

Kvalitet af slagge fra forbrændingsanlæg

Joan Maj Nielsen, Jan Oluf Clement og René Juul Strandgaard
COWI A/S

Niels Møller Pedersen
I/S Amagerforbrænding

Kim Crillesen
I/S Vestforbrænding

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	5
SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	7
SUMMARY AND CONCLUSIONS	9
1 SLAGGE FRA AFFALDSFORBRÆNDINGSANLÆG	11
1.1 SLAGGEMÆNGDER OG GENANVENDELSE	11
1.2 FORMÅL OG METODE FOR NÆRVÆRENDE UNDERSØGELSE	12
2 AFFALDSFORBRÆNDINGSANLÆG I DANMARK	14
2.1 PROCESPARAMETRE	14
2.1.1 <i>Forbrændingstemperatur</i>	14
2.1.2 <i>Opholdstid</i>	14
2.1.3 <i>Ilt</i>	15
2.1.4 <i>Røggas</i>	15
2.1.5 <i>Ristegennemfald</i>	16
2.1.6 <i>Primær- og sekundær luft</i>	16
2.2 ANLÆGSPARAMETRE	17
2.2.1 <i>Ovn</i>	17
2.2.2 <i>Silo</i>	20
2.2.3 <i>Ristetype og styring</i>	21
2.2.4 <i>Slaggeudtag</i>	21
2.3 ØVRIGE PARAMETRE	22
2.3.1 <i>Affaldstyper</i>	22
2.3.2 <i>Modtagekontrol, konsulenter og opblanding</i>	23
2.3.3 <i>Reguleringsparametre</i>	23
2.3.4 <i>Slaggekøling og behandling</i>	23
2.3.5 <i>Slaggeprøve</i>	27
3 SLAGGEKVALITET	30
3.1 FASTSTOFANALYSER	30
3.2 ELUATANALYSER	31
3.2.1 <i>Tungmetaller</i>	32
3.2.2 <i>Salte</i>	34
3.3 ELUAT- OG FASTSTOFSDIAGRAMMER	37
3.4 MIDLERTIDIGE KAT. 2 KRAV TIL SALTE	39
3.5 PRØVEUDTAGNING OG SLAGGEMODNING	39
3.5.1 <i>Usikkerhed forbundet med prøveudtagning</i>	39
3.5.2 <i>Slaggemodning</i>	44
4 VURDERING AF FORSKELLIGE PARAMETRES INDFLYDELSE PÅ SLAGGEKVALITETEN	46
4.1 FORBRÆNDINGSANLÆG, DER PRODUCERER KAT. 2 SLAGGE	46
4.2 PARAMETRE MED MULIG INDFLYDELSE	47
4.2.1 <i>Affaldstyper</i>	47
4.2.2 <i>Forbrændingskapacitet</i>	49
4.2.3 <i>Forbrændingstemperatur</i>	50
4.2.4 <i>Ovnstype</i>	51

4.3	PARAMETRE UDEN PÅVIST INDFLYDELSE	53
4.3.1	<i>Silo</i>	53
4.3.2	<i>Vandkølede ristesektioner</i>	53
4.3.3	<i>Slaggeudtag</i>	54
4.3.4	<i>Opholdstiden</i>	54
4.3.5	<i>Regulering af forbrændingsluft</i>	54
4.3.6	<i>Ristegennemfald</i>	54
4.3.7	<i>Kedelaske</i>	54
4.3.8	<i>Anvendelse af vaskevand</i>	55
4.3.9	<i>Tilknytning af erhvervsaffaldskonsulent</i>	55
4.3.10	<i>Slaggemodning</i>	55
5	KONKLUSION OG ANBEFALINGER	57
5.1	KONKLUSION	57
5.2	ANBEFALINGER	58
5.2.1	<i>Krav til prøvetagningsmetode i bekendtgørelsen</i>	58
5.2.2	<i>Yderligere undersøgelser</i>	58
6	REFERENCELISTE	59

BILAG

Bilag A	Deltagende affaldsforbrændingsanlæg
Bilag B	Spørgeskema
Bilag C	Krav til faststof- og eluatindhold iht. Bekendtgørelse om genanvendelse af restprodukter og jord til bygge- og anlægsarbejder
Bilag D	Antal slaggeanalyser, der overholder kat. 2 krav til udvaskning af tungmetaller
Bilag E	Antal slaggeanalyser, der overholder kat. 2 krav til udvaskning af salte
Bilag F	Eluat- og faststofdiagrammer for arsen, bly, cadmium, nikkel og zink

Forord

Nærværende rapport er udarbejdet af COWI A/S, I/S Amagerforbrænding og Vestforbrænding. Rapporten har været forelagt en følgegruppe, som har bidraget med kommentarer og forslag. Følgegruppen har bestået af:

Babcock, Wilcox & Vølund: Erhardt Mogensen

Elsam: Kurt Pedersen

Affaldsteknisk Samarbejde: Niels Møller Pedersen, I/S Amagerforbrænding
Kim Crillesen, I/S Vestforbrænding

Rapporten er skrevet og kvalitetssikret af Jan Oluf Clement, René Juul Strandgaard og Joan Maj Nielsen, COWI A/S, Niels Møller Pedersen, I/S Amagerforbrænding og Kim Crillesen, I/S Vestforbrænding.

Projektet er finansieret af Miljøstyrelsen og har været fulgt af Tonny Christensen og Anja Dalberg, Miljøstyrelsen.

I denne undersøgelse har 23 ud af de 30 daværende danske affaldsforbrændingsanlæg valgt at deltage.

Anlæggene er ikke anonymiserede i denne undersøgelse, også selvom dette blev lovet under dataindsamlingen. Det er vurderet, at der ville gå en del information tabt ved at anonymisere anlæggene, og anlægsejerne har inden offentliggørelse af rapporten accepteret at anlæggene ikke er anonymiseret i rapporten.

Når der i rapporten refereres til størstedelen eller en vis andel af anlæggene, refereres der til den andel af anlæggene, der har deltaget i undersøgelsen og ikke alle de danske affaldsforbrændingsanlæg.

Sammenfatning og konklusioner

Miljøstyrelsen ønsker, at slagge fra affaldsforbrændingsanlæg fortsat skal genanvendes i samme høje grad som tidligere. Samtidig er der blevet stillet skarpere krav til udvaskningen af visse tungmetaller og salte. Skærpelsen af kravene har medført, at kvaliteten af slaggen skal forbedres, hvis slaggen skal kunne anvendes til bygge- og anlægsarbejder som kat. 1 eller kat. 2 slagge iht. bekendtgørelsen¹.

Nærværende undersøgelse har til formål at undersøge mulighederne for at forbedre slagge kvaliteten via optimering af forbrændingsprocessen. Dette er gjort ved at identificere de anlægs- og procesparametre, der har indflydelse på slagge kvaliteten.

Den overordnede fremgangsmåde for undersøgelsen har været følgende:

- Udarbejdelse af spørgeskema til brug ved indsamling af data fra de danske forbrændingsanlæg.
- Indsamling af data (udfyldte spørgeskemaer) om de danske forbrændingsanlæg og slaggeanalyser foretaget i 2001.
- Databehandling og evaluering af de indsamlede data, hvor forbrændings eksperter har vurderet om de fundne sammenhænge er sandsynlige.
- Afrapportering om de anlægs- og procesparametre, der synes at have indflydelse på slagge kvaliteten.

Treogtyve (23) af de danske affaldsforbrændingsanlæg valgte at deltage i undersøgelsen.

De indsamlede slaggeanalyser viser, at der ikke er nogen klar sammenhæng mellem faststofindholdet og eluatindholdet. Da størstedelen af slaggeprøverne ikke overholder kat. 1 krav til faststofindholdet i bekendtgørelsen, vil det være eluatindholdet, der vil være afgørende for i hvilken kategori slaggen skal kategoriseres.

Ingen af anlæggene er i stand til at overholde kat. 2 kravene til udvaskning af saltene. Næsten alle anlæggene er i stand til at overholde de midlertidige kat. 2 krav til udvaskning af saltene.

Størstedelen af slaggeanalyserne kan ikke overholde kat. 2 kravene til udvaskning af krom eller kobber. Det er derfor valgt i denne undersøgelse at definere slagge kvaliteten som udvaskning af krom og kobber.

Ét af de deltagende anlæg producerede i 2001 en væsentlig bedre slagge end de øvrige anlæg. Dette er Reno-Nord. Slaggeanalyserne fra Reno-Nord overholdt kat. 2 kravene til udvaskning af krom og kat. 3 kravene til udvaskning af kobber. Udvasningen af de øvrige tungmetaller fra

¹ BEK 655 af 27. juni 2000 "Bekendtgørelse om genanvendelse af restprodukter og jord til bygge og anlægsarbejder"

slaggeprøverne fra Reno-Nord overholdt alle kat. 2 kravene. Ingen af slaggeprøverne faldt uden for kat. 3.

Ud fra de indsamlede data har det været muligt at identificere én anlægsparameter, der har indflydelse på slagge kvaliteten (udvaskningen af krom), og dette er ovntypen. De indsamlede data viser, at udvaskningen af krom fra slagge fra anlæg med en roterovn i forlængelse af risteovnen ligger i den lave ende sammenlignet med udvaskningen fra slagge fra anlæg med andre ovntyper. Antallet af forbrændingsanlæg med roterovne i Danmark er meget lille og findes kun hos Vestforbrænding (anlæg 1-4) og hos Reno-Nord, hvilket gør det statistiske datamateriale meget begrænset.

Mht. udvaskningen af kobber producerer Kolding det bedste slagge i Danmark, men flere af slaggeprøverne fra Kolding falder uden for kategori mht. udvaskningen af andre tungmetaller (bly og krom). Udvasningen af kobber fra størstedelen af slaggeprøverne fra Reno-Nord og Vestforbrænding ligger i den bedste halvdel for slaggeprøverne. Det vurderes derfor, at roterovnen også har en positiv indflydelse på udvaskningen af kobber fra slaggen.

Resultaterne fra undersøgelsen kan ikke udelukke at temperaturforholdene også har en indflydelse på slagge kvaliteten. Det har dog ikke været muligt at påvise dette med det indsamlede datamateriale.

Summary and Conclusions

The Danish Environmental Protection Agency is aiming at maintaining the rate of recycling of bottom ash from municipal waste incineration plants at the same high level as previously. Intensification of the requirements for leaching tests means that the quality of bottom ash must be improved if it is to be used for construction work as category 1² or category 2 bottom ash.

The aim of the present study was to identify the design and process parameters which may influence the quality of bottom ash from municipal waste incineration plants.

The overall method for the study was as follows:

- Preparation of a questionnaire for collection of data regarding the Danish municipal waste incineration plants;
- Collection of data (completed questionnaires) from the Danish municipal waste incineration plants and analyses of bottom ash from 2001;
- Processing and evaluation of the data collected, where incineration experts evaluate whether the correlations identified are plausible;
- Reporting on the design and process parameters which seem to influence the quality of bottom ash.

Twenty-three municipal waste incineration plants chose to participate in the study.

The analyses of the bottom ashes collected showed that there is no obvious correlation between the concentration of salt and heavy metals in bottom ash and in the leachate. The majority of the samples of bottom ashes do not comply with the category 1 requirements on the content in bottom ashes. Thus, the concentration in the leachate will determine the classification of the bottom ashes.

None of the municipal waste incineration plants can fulfil the category 2 requirements on leaching of salts. Almost all of the incineration plants are capable of fulfilling the temporary category 2 requirements on leaching of the salts.

The majority of the samples of bottom ash do not comply with the category 2 requirements on leaching of chrome and copper. Therefore, it was decided to define the quality of the bottom ash as the concentration of chrome and copper in the leachate.

In 2001, one of the participating incineration plants generated significantly better quality bottom ash than the other municipal waste incineration plants. The plant is Reno-Nord. The analyses of the bottom ashes from Reno-Nord

² According to the Danish Order on recycling of waste residues and soil for construction works, Order No. 655, 27th June 2000

complied with the category 2 requirements on chrome in the leachate and it complied with the category 3 requirements on copper in the leachate. Leaching of the remaining heavy metals from the bottom ash samples from Reno-Nord fulfilled all the category 2 requirements. Similarly, none of the bottom ash samples exceeded the category 3 requirements.

On the basis of the design and process data collected from the municipal waste incineration plants, it has been possible to identify one design parameter which influences the quality of the bottom ash (leaching of chrome), and this is the presence of a rotary kiln. The data collected shows that leaching of chrome from bottom ash from incineration plants equipped with a rotary kiln is much lower than leaching from incineration plants with other types of kiln. Municipal waste incineration plants with rotary kilns in Denmark are only at Vestforbrænding (plant 1-4) and at Reno-Nord. Thus, the statistical data are rather limited.

Kolding generates the best bottom ash in Denmark in relation to leaching of copper from the bottom ash. Unfortunately, several of the samples of bottom ash from Kolding exceed the category 3 requirements regarding leaching of other heavy metals (lead and chrome). Leaching of copper from the majority of the samples of bottom ash from Reno-Nord and Vestforbrænding are amongst the best 50 per cent of the bottom ashes. Therefore it is concluded that the rotary kiln has a positive influence on the leaching of copper from the bottom ashes as well.

The result of the study cannot exclude the possibility that the temperature in the kiln may have an influence on the quality of the bottom ash. Unfortunately, it has not been possible to prove such a correlation with the data material collected.

1 Slagge fra affaldsforbrændingsanlæg

Affald behandles i Danmark i følgende prioriterede rækkefølge:

- Genanvendelse
- Forbrænding med energiudnyttelse
- Deponering

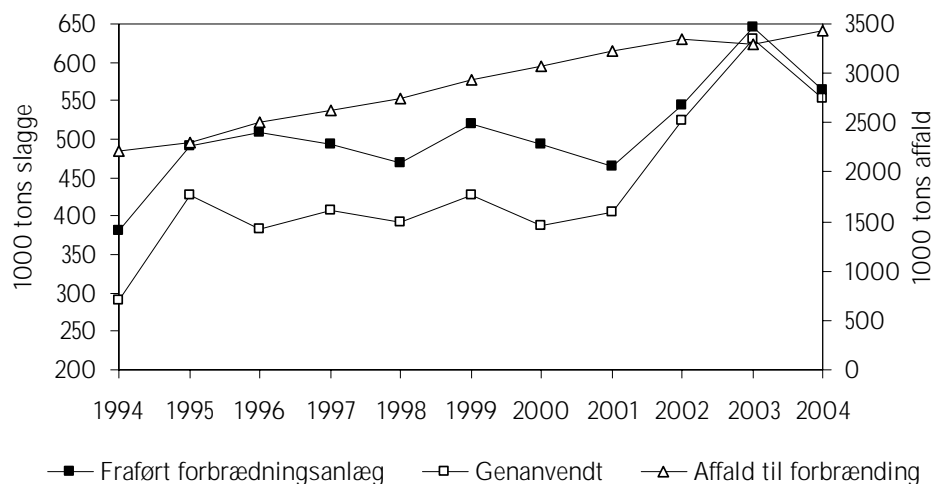
Prioriteringen af de forskellige metoder til behandling af affald understøttes ved at affald, der forbrændes eller deponeres, er belagt med en affaldsafgift, hvorimod affald, der genanvendes, er fritaget for affaldsafgiften.

Slagge fra affaldsforbrændingsanlæg genanvendes hovedsageligt og genanvendelsen sker primært i forbindelse med bygge- og anlægsarbejder.

1.1 Slaggemængder og genanvendelse

Figur 1-1 viser slaggemængden, der er fraført de danske forbrændingsanlæg i perioden 1994-2004 baseret på data registreret i Miljøstyrelsen affaldsstatistik (Kilde /1/, /2/ og /3/). Det ses, at der årligt er fraført ca. 500.000 tons slagge (1994-2001) fra de danske forbrændingsanlæg, selvom at affaldsmængden i perioden er steget med ca. 50 % fra 2,2 til 3,2 mio. tons affald/år. I perioden 2002-2004 har den fraførte slaggemængde ligget på 550-660.000 tons - højest i 2003. Den fraførte slaggemængde svarer ikke præcist til den producerede mængde slagge, idet en del af slaggemængden deponeres - specielt for perioden 1994-2001.

Den årlige genanvendelse af slaggen har - bortset fra 1994 og perioden 2002-2004 - ligget relativt konstant omkring 400.000 tons pr. år. Produktionen af slagge har varieret mellem 14 % og 21 % af den indførte affaldsmængde. Genanvendelse af slaggen har i perioden været 75 % - 98 %, hvor den største genanvendelse fandt sted i 2002-2004. I hele perioden har der i gennemsnit været genanvendt 87 % af den producerede mængde slagge eller 152 kg slagge pr. ton indfyret affald.



Figur 1-1

Affaldsmængder til ført de danske forbrændingsanlæg samt slaggemængden fraført forbrændingsanlæggene og den genanvendte slaggemængde i perioden 1994-2004. Kilde /1/ og /2/

Målet i Affald 21 for genanvendelse af slagge fra affaldsforbrændingsanlæg var 70 % for 2004 og dette mål blev allerede nået i 1994. Målet for genanvendelse af slaggen for 2008 er sat til 85 %, hvilket har været opfyldt siden 2001.

Udover genanvendelsesmålene er der i Affaldsstrategi 2005-2008 opstillet mål for at genanvendelsen af slaggen skal ske med hensyntagen til grundvandet. Dette har medført vedtagelsen af Bekendtgørelse om genanvendelse af restprodukter og jord til bygge- og anlægsarbejder /5/, der bl.a. indførte skrappe krav til udvaskningen af visse tungmetaller og salte. Derfor skal slagge kvaliteten forbedres, hvis slaggen skal genanvendes til bygge- og anlægsarbejder som kat. 1 eller kat. 2 slagge iht. bekendtgørelsen.

1.2 Formål og metode for nærværende undersøgelse

Kvaliteten af slagge kan forbedres i tre forskellige faser:

- Kildesortering/forbehandling af affald, f.eks. homogenisering og udsortering af ikke-forbrændingseget affald
- Forbrænding af affaldet
- Efterbehandling af slagge

Nærværende undersøgelse har til formål at undersøge forbrændingens indflydelse på slagge kvaliteten. Andre projekter udført for bl.a. Miljøstyrelsen har undersøgt muligheden for kildesortering /4/ og efterbehandling (se C-res hjemmeside: www.c-res.dk).

Forbrændingens indflydelse på slagge kvaliteten er undersøgt ved at identificere de anlægs- og procesparametre, der har indflydelse på slagge kvaliteten.

Slaggekvantiteten er i denne undersøgelse blevet bedømt ud fra eluatanalyserne³ af slaggen. Eluatanalyserne er valgt, da udvaskning fra slaggen er afgørende for, hvilken kategori slaggen tilhører.

Frisk slagge vil i denne undersøgelse sige slagge, der er mellem 4-14 uger gammel. Slaggeprøverne sendes regelmæssigt til analyse - enten med et fast tidsinterval, eller når en vis mængde slagge er produceret. Dette betyder ca. én gang om måneden for Bofa og de store forbrændingsanlæg og én gang hver tredje måned for de mindre anlæg.

Slaggekvantiteten er ikke blevet vurderet ud fra egenskaber så som kornstørrelsesfordeling, permeabilitet eller andre fysiske egenskaber.

Undersøgelsen har taget udgangspunkt i de anlæg, der producerer den bedste slagge mht. udvaskning fra frisk slagge, og det er undersøgt hvorledes anlægs- og procesparametrene på disse anlæg adskiller sig fra anlægs- og procesparametrene på de andre anlæg.

Anlægs- og procesparametrene for anlæggene er indhentet gennem besvarelse af et spørgeskema. Der er udarbejdet grafiske afbildninger af udvaskningsresultaterne (for krom og kobber) som funktion af udvalgte anlægs- og procesparametre. Anlægs- og procesparametrene er blevet udvalgt ud fra ønsket om at identificere forskellen mellem anlæggene, der producerede den bedste slagge og de øvrige anlæg.

³ Eluatanalyserne: Analyseresultatet af koncentrationen af et stof i væsken fra et udvaskningsforsøg

2 Affaldsforbrændingsanlæg i Danmark

I Danmark var der i 2001 32 forbrændingsanlæg, der forbrændte affald. I denne undersøgelse har 23 af disse anlæg valgt at deltage ved at besvare et spørgeskema og fremsende analyseresultaterne for slaggen produceret i 2001. De deltagende anlæg er præsenteret i Bilag A og det anvendte spørgeskema kan ses i Bilag B.

De deltagende forbrændingsanlæg varierer i størrelse fra 2,5 tons/time (Bofa) til 76 tons/time (Vestforbrænding).

2.1 Procesparametre

I de følgende underafsnit er besvarelserne vedrørende procesparametrene for de 23 deltagende forbrændingsanlæg beskrevet. Det drejer sig om:

- forbrændingstemperatur,
- opholdstid,
- røggasmængde,
- ristegennemfald samt
- primær og sekundær luft.

2.1.1 Forbrændingstemperatur

Den nominelle temperatur i ovnene varierer mellem 850 - 1.140 °C for de 23 forbrændingsanlæg. For anlæg med en lav nominel ovntemperatur varierer temperaturen mellem 850-940 °C og for anlæg med en høj nominel ovntemperatur varierer temperaturen mellem 1.050-1.200 °C. Fem af anlæggene har alle en nominel ovntemperatur på under 1.000 °C.

Det er vigtigt at være opmærksom på, at der er en del usikkerhed forbundet med de oplyste forbrændingstemperaturer, idet temperaturen ikke er målt på samme sted i ovnen på anlæggene.

2.1.2 Opholdstid

Opholdstiden i de forskellige zoner i de 23 forbrændingsanlæg er præsenteret i Tabel 2-1. Den samlede tid for udtørring, forbrænding og udbrænding varierer mellem 30 minutter (Thisted) og 150-170 minutter (Amagerforbrænding og Bofa).

To af anlæggene (AVV og Århus Kommunale Værker) har oplyst opholdstiden i slaggekølingszonen til hhv. 30 og 15 minutter.

Opholdstiden i slaggeudtaget er langt større end opholdstiden i de øvrige zoner (ca. 4-10 gange større) for en del anlæg (Aars, AVV, Frederikshavn, Haderslev, Kara, Kavo og Thisted). For de resterende anlæg er opholdstiden i slaggeudtaget knap så stor.

Tabel 2-1
Opholdstiden i de forskellige zoner i ovnen på de 23
forbrændingsanlæg

Zone	Opholdstid (min)
Udtørningszone	3 – 60
Forbrændingszone	4 – 70
Udbrændingszone	12 – 60
Slaggekøling	15 – 30
Slaggeudtag	8 – 400

Enkelte anlæg har ikke kunne oplyse opholdstiden for de enkelte zoner, men har oplyst en samlet opholdstid på hhv. 4-5 timer og ca. 1 time.

Da opholdstiden i vid omfang er skønnet, skal tallene behandles med varsomhed. F.eks. er en opholdstid på 3 minutter i udtørningszonen og 4 minutter i forbrændingszonen meget lav, og der må her ubetinget være tale om fejlinformation.

2.1.3 Ilt

Lokaliteten og størrelsen af ilt-% for de 49 ovnlinier, der er præsenteret ved de deltagende anlæg, er præsenteret i Tabel 2-2.

Tabel 2-2
Sted og størrelsen af ilt-% for de 23 deltagende forbrændingsanlæg

Sted for ilt-%	Antal ovnlinier	Ilt-%
Mellem kedel og røggasrensning	39	6 – 15
Fra røggasrensning frem til skorsten	2	7 – 8
I skorsten	1	7
Ikke oplyst	4	9 – 12
Andet	3	9 – 12
I alt	49	–

Langt de fleste registreringer af ilt-% foretages mellem kedel og røggasrensningen og varierer fra 6 til 15 %. Et anlæg (Århus Kommune Værker) foretager 2 registreringer af ilt-% på hver ovnlinie, hhv. efter kedelen og efter røggasrensning.

2.1.4 Røggas

Røggasmængden for ovnlinierne på de 23 forbrændingsanlæg varierer mellem 15.000 - 165.000 Nm³/time, svarende til en røggasmængde på 6.000- 6.400 Nm³/ton indfyret affald.

Recirkulering af røggassen fortages kun på 7 ovnlinier fordelt på 6 af forbrændingsanlæggene. Forbrændingsanlæggene, antallet af ovnlinier og den recirkulerede røggasmængde i Nm³ og andelen af recirkuleret røggasmængde er præsenteret i Tabel 2-3.

Recirkulationsmængden er beregnet som den recirkulerede røggasmængde i forhold til den røggasmængde der dannes ved forbrændingsprocessen.

Tabel 2-3
Antal ovnlinier og den recirkulerede røggasmængde

Forbrændingsanlæg	Antal ovnlinier	Recirkulation	
		Nm ³	%
AVV	1	45.300	100
Vestforbrænding	1	30.000	18
Odense Kraftvarmeværk	1	6.000	15
Kara	1	16.100	14
Svendborg Kraftvarmeværk	1	5.000	12
Sønderborg Kraftvarme	2	6.700	10

Hovedvægten af anlæggene, der recirkulerer røggassen, recirkulerer mellem 10 og 18 %. Et enkelt anlæg (AVV) har oplyst 100 % recirkulation af røggassen, men dette er sandsynligvis ikke i forhold til røggasmængden, men i forhold til røggasmængden ledt til skorstenen.

2.1.5 Ristegennemfald

På størstedelen af forbrændingsanlæggene blandes ristegennemfaldet med slaggen. Kun to anlæg (AVV og Vestforbrænding, ovnlinie 1-4) har oplyst at ristegennemfaldet ledes tilbage til forbrændingsovnen. Alt andet lige vil tilbageføring af ristegennemfald til ovnen reducere mængden af uforbrændt i slaggen, men forskellen vurderes dog ved små mængder af ristegennemfald at være af lille betydning.

2.1.6 Primær- og sekundær luft

Gennemsnitsfordelingen af primær og sekundær forbrændingsluft er hhv. 72 og 28 %.

På 7 ovnlinier skiller fordelingen sig dog væsentligt ud fra gennemsnittet. Her er fordelingen af primær og sekundær forbrændingsluft hhv. ca. 89 og 11 %.

To af de adspurgte anlæg har ikke angivet nogen fordeling af primær og sekundær forbrændingsluft. Det ene anlæg har svaret, at de ikke er bekendt med fordelingen. Det andet anlæg har svaret, at fordelingen er lastafhængig og styret af ACC (Advanced Combustion Control) system.

2.2 Anlægsparametre

I de følgende underafsnit er besvarelsenerne vedrørende anlægsparametrene beskrevet for forbrændingsanlæggene. Det drejer sig om:

- ovnen,
- siloen,
- ristetype og styring samt
- slaggeudtaget.

2.2.1 Ovn

Antallet af ovnlinier på de danske forbrændingsanlæg, der har deltaget i undersøgelsen, varierer mellem 1 og 5. Antallet af ovnlinier samt den samlede forbrændingskapacitet på de enkelte anlæg er præsenteret i Tabel 2-4.

Tabel 2-4

Antal let af ovnlinier og den samlede forbrændingskapacitet på de enkelte anlæg

Antal ovnlinier	Forbrændingsanlæg	Samlet forbrændingskapacitet tons/time
1	AVV Bofa Knudmoseværket Frederikshavn Affaldskraftvarmeværk Kara Kraftvarmeværk Thisted Svendborg Kraftvarmeværk Sønderborg Kraftvarme	6,0 2,5 5,0 5,0 20 6,4 6,0 8,0
2	Hadsund Forbrænding Horsens Kraftvarmeværk Kavo Aars Varmeværk Kraftvarmeværk Haderslev Vega Vestfyns Forbrænding	2,6 10 8,0 8,5 9,0 5,0 4,0
3	Odense Kraftvarmeværk Fasan Refa Reno-Nord Kolding Århus Kommunale Værker	32 13,5 16 27 18 23
4	Amagerforbrænding	60
5	Vestforbrænding	76
	Samlet kapacitet	372,5

Fabrikatet på ovnene er hovedsageligt Vølund (61 %), men også B & S (Krüger) er godt repræsenteret (35 %). De forskellige ovnfabrikanter og

antallet af leverancer til de adspurgte forbrændingsanlæg er præsenteret i Tabel 2-5.

Tabel 2-5
Antal let og andelen af ovnlinier fra ovnfabrikanterne

Ovnfabrikant	Antal ovnlinier	Andel i %
Vølund	30	61
B & S Krüger	17	35
Alstom W & E	1	2
BBPE	1	2
I alt	49	100

Alderen på ovnlinierne varierer meget: Odense Kraftvarmes ovnlinie 3 er fra 2000 og Vestforbrændings ovnlinie 1-3 er fra 1970.

Ovn typerne på forbrændingsanlæggene er præsenteret i Tabel 2-6. Den overvejende del af affaldsforbrændingen fortages i ovne af medstrømstypen. Den samlede forbrændingskapacitet på denne ovntype er ca. 340 tons/time, svarende til ca. 95 % af den samlede forbrændingskapacitet. Det er her vurderet at "ikke oplyst" og roterovne også er medstrøms-ovne.

Tabel 2-6
Antal let og andelen af forskellige ovntyper

Type af ovn	Antal af ovnlinier	Andel i %
Medstrøm	35	71
Midtstrøm	2	4
Roter efter medstrøms	6	12
Ikke oplyst	6	12
I alt	49	100

Roterovne findes hos Reno-Nords ovnlinie 1 og 2 samt hos Vestforbrændings ovnlinie 1-4. Vestforbrænding er det eneste anlæg, der har flere ovnlinier og samtidig ikke blander slaggen fra roterovnene sammen med slagge fra andre ovnlinier.

Ovnene er udlagt til behandling af affald med en brændværdi mellem 8,3 - 12,5 GJ/tons. I praksis ligger brændværdien af affaldet mellem 8,3 - 13,1 GJ/ton.

Størstedelen af ovnene er beklædt med kakler eller udmuret. Typen af den udvendige beklædning er præsenteret i Tabel 2-7.

Tabel 2-7

Antallet og andelen af ovnløsnier med forskellige beklædningsstyper

Type af udvendig beklædning	Antal ovnløsnier	Andel i %
Udmuret	39	80
Udmuret og beklædt med kakler	3	6
Beklædt med kakler	2	4
Ildfast beton	2	4
Anden beklædning	1	2
Ingen oplysning	2	4
I alt	49	100

Forbrændingsanlæggene har oplyst, at størstedelen af ovnløsnierne (75 %) er med kølede flader. På spørgsmålet om typen og placering af de kølede flader er der indkommet følgende besvarelser fra de forskellige anlæg - Tabel 2-8. Svarene i Tabel 2-8 afspejler, at anlæggene generelt er meget individuelt opbyggede.

Tabel 2-8
Anlæg der har kølede flader og typen af de kølede flader

Anlæg	Type af kølede flader
Odense Kraftvarmeværk Ovnlinie 1-2 Ovnlinie 3	Hele ovnen og ristene Hele ovnen
Amagerforbrænding	Hele ovnrummet er en del af kedlen og dermed kølet. Kakler på 1. træk og lidt over halvdelen af 2. træk
Kara	Hele 1. træk er forsynet med ildfast materiale for beskyttelse af panelrørvæggene
Thisted	Luftkølede sideflader. Alm. Vølund design fra 1990, der anvender ca. 8000 m ³ luft pr time
Aars	Vandkølede sideflader i ovn
Haderslev	Luftkølede sideflader i ovn
AVV	Fyrrum, de tomme træk og overheder træk i kedlen
Knudmoseværket	Sidevæggene i ovnrum
Fasan Ovnlinie 1 Ovnlinie 2 og 3	36 m ² 32 m ²
Kavo	Luftkølede sidevægge
Refa Ovnlinie 1 og 2 Ovnlinie 3	Forholdsvis stor hedeflade i ovnrummet før røggas føres over i kedelparti Vandkølet i ovnrum
Vestforbrænding Ovnlinie 1-4 Ovnlinie 5	Ved ristespring er der luftkølet kakler for at undgå at ikke udbrændt slagge klister til væggene. Kedelrør til ca. 1 m over ristetæppet i hele ovn
Kolding	Brændzonen
Svendborg	Rørkappe under murværk
Vega	Ovnen er beklædt med hulplader
Århus Kommunale Værker Ovnlinie 1-2	Affaldsskakten
Frederikshavn	Ovnloft + sidevægge
Bofa	2,5 m ² på hver side

2.2.2 Silo

Silostørrelsen på forbrændingsanlæggene varierer mellem 320 m³ og 10.000 m³. Der er dog ikke en entydig sammenhæng mellem størrelsen på ovnene og størrelsen af siloerne.

Opbevaringskapaciteten i siloerne varierer mellem 3 og 12 dage, hvor størstedelen af anlæggene har kapacitet til at lagre affald til 3-8 dages forbrænding.

Muligheden for opblanding af affaldet i de enkelte siloer er for størstedelen af anlæggene god. Fem af anlæggene har dog tilkendegivet, at opblandingsforholdene på anlæggene er dårlige. Dette kan medføre en vis uensartet sammensætning af slaggen, og dermed relativt større variation slaggeanalyserne imellem.

2.2.3 Ristetype og styring

Mange anlæg er udstyret med Vølunds traditionelle rist, der er kendetegnet ved et forholdsvist stort ristegennemfald. B&S-ristene er udført som en mere tæt konstruktion, hvor mark 5 er den seneste type. Der er dog også udviklet vandkølede riste, der er specielt egnede til affald med meget høj brændværdi.

Alstom og BBP (Babcock Borsig Power, nu FBE (Fisia Babcock Environment)) har også deres egne ristesystemer, men der er i undersøgelse kun et af hvert af disse anlægsfabrikater.

I undersøgelsen indgår der 3 ovnlinier med vandkølede ristesektioner.

Ristene er typisk opbygget med en tørrezone, en forbrændingszone og en udbrændingszone. Afhængigt af anlægsstørrelsen kan ristene også være inddelt i sektioner på tværs af risten for at kunne sikre en optimal luftfordeling.

På et par af de nyeste ovne styres luften efter avancerede ovnkameraer, der kan aflæse belastningen i de forskellige zoner og dermed korrigere luftfordelingen ud fra dette billede. I undersøgelsen indgår der 7 ovnlinier, hvor det er oplyst at man har ACC (Advanced Combustion Control). Disse er dog af varierende opbygning og nogle kan næppe kaldes ægte ACC-systemer. Generelt kan forbrændingsluften reguleres mellem de enkelte zoner, som ovnene er opbygget omkring. Et par af de ældste ovne har dog kun mulighed for individuelt at styre luftfordelingen via en simpel forudindstilling af luftspjældene i forbrændingsluftkanalerne.

Ristehældningen varierer også en del mellem de forskellige fabrikater f.eks. ligger B&S-risten typisk på 25-30°, Vølunds rist ligger mellem 7,5 og 20°, hvor den største hældning forefindes i udtørings- og udbrændingszonerne gående mod mindre hældning i udbrændingszonerne. BBP (nu FBE) har en hældning på 12,5° og Alstom risten er vandret.

Ristene kan også være opbygget med ristespring der skal sikre en god opbrydning af affald inde i forbrændingsprocessen. Ca. halvdelen af ovnene har ristespring på mellem 0,5 og 1 meter.

2.2.4 Slaggeudtag

De 23 forbrændingsanlæg har oplyst typen af slaggeudtaget og oplysningerne er præsenteret i Tabel 2-9.

Størstedelen af ovnlinierne er installeret med vådt slaggeudtag. Det primære formål med det våde slaggeudtag er at modvirke støv og sikre en hurtig afkøling af slaggen.

Yderligere informationer vedrørende slaggekøling og behandling er beskrevet i afsnit 2.3.4 *Slaggekøling og behandling* på side 23.

Tabel 2-9

Antallet og andelen af ovnlinier med forskellig type af slaggeudtag

Type af slaggeudtag	Antal ovnlinier	Andel i %
Vådt	28	57
Tørt	16	33
Tørt med befugtning	5	10
I alt	49	100

2.3 Øvrige parametre

I de følgende underafsnit er besvarelserne vedrørende de øvrige parametre beskrevet for de deltagende affaldsforbrændingsanlæg. Det drejer sig om:

- affaldstyper,
- modtagekontrol,
- affaldskonsulenter,
- opblanding,
- reguleringsparametre,
- slaggekøling, samt
- slaggebehandling og -prøve.

2.3.1 Affaldstyper

I 2001 blev der behandlet 2.1 millioner tons affald på de 23 deltagende affaldsforbrændingsanlæg. Fordelingen mellem de forskellige typer af affald er vist i Tabel 2-10.

Tabel 2-10

Mængden og andelen af de forskellige typer af affald, der forbrændes på de 23 adspurgte forbrændingsanlæg.

Affaldstype	Mængde tons/år	Andel i %
Husholdningsaffald	1.170.000	55
Erhvervsaffald	625.000	29
Storskrald	220.000	10
Andet	95.000	4
Specialaffald ¹	30.000	1
I alt	2.140.000	100

Note

- 1) Specialaffald dækker hovedsageligt over følgende: Spildevandsslam 13.764 tons, dæk 2.532 tons, balleret affald 8.789 tons og klinisk risikoaffald 3.359 tons/år.

Odense Kraftvarmeværk er det eneste forbrændingsanlæg, der forbrændte dæk. Andelen af dæk udgjorde godt 1 % af den samlede affaldsmængde, der blev forbrændt på anlægget.

Vestforbrænding stod for afbrænding af størstedelen af spildevandsslammet, ca. 70 %.

Klinisk risikoaffald blev behandlet på 6 af affaldsforbrændingsanlæggene, hvoraf Amagerforbrænding stod for størstedelen, ca. 45 %.

2.3.2 Modtagekontrol, konsulenter og opblanding

Størstedelen af forbrændingsanlæggene har oplyst, at der foretages stikprøve kontrol af det modtagne affald. Dette gøres enten visuelt fra kontrolrummet eller ved at affaldet stikprøvevis kontrolleres enten ved:

- Aflæsning på gulvet i aflæssehallen eller
- Via specielt indrettede kontrolfaciliteter. Dette kan f.eks. gøres ved, at affaldet læses i en tragt, og derefter kontrolleres når det passerer på et transportbånd.

Stikprøvekontroller foretages fra én gang om måneden til ét par gange om året.

Sytten af forbrændingsanlæggene har tilknyttet en erhvervsaffaldskonsulent, der hovedsageligt vejleder virksomhederne i sortering og håndtering af affald. Nogle af erhvervsaffaldskonsulenterne vejleder ligeledes boligselskaber.

Samtlige forbrændingsanlæg sørger i en vis udstrækning for at affaldet homogeniseres inden det indføres i ovnene. Dette gøres på følgende måder:

- Blanding med kran og lagring i silo (hvor muligt)
- Neddeling af storskrald
- Affald med høj brændværdi blandes med det øvrige affald og indføres i små portioner

2.3.3 Reguleringsparametre

Det er muligt at regulere affaldsforbrændingen efter følgende parametre:

- Energiproduktion
- Røggasmængde
- Affaldsmængde

Størstedelen af forbrændingsanlæggene regulerer forbrændingen efter energiproduktionen. Blandt de anlæg der regulerer efter energiproduktionen er der nogle få anlæg der samtidig styrer efter affaldsmængde eller røggasmængde.

2.3.4 Slaggekøling og behandling

Vestforbrænding er det eneste forbrændingsanlæg i Danmark, hvor der er forskelle i slaggebehandlingen og udtagningen af slaggeprøven for de forskellige ovnlinier. På alle andre anlæg behandles slaggen fra de forskellige ovnlinier på anlægget ens. Vestforbrænding skelner mellem de fire gamle ovnlinier og den større ovnlinie 5. Slaggen udtages i to separate slaggesiloer.

Der er principielt tre forskellige afkølingsmetoder af slaggen:

- Befugtning med vand
- Bratkøling i vandbad
- Luft køling (tør køling)

Stort set samtlige anlæg foretager bratkøling eller befugtning af slaggen. Et enkelt anlæg foretager tør køling af slaggen og anvender overhovedet ikke vand til afkøling.

Syv anlæg anvender udelukkende brugsvand til slaggekølingen. De resterende 16 anlæg anvender udelukkende teknisk vand eller en blanding af teknisk vand og brugsvand.

Anlæggene der anvender teknisk vand er præsenteret i Tabel 2-11 inklusiv typen, forbehandlingen og mængden af det tekniske vand.

Amagerforbrænding og Vestforbrænding (ovnlinie 1-4) har store vandforbrug til slaggekøling, idet begge anlæg anvender ca. 2 m³ vaskevand/ton slagge.

Ni af anlæggene (40 %) sorterer slaggen inden prøveudtagning. Slaggen sorteres dog udelukkende ved at udsortere jern ved brug af magnetromler. De resterende anlæg sorterer ikke slaggen inden prøveudtagning.

Modning af slaggen foregår på størstedelen af anlæggene udendørs. Kun på 2 af anlæggene foretages modning af slaggen indendørs.

Beluftning eller mekanisk vending af slaggen foregår på 3 af forbrændingsanlæggene:

- Amagerforbrænding opbevarer slaggen udendørs i 1-2 måneder inden harpning. Derefter afventes resultatet af slaggeprøven inden slaggen lægges på depot.
- AVV skubber slaggen sammen i bunker med en gummiged
- Århus Kommunale Værker har etableret en decideret slaggemodningsplads, hvor slaggen vendes med gummiged hver 14. dag inden den sorteres (for beluftning og sikring mod sammenbrænding). Når slaggen er sorteret lægges den ud i miler af 5.000 tons som vendes ca. hver måned og i slutningen af modningen hver 2. måned.

Tabel 2-11

Anlæg der anvender teknisk vand til slaggekøling samt beskrivelse af det tekniske vand, dets forbehandling samt den anvendte mængde

Anlægsnummer	Beskrivelse af teknisk vand	Forbehandling af teknisk vand	Mængde af vand m ³ /ton slagge
Odense Kraftvarmeværk ¹	Kedelvand	Ingen	i.o.
Amagerforbrænding ²	Der anvendes havvand, som pumpes ind fra Øresund	Grovfiltrering ved pumperne	2,0
Kara ²	Overfladevand	Ingen	0,3
Reno-Nord ²	Perkolat fra slaggepladsen og andre steder	Bundfældes og pH-justeres	1,0
Aars ²	Drænvandsbrønd	Ingen	0,3
Knudmoseværket ¹	Vand fra indendørs slaggelager og sorteringshal samt fra div. kedeldræn	Ingen	0,4
Hadsund ²	Genbrug af vand fra rengøring af kælder og regnvand foran slaggerum	Filtrering	i.o.
Fasan ²	Renset spildevand fra et kommunalt spildevandsanlæg	Ingen	0,2
Refa ²	Retur fra slaggesilo og regnvandsbrønd	Filtrering	i.o.
Vestforbrænding ²	Ovnlinie 1-4: Recirkulering i intern kreds Ovnlinie 5: Vand fra riste-gennemfaldsmayfran	1-4: Filtrering 5: Ingen	1-4: 2,0 5: 0,3
Svendborg ¹	Vand fra slaggesilo og bundblæst kedelvand	Tilsættes lud	0,2
Vega ¹	Vand fra slaggevandsbassin og slaggesump	Ingen	0,3
Århus ¹	Overfladevand fra slaggegård og omkringliggende arealer samt vaskevand fra kedelrens.	Filtrering	0,3
Horsens ²	Genbrug af spulevand fra kedelhus, rensebygning suppleret med drikkevand	Renses mekanisk	i.o.

Anlægsnummer	Beskrivelse af teknisk vand	Forbehandling af teknisk vand	Mængde af vand m ³ /ton slagge
Frederikshavn ²	Røggasrensingsanlæg	Vandbehandlingsanlæg	0,1

Note

- 1) Anlæggene anvender en blanding af teknisk vand og brugsvand
 - 2) Anlæggene anvender udelukkende teknisk vand
- i.o. ikke oplyst

Besvarelsen på spørgsmålet "Modnes slaggen med eller uden tilsætning af vand?" er præsenteret i Tabel 2-12.

Tabel 2-12

Antallet og andelen af anlæg, der modner slaggen med eller uden tilsætning af vand. Forklaring om tal i parentes

Modning af slagge med/uden tilsætning af vand	Antal anlæg	Andel i %
Uden	2	9
Uden, men med regnvand	13	56
Med regnvand og befugtning	2	9
Ikke oplyst	6	26
I alt	23	100

Tabel 2-12 viser, at 2 anlæg foretager modning uden tilsætning af vand, idet slaggemodningen foregår indendørs. Tretten (13) af anlæggene modner slaggen uden anden tilsætning af vand end regnvand. Anlæggene der tilsætter vand er følgende:

- Vestfyn befugter slaggen med vand for at holde en fugtprocent på ca. 20.
- Vestforbrænding tilsætter vand - udover regnvand - med sprinklere for at eliminerer støvgener.

Inden slaggen fraføres anlæggene behandles den på en af de tre måder præsenteret i Tabel 2-13.

Tabel 2-13
Behandling af slaggen inden fraførsel fra anlægget

Behandlingsmetode	Antal anlæg	Andel i %
Sortering med sorteringstromler, rundsorter eller magnet	7	30
Harpning og rensning for metaller	1	5
Ingen sortering, slaggen afleveres til anden part	15	65
I alt	23	100

Ca. halvdelen af de adspurgte anlæg separerer helt eller delvist kedelasken fra slaggen, se Tabel 2-14.

Tabel 2-14
Antallet af anlæg, der separerer kedelasken helt eller delvist fra slaggen

Separering af kedelaske fra slaggen	Antal anlæg
Al kedelaske frasorteres	8
Delvis frasortering af kedelaske. Bemærkninger fra anlæg: - Ikke aske fra OH og 2. og 3. træk - Ved overfyldning kan kedelaske forekomme i slaggen - Flyveaske fra før kedel føres tilbage i slaggen	5

2.3.5 Slaggeprøve

Slaggeprøven udtages flere forskellige steder. Enten udtages prøven på anlægget eller på slaggeplads, -hal og -container eller lignende. Svarene fra de 23 anlæg er præsenteret i Tabel 2-15.

Tabel 2-15
Lokaliteten for udtagning af slaggeprøver

Udtagning af slaggeprøver	Antal anlæg	Andel i %
Slaggeplads, -hal og -container	11	48
Rysterende og transportbånd	8	35
Efter slaggeskakt	1	4
Efter slaggepusher	1	4
Ingen angivelse	2	9
I alt	23	100

Slaggeprøven udtages hovedsageligt af driftspersonalet (15 anlæg). De resterende forbrændingsanlæg får udtaget prøven af et akkrediteret eksternt firma.

Slaggeprøven udtages hovedsageligt inden for de første 8 timer, hver 3. måned eller for hver 5.000 tons. Slaggeprøven sendes til analyse umiddelbart efter at prøven er udtaget, dvs. slaggens alder på analysetidspunktet er forskellig fra anlæg til anlæg og også inden for det enkelte anlæg.

I Tabel 2-16 er antallet af slaggeanalyser pr. år samt analysernes hyppighed opgjort.

Tabel 2-16
 Antal let af slaggeanalyser pr år og prøvetagningens hyppighed

Anlæg	Antal analyser i 2001	Prøvetagnings hyppighed
AVV	3	Efter produktion af 5000 tons slagge
Bofa	12	1 gang hver måned
Odense Kraftvarmeværk	18	Efter produktion af 2500 tons slagge
Knudmoseværket	9	1 gang hver måned
Frederikshavn	1	Ikke oplyst
Hadsund	1	Ikke oplyst
Horsens	3	Efter 3 mdrs. modning
Amagerforbrænding	12	1 gang hver måned
Fasan	3	1 gang hver 3. måned
Kara	9	ca. 1 gang hver måned
Kavo	1	Ikke oplyst
Thisted	3	1 gang hver 3.-4. måned
Refa	2	Ikke oplyst
Reno-Nord	4	1 gang hver 3. måned
Vestforbrænding		
Ovnlinie 1-4	9	Efter produktion af 5000 tons slagge
Ovnlinie 5	7	Efter produktion af 5000 tons slagge
Aars	2	Ikke oplyst
Kolding	11	1 gang hver måned
Haderslev	1 ⁴	1 gang hver 2.-3. måned
Svendborg	5	1 gang hver 2.-3. måned
Sønderborg	6	1 gang hver 2. måned
Vega	4	1 gang hver 3. måned
Vestfyn	1	Efter produktion af 5000 tons slagge
Århus Kommunale Værker	2	3-6 måneder efter produktion

⁴ Haderslev har kun fremsendt én slaggeanalyse fra 2001, selvom de i spørgeskemaet har svaret at der udtages prøve hver 2.-3. måned

3 Slagge kvalitet

I forbindelse med spørgeskemaundersøgelsen er forbrændingsanlæggene blevet bedt om at fremsende data for slaggeanalyser udført i 2001.

Antallet af udførte slaggeanalyser i 2001 er meget forskelligt fra anlæg til anlæg. Enkelte anlæg har kun udført en enkelt analyse i 2001, hvorimod Amagerforbrænding og Bofa har foretaget månedlige analyser. Antallet af slaggeanalyser for de forskellige forbrændingsanlæg er præsenteret i Tabel 2-16 på forrige side.

3.1 Faststofanalyser

Resultaterne af faststofanalyserne af slaggen er vist i Tabel 3-1 for alle de deltagende anlæg. Analyse-resultaterne viser, at kat. 1 kravet mht. bly, kobber og nikkel er overskrevet for alle (100 %) slaggeprøverne og for næsten alle (98-99 %) slaggeprøverne mht. cadmium og zink. Kat. 1 kravet til indholdet af arsen er overskredet for ca. halvdelen af slaggeprøverne. Ingen af slaggeprøverne overskrider kat. 1 kravet for krom og kviksølv. Bekendtgørelsens /5/ kategorisering af slagge mht. faststofindhold er vist i Bilag C.

Tabel 3-1

Faststofanalyseresultaterne af slagge fra alle deltagende danske affaldsforbrændingsanlæg i 2001

	Måle- enhed.	Gen- nem- snit	Min	Max	Andel overskridelse af kat. 1 krav (%)
Arsen	mg/kg TS	23	7	70	51
Bly	mg/kg TS	1.337	140	6.500	100
Cadmium	mg/kg TS	4,3	0,5	18	99
Kobber	mg/kg TS	4.149	950	45.000	100
Krom	mg/kg TS	104	10	250	0
Kviksølv ¹⁾	mg/kg TS	0,1	0,04	0,6	0
Nikkel	mg/kg TS	120	52	1.100	100
Zink	mg/kg TS	3.250	210	27.000	98

Note

1) Analyserne stammer kun fra Vestforbrænding og Amagerforbrænding

Af dataene i tabellen fremgår det klart, at langt størstedelen af slaggeprøverne overskrider kravene til faststofindholdet for kat. 1 slagge mht. bly, cadmium, kobber, nikkel og zink. Det ser ikke umiddelbart ud til at være realistisk at opnå faststofindhold i slaggen, som kan opfylde kravene til kat. 1. Det vil derfor i praksis være slaggens udvaskningsegenskaber, der er bestemmende for i hvilken kategori slaggen skal placeres, idet der ikke er mindstekrav til faststofindholdet for kat. 2 og 3 slagge.

3.2 Eluatanalyser

Resultaterne af eluat-analyserne af slaggen er vist i Tabel 3-2. Eluat-analyserne viser, at der ligeledes er overskridelser af kravet til indholdet af tungmetallerne. En stor del (76-99 %) af slaggeprøverne overholder dog ikke kat. 1 kravet for tungmetallerne arsen, bly, cadmium, kviksølv, nikkel og zink. Størstedelen (98 %) af slaggeprøverne overskrider kat. 1 kravet for stofferne klorid og natrium. Det er kun meget få (2-7 %) af slaggeprøverne, der overskrider kat. 3 kravene, og overskridelsen sker for stofferne klorid, sulfat, natrium samt tungmetallerne bly, kobber og krom. Bekendtgørelsens /5/ kategorisering af slagge mht. eluatindhold er vist i Bilag C.

Generelt kan det siges, at eluatanalyserne af slaggen er meget varierende for de enkelte parametre, men også for det enkelte anlæg. F.eks. overholder 10 ud af de 12 slaggeprøver fra Bofa kravene til kat. 3 for krom, hvorimod de 2 øvrige slaggeprøver falder uden for kategori. De 2 slaggeprøver, der falder uden for kategori, ligger hhv. 16 % og 260 % over kat. 3 kravet. Dette eksempel er meget typisk for mange af anlæggene, dvs. at enkelte analyser ligger langt fra de øvrige analyser. De største variationer ses for tungmetallerne: bly, krom og kobber. Samtidig findes overskridelserne af de forskellige parametre ikke i den samme slaggeprøve, men i forskellige slaggeprøver, således at slaggen den ene gang er uden for kat. 3 pga. for høje blykoncentrationer og næste gang er det pga. for høje krom-koncentrationer. Dette har gjort det umuligt at tale om gennemsnitsværdier for eluatkoncentrationerne for de forskellige parametre for de enkelte anlæg.

Tabel 3-2
Eluatanalyserne af slagge fra alle deltagende danske affaldsforbrændingsanlæg i 2001

	Konc.	Gennem- snit	Stan- dard- afvig- else	Min	Max	Mindre end kat. 1 (%)	Større end kat. 3 (%)
Klorid	mg/l	1.386	1789	100	19.000	2	8
Sulfat	mg/l	894	1.085	5	7.650	17	2
Natrium	mg/l	721	410	25	1.920	2	3
Arsen	µg/l	5,9	5,0	0,5	27	75	0
Barium ¹⁾	µg/l	256	358	38	1.700	23	0
Bly	µg/l	88	429	1,0	3.600	77	5
Cadmium	µg/l	0,3	0,4	0,03	3,8	98	0
Kobber	µg/l	737	943	1,0	7.900	14	3
Krom	µg/l	139	251	1,1	1.800	19	6
Kviksølv ¹⁾	µg/l	0,05	0,05	0,01	0,21	89	0
Mangan ¹⁾	µg/l	6,6	5,3	0,2	20	28	0
Nikkel	µg/l	5,8	5,8	0,3	48	87	0
Zink	µg/l	41	101	1,0	720	92	0

Noter

1) Analyserne stammer kun fra Vestforbrænding og Amagerforbrænding

3.2.1 Tungmetaller

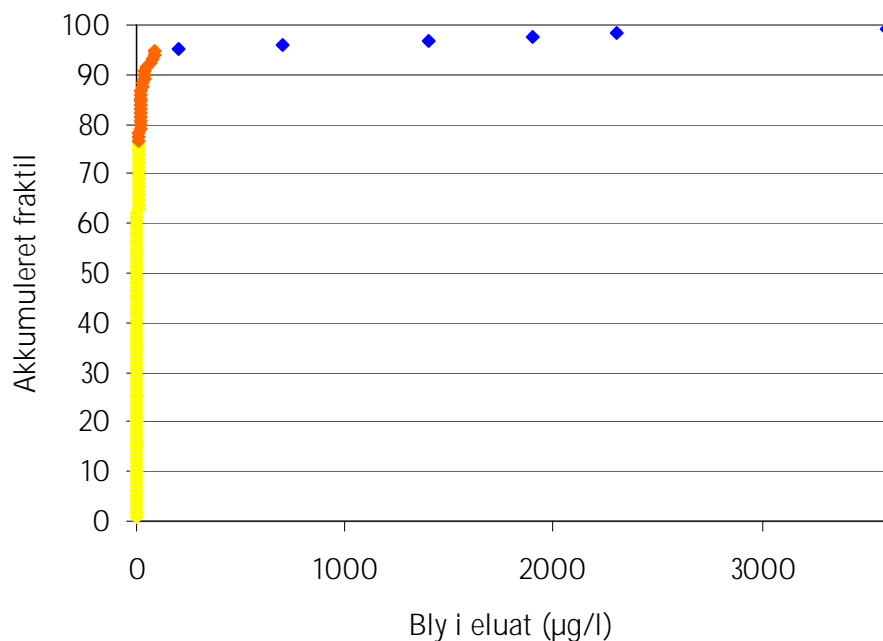
Formålet med dette projekt er at identificere de anlæg, der producerer den bedste slagge. I Bilag D er oplyst hvor mange af slaggeanalyserne for de enkelte anlæg der overholder kat. 2 kravene for udvaskning af tungmetallerne. Tallene viser, at det er en meget lille andel af eluatanalyserne, der overholder kat. 2 kravene for:

- krom (18 %)
- kobber (14 %)

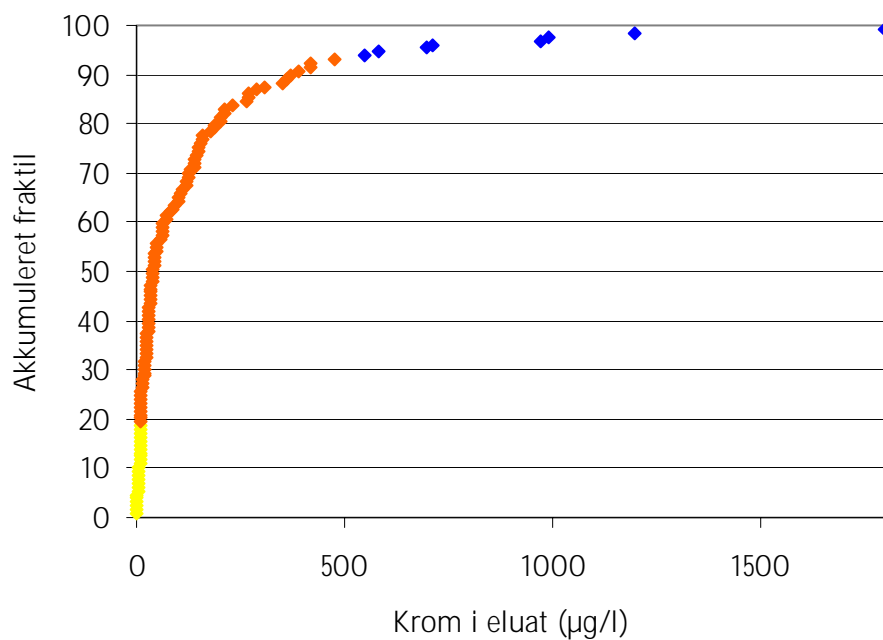
Der er kun 3 anlæg, hvis eluatanalyser der helt eller delvist overholder kat. 2 kravene for krom, og der er kun 2 anlæg, der helt eller delvist overholder kat. 2 kravene for kobber.

Den lille andel, der overholder kat. 2 kravene er vist i Figur 3-1, Figur 3-2 og Figur 3-3, hvor fraktildiagrammer for eluatindholdet for hhv. bly, krom og kobber er illustreret. De gule punkter illustrerer de slaggeprøver der overholder kat. 2 kravene, de orange kat. 3 kravene og de blå punkter illustrerer slaggeprøverne uden for kategori. Figureerne viser, at der er langt flere orange og blå punkter i fraktildiagrammerne for krom og kobber end for bly, hvilket betyder, at langt flere af analyser overskrider kravene til kat. 2 slagge for krom og kobber end for bly.

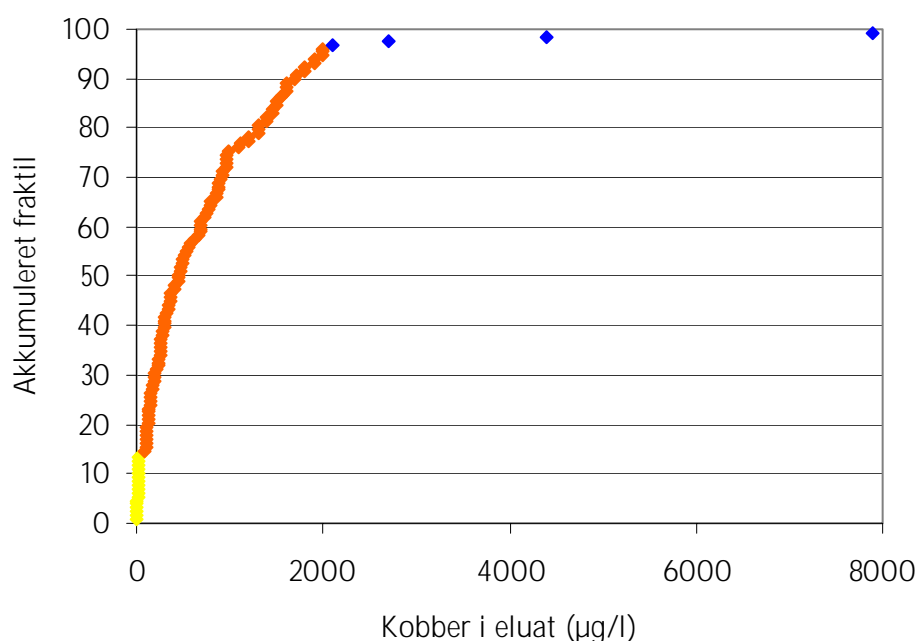
Kat. 2 kravene for de resterende tungmetaller overholdes for størstedelen af anlæggenes vedkommende.



Figur 3-1
Fraktiil diagram for bly i eluat for slagge fra 2001 fra de 23 forbrændingsanlæg. Gule punkter overholder Kat 2, orange overholder kat.3 og blå er udenfor kat.



Figur 3-2
Fraktiil diagram for krom i eluat for slagge fra 2001 fra de 23 forbrændingsanlæg. Gule punkter overholder Kat 2, orange overholder kat.3 og blå er udenfor kat.



Figur 3-3
Fraktildiagram for kobber i eluat for slagge fra 2001 fra de 23 forbrændingsanlæg. Gule punkter overholder Kat 2, orange overholder kat.3 og blå er udenfor kat.

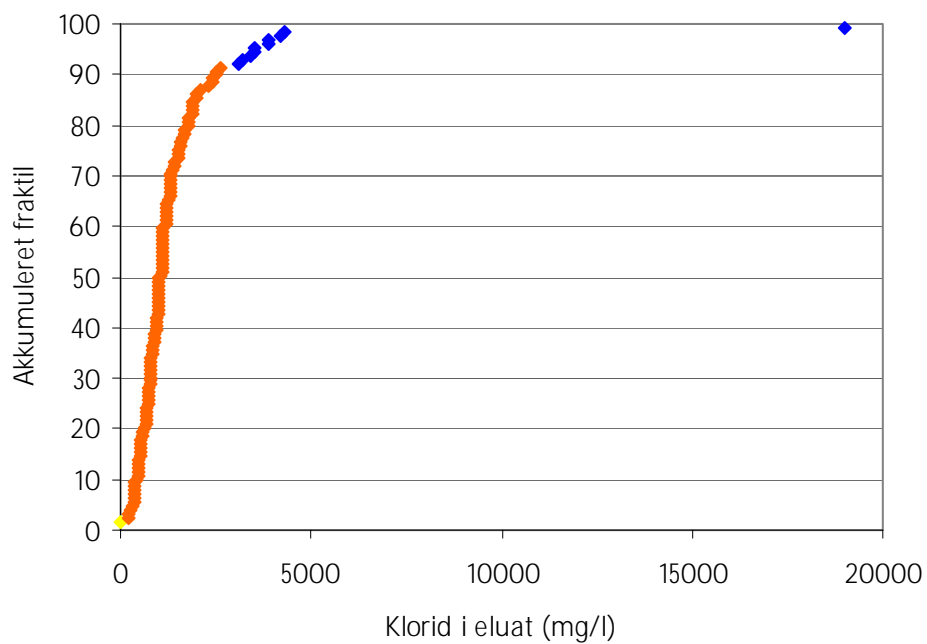
3.2.2 Salte

Meget få (2 %) af eluatanalyserne for klorid overholder kat. 1. kravet. Derudover er der få (7 %) af analyserne der overskrider kat. 3 kravet. Efter 1. januar 2007 (kilde /9/) hvor den midlertidige kat. 2 eluatkoncentration for klorid ikke længere er 1.500 mg/l, men 150 mg/l vil størstedelen af slaggen blive klassificeret som kat. 3 slagge mht. klorid.

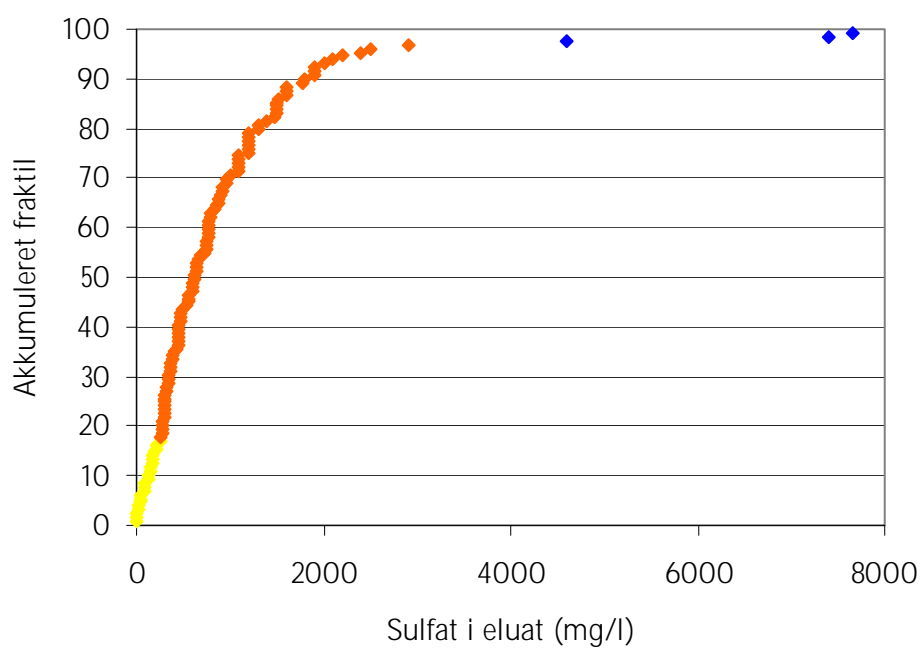
De samme tendenser gør sig gældende for natrium. Meget få (2 %) overholder kat. 1 kravet og få (3 %) overskrider kat. 3 kravet. En stor del af den slagge, der i dag klassificeres som kat. 2 pga. natrium-indholdet, vil pr. 1. januar 2007 blive klassificeret som kat. 3 slagge.

Lignende forhold gør sig gældende for sulfat. Der er dog et større antal (16 %) af analyserne, der overholder kat. 1 kravet og få (6 %) overskrider det nuværende kat. 2. krav.

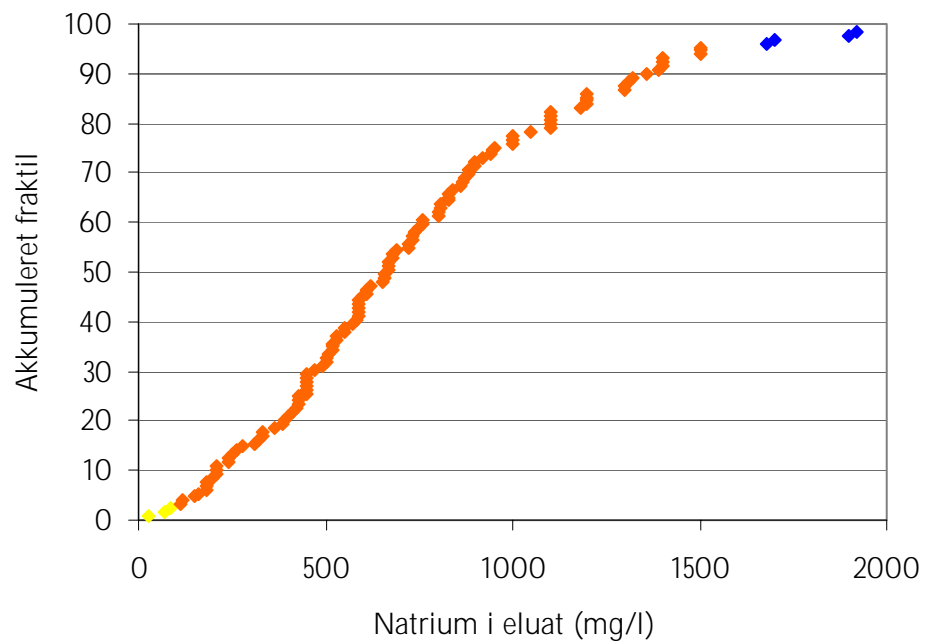
I Bilag E er oplyst hvor mange af slaggeanalyserne for de enkelte anlæg, der overholder kat. 2 kravene og de midlertidige kat. 2 krav for udvaskningen af saltene: klorid, sulfat og natrium. Tallene viser, at meget få af slaggeanalyserne overholder kravene til kat. 2. Dette er vist grafisk i Figur 3-4, Figur 3-5 og Figur 3-6 for hhv. klorid, sulfat og natrium. De gule punkter illustrerer igen de slaggeprøver der overholder kat. 2 kravet, de orange kat. 3 kravet og de blå punkter illustrerer slaggeprøverne uden for kategori. Det ses tydeligt at næsten ingen af slaggeanalyserne overholder de kat. 2 kravene for saltene, specielt for klorid og natrium.



Figur 3-4
Fraktildiagram for klorid i eluat for slagge fra 2001 fra de 23 forbrændingsanlæg. Gule punkter overholder kat. 2 krav, orange overholder kat. 3 og blå er udenfor kat.



Figur 3-5
Fraktildiagram for sulfat i eluat for slagge fra 2001 fra de 23 forbrændingsanlæg. Gule punkter overholder kat. 2 krav, orange overholder kat. 3 og blå er udenfor kat.



Figur 3-6
Fraktildiagram for natrium i eluat for slagge fra 2001 fra de 23 forbrændingsanlæg. Gule punkter overholder kat. 2, orange overholder kat. 3 og blå er udenfor kat.

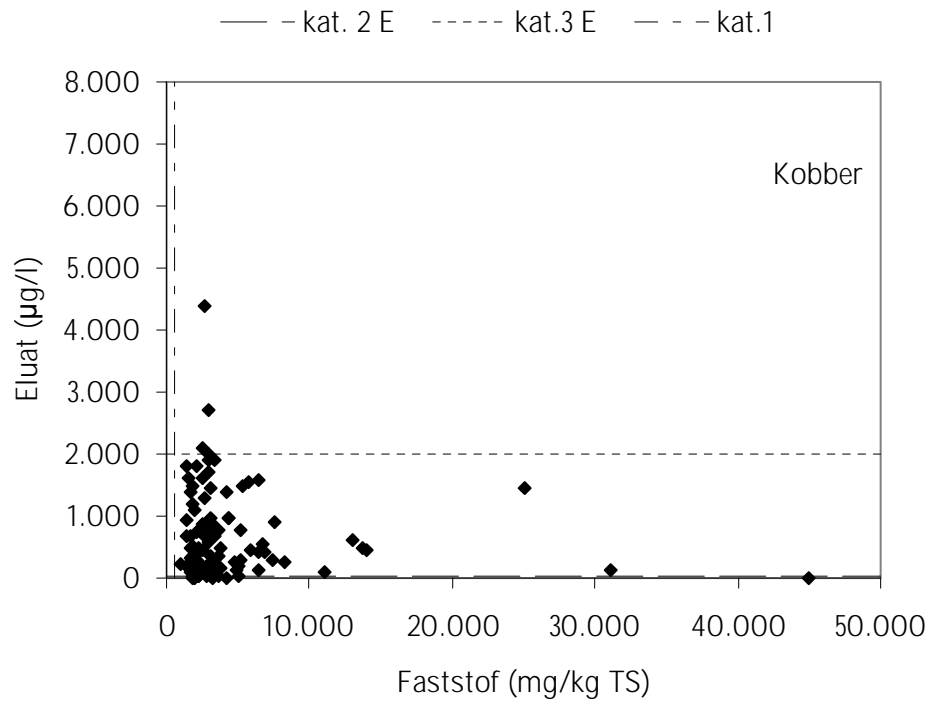
Analyseres overholdelsen af de midlertidige kat. 2 krav, viser eluatanalyserne derimod, at næsten alle anlæggene overholder kat. 2 kravene til saltene. De to anlæg, der har problemer med overholdelse af kat. 2 kravene er:

- Bofa - både klorid og natrium
- Sønderborg - både klorid og natrium

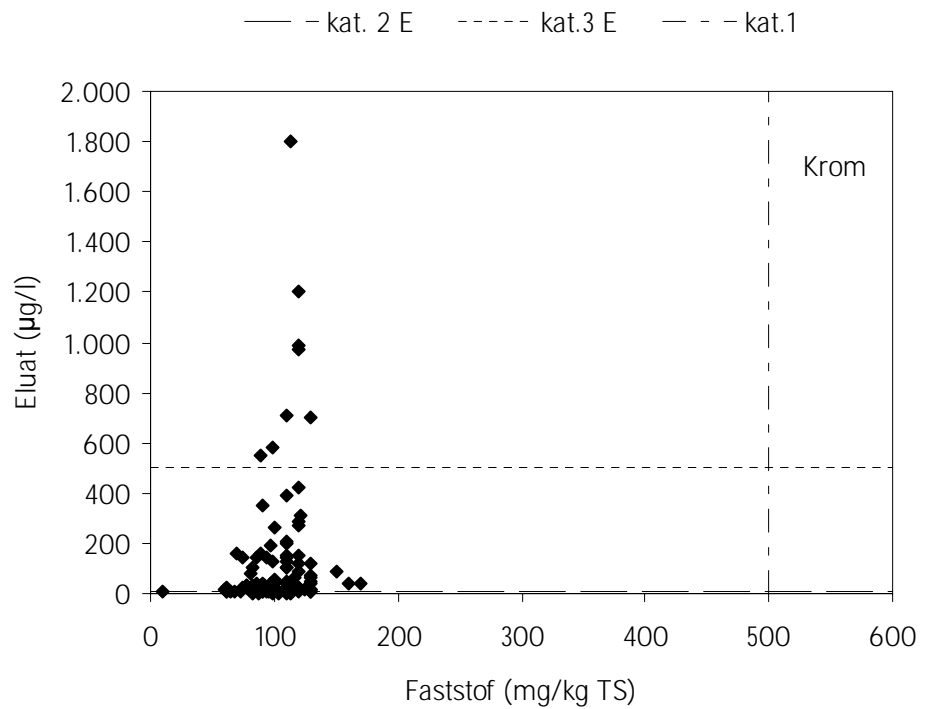
Kravene til klorid, sulfat og natrium er yderligere beskrevet i afsnit 3.4

3.3 Eluat- og faststofdiagrammer

I Figur 3-7 og Figur 3-8 er eluatindholdet afbildet som funktion af faststofindholdet for de 2 tungmetaller krom og kobber. Alle slaggeanalyser foretaget i 2001 på de 23 danske forbrændingsanlæg er præsenteret i figurerne. Figurerne viser, at der ikke er nogen korrelation mellem faststofs- og eluatindholdet for de to tungmetaller, dvs. at der forekommer både høje og lave eluatindhold for lave faststofindhold og omvendt. Dette gælder både for krom og kobber. De samme tendenser kan observeres for de øvrige tungmetaller (se Bilag F).



Figur 3-7
 Indholdet af kobber i eluat som funktion af indholdet af kobber i faststof for slaggen fra de 23 danske forbrændingsanlæg fra 2001.



Figur 3-8
 Indholdet af krom i eluat som funktion af indholdet af krom i faststof for slaggen fra de 23 danske forbrændingsanlæg fra 2001.

3.4 Midlertidige kat. 2 krav til salte

Af ændringen til bekendtