eksternt laboratorium. Ikke akkrediteret prøvning

Parameter	metode	mg/kg tør prøve	mg /kg indleveret prøve
Bly (Pb)	DS 259/ICP-QMS ^{*)}	8,6	8,5
Cadmium (Cd)	DS 259/ICP-QMS ^{*)}	2,7	2,7
Chrom (Cr)	DS 259/ICP-QMS ^{*)}	20	20
Kalium (K)	DS 259/ICP-AES ^{*)}	82000	81000
Kviksølv (Hg)	DS 259/AFS ^{*)}	< 0,04	< 0,04
Nikkel (Ni)	DS 259/ICP-AES ^{*)}	24	24

^{*)} Udført af eksternt laboratorium. Ikke akkrediteret prøvning

pH (1 % vandig opslæmning)	11,6
----------------------------	------

Side 3 af 3

Rekvirent:

Sag 16780
Vedr. : Miljøstyrelsen

Journal nr.: 402671

2001.09.17

Att. : JCR

PRØVNINGSRAPPORT

Undersøgelse af fast brændsel

Sag. nr. : 16780
Rekvissions nr. : -
Prøve modtaget d. : 2001.08.16
Prøvningstermin : 2001.08.16-2001.09.17
Udarbejdet af : Henning Munk Jensen

Resultaterne for prøvningen findes på side: 2-3

Præcision og usikkerhed jvf. vedlagte bilag.

dk-TEKNIK ENERGI & MILJØ


Susanne Westborg

Side 1 af 3

Prøvningsrapporten må kun gengives i uddrag efter skriftlig godkendelse fra dk-TEKNIK. Prøvningsresultaterne gælder udelukkende de prøvede emner.
The test report shall not be reproduced except in full without the written approval of dk-TEKNIK. The test results relate only to the items tested.

Undersøgelse af slagge/aske fra fast brændsel					
Prøve af	Cyclonaske				
Mærket	Hurup Fjernvarmeverk, Cyclonaske, råprøve 1-3				
Prøvens størrelse	8143,6	g	Emballage	2 Tætte plast spande	
Forbehandling af prøve:			Er foretaget i henhold til DIN 51701		
Bestanddel			Basis:	Vandfri prøve	Indleveret prøve
Vand	ISO/DIS 589			-	1,4 %
Aske	ISO 1171, mod. til 550°C			92,3 %	91,0 %
Svovl	(S) ASTM D 1757			∕ %	∕ %
Chlor	(Cl) ISO 587			∕ %	∕ %
Chlor, vandopløselig	(Cl) dk-TEKNIK			3,7 %	3,6 %
Bortglødeligt	Beregnet som 100 – Vand – Aske			7,7 %	7,6 %
Carbon, TC	(C) prEN 13137		*	∕ %	∕ %
Carbonat-carbon, TIC	(C) prEN 13137		*	∕ %	∕ %
TOC (TC – TIC)	(C) prEN 13137		*	∕ %	∕ %
Restenergi	Øvre brændværdi jvf. ISO 1928, uden korr. for S			∕ MJ/kg	∕ MJ/kg
Askens smelteforløb	ISO 540, mod. til 550°C aske	Bestemt i:	Reducerende atm.	Prøveform: Terning	
Blødgørings	temperatur	(IDT)		∕	°C
Halvkugle	temperatur	(HT)		∕	°C
Flyde	temperatur	(FT)		∕	°C
Bemærkninger:	* Mekanisk sigtning (ISO 1953):				
	98,3 %	<	0,5 mm		
	95,9 %	<	0,25 mm		
	90,2 %	<	0,125 mm		
* Ikke akkrediteret prøvning.					
∕ Ikke analyseret parameter.					



Journal nr.: 402671

Undersøgelse af slagge/aske fra fast brændsel

Prøve af Cyclonaske
Mærket Hurup Fjernvarmeværk, Cyclonaske, råprøve 1-3

Prøvens størrelse 8143,6 g Emballage 2 Tætte plast spande

Resultater :

Parameter	metode	mg/kg tør prøve	mg /kg indleveret prøve
Phosphor, vandopl.	M-1502 ^{*)}	< 10	< 10
Phosphor, citratopl.	MK1040-ICP ^{*)}	< 130	< 130
Phosphor, total	MK4252-Nordfor. ^{*)}	30000	30000

^{*)} Udført af eksternt laboratorium. Ikke akkrediteret prøvning

Parameter	metode	mg/kg tør prøve	mg /kg indleveret prøve
Bly (Pb)	DS 259/ICP-AES ^{*)}	120	120
Cadmium (Cd)	DS 259/ICP-AES ^{*)}	48	47
Chrom (Cr)	DS 259/ICP-AES ^{*)}	47	46
Kalium (K)	DS 259/ICP-AES ^{*)}	93000	91000
Kviksølv (Hg)	DS 259/AFS ^{*)}	0,84	0,83
Nikkel (Ni)	DS 259/ICP-AES ^{*)}	55	54

^{*)} Udført af eksternt laboratorium. Ikke akkrediteret prøvning

pH (1 % vandig opslemning) 11,9

Side 3 af 3

1 PAH analyserapport

KEMISK ANALYSE RAPPORT

Side 1 af 3
DMU 2001-11-30

Rekvirent: DK Teknik

Udtaget af: DK Teknik

Analyseret af: Afdelingen for Miljøkemi
Danmarks Miljøundersøgelser
Frederiksborgvej 399, 4000 Roskilde

Analyse dato: 15. oktober 2001 – 28. november 2001

Prøvetype: Bioaske

prøve nr. ID	01-1033mk	01-1034mk	01-1035mk	Enhed
	Rødby Varmeværk Bundaske 402535	Rødby Varmeværk Cyclonaske 402536	Rødby Varmeværk Filteraske 402537	
Naphthalen	155,9	3385,5	4122,3	µg/kg TS
2-Methylnaphthalen	128,5	302,8	197,1	µg/kg TS
1-Methylnaphthalen	155,9	3385,5	4122,3	µg/kg TS
Dimethylnaphthalener	88,6	109,8	71,2	µg/kg TS
Trimethylnaphthalener	74,7	109,1	278,9	µg/kg TS
Acenaphthylen	13,0	769,9	264,0	µg/kg TS
Acenaphthen	1,2	3,6	2,1	µg/kg TS
Fluoren	7,2	17,7	10,7	µg/kg TS
Dibenzothiophen	8,7	8,6	21,3	µg/kg TS
C1-Dibenzothiophener	2,8	3,9	6,0	µg/kg TS
Phenanthren	47,4	572,9	5134,9	µg/kg TS
2-Methylphenanthren	7,0	7,1	12,0	µg/kg TS
3,6-Dimethylphenanthren	<0,1	0,6	1,3	µg/kg TS
Anthracen	1,5	27,6	<0,1	µg/kg TS
Fluoranthren	30,9	353,0	4403,5	µg/kg TS
Pyren	28,9	243,1	718,9	µg/kg TS
1-Methylpyren	0,3	1,7	3,7	µg/kg TS
Benz(a)fluoren	0,1	0,7	0,9	µg/kg TS
Benz(a)anthracen	1,0	8,4	72,8	µg/kg TS
Chrysen_triphenylen	1,9	29,9	328,8	µg/kg TS
Benz(b+k)fluoranthren	2,6	21,0	267,4	µg/kg TS
Benz(e)pyren	<0,1	18,7	171,9	µg/kg TS
Benz(a)pyren	<0,1	12,1	81,3	µg/kg TS
Perylen	<0,1	1,3	11,5	µg/kg TS
Indeno(1,2,3-cd)pyren	<0,1	5,2	88,7	µg/kg TS
Dibenz(a,h)anthracen	<0,1	9,4	<0,1	µg/kg TS
Benz(ghi)perylen	<0,1	26,9	164,9	µg/kg TS
sum PAH	0,758	9,436	20,558	mg/kg TS

Rapporten må ikke gengives i uddrag uden DMU's skriftlige tilladelse.
Resultaterne i denne rapport gælder kun de udtagne prøver.


Pia Lassen, Seniorforsker
Afd. Miljøkemi

KEMISK ANALYSE RAPPORT

Side 2 af 3
DMU 2001-11-30

Rekvirent: DK Teknik

Udtaget af: DK Teknik

Analyseret af: Afdelingen for Miljøkemi
Danmarks Miljøundersøgelser
Frederiksborgvej 399, 4000 Roskilde

Analyse dato: 15. oktober 2001 – 28. november 2001

Prøvetype: Bioaske

prøve nr. ID	01-1036mk Høng Varmeværk Bundaske 402537	01-1037mk Høng Varmeværk Cyklonaske 402539	01-1038mk Høng Varmeværk Filteraske 402540	Enhed
Naphthalen	321,5	5917,2	2403,1	µg/kg TS
2-Methylnaphthalen	199,2	366,4	293,6	µg/kg TS
1-Methylnaphthalen	321,5	5917,2	2403,1	µg/kg TS
Dimethylnaphthalener	187,7	115,3	286,9	µg/kg TS
Trimethylnaphthalener	349,8	131,5	1150,4	µg/kg TS
Acenaphthylen	147,7	1294,2	93,0	µg/kg TS
Acenaphthen	7,8	10,1	5,6	µg/kg TS
Fluoren	28,3	24,9	46,5	µg/kg TS
Dibenzothiophen	12,8	15,3	25,6	µg/kg TS
C1-Dibenzothiophener	41,7	3,5	45,1	µg/kg TS
Phenanthren	178,9	2763,6	2478,3	µg/kg TS
2-Methylphenanthren	58,7	16,0	68,9	µg/kg TS
3,6-Dimethylphenanthren	9,3	0,8	9,2	µg/kg TS
Anthracen	28,3	70,3	<0,1	µg/kg TS
Fluoranthren	110,6	2247,7	3988,3	µg/kg TS
Pyren	207,6	940,1	529,0	µg/kg TS
1-Methylpyren	13,6	11,2	35,9	µg/kg TS
Benz(a)fluoren	4,4	2,4	5,8	µg/kg TS
Benz(a)anthracen	9,2	73,8	70,5	µg/kg TS
Chrysen_triphenylen	33,7	346,6	513,0	µg/kg TS
Benz(b+k)fluoranthren	7,3	260,1	402,5	µg/kg TS
Benz(c)pyren	18,9	240,1	608,7	µg/kg TS
Benz(a)pyren	20,3	69,2	52,9	µg/kg TS
Perylen	2,1	6,7	12,7	µg/kg TS
Indeno(1,2,3-cd)pyren	4,2	100,6	156,6	µg/kg TS
Dibenz(a,h)anthracen	23,3	10,7	17,7	µg/kg TS
Benz(ghi)perylene	48,4	127,8	271,4	µg/kg TS
sum PAH	2,397	21,083	15,974	mg/kg TS

Rapporten må ikke gengives i uddrag uden DMU's skriftlige tilladelse.
Resultaterne i denne rapport gælder kun de udtagne prøver.



Pia Lassen, Seniorforsker
Afd. Miljøkemi

KEMISK ANALYSE RAPPORT

Side 3 af 3
DMU 2001-11-30

Rekvirent: DK Teknik

Udtaget af: DK Teknik

Analyseret af: Afdelingen for Miljøkemi
Danmarks Miljøundersøgelser
Frederiksborgvej 399, 4000 Roskilde

Analyse dato: 15. oktober 2001 – 28. november 2001

Prøvetype: Bioaske

prøve nr.	01-1039mk Græsted Bundaske 402661	01-1040mk Græsted Cyklonaske 402662	01-1041mk Græsted Kondensatsslam 402663	01-1042mk Hurup Bundaske 402670	01-1043mk Hurup cyklonaske 402671	Enhed
ID						
Naphthalen	37,4	5752,1	716,3	192,9	2042,4	µg/kg TS
2-Methylnaphthalen	54,8	797,2	223,3	174,2	366,2	µg/kg TS
1-Methylnaphthalen	37,4	5752,1	716,3	192,9	2042,4	µg/kg TS
Dimethylnaphthalener	38,9	186,4	91,2	348,0	137,1	µg/kg TS
Trimethylnaphthalener	57,2	440,4	130,0	757,5	165,9	µg/kg TS
Acenaphthylen	9,8	58,6	19,8	21,9	281,0	µg/kg TS
Acenaphten	0,7	2,2	1,1	6,2	5,4	µg/kg TS
Fluoren	5,8	14,6	15,3	41,8	11,6	µg/kg TS
Dibenzothiophen	3,7	5,1	8,6	13,1	7,0	µg/kg TS
C1-Dibenzothiophener	1,2	2,3	5,0	47,0	4,2	µg/kg TS
Phenanthren	20,2	2693,5	1951,2	121,9	1517,1	µg/kg TS
2-Methylphenanthren	2,9	27,0	46,7	55,9	42,8	µg/kg TS
3,6-Dimethylphenanthren	0,1	0,6	2,5	<0,1	1,4	µg/kg TS
Anthracen	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	µg/kg TS
Fluoranthren	13,5	1203,6	2563,5	82,4	986,1	µg/kg TS
Pyren	11,8	412,8	1621,7	140,8	336,0	µg/kg TS
1-Methylpyren	0,1	7,2	80,1	11,2	8,9	µg/kg TS
Benz(a)fluoren	0,0	1,6	33,8	3,0	2,0	µg/kg TS
Benz(a)anthracen	0,0	66,8	908,3	4,1	92,7	µg/kg TS
Chrysen_triphenylen	0,2	351,0	2208,8	26,3	335,3	µg/kg TS
Benz(b+k)fluoranthren	<0,1	185,4	774,6	7,6	362,8	µg/kg TS
Benz(e)pyren	<0,1	146,8	685,1	21,3	322,3	µg/kg TS
Benz(a)pyren	<0,1	39,3	206,7	12,3	94,8	µg/kg TS
Perylen	<0,1	3,2	33,9	1,4	17,1	µg/kg TS
Indeno(1,2,3-cd)pyren	<0,1	45,7	148,2	<0,1	67,3	µg/kg TS
Dibenz(a,h)anthracen	2,1	15,6	1,8	<0,1	6,6	µg/kg TS
Benz(ghi)perylen	<0,1	60,4	154,0	57,7	206,2	µg/kg TS
sum PAH	0,298	18,272	13,348	2,342	9,463	mg/kg TS

Rapporten må ikke gengives i uddrag uden DMU's skriftlige tilladelse.
Resultaterne i denne rapport gælder kun de udtagne prøver.


Pia Lassen, Seniorforsker
Afd. Miljøkemi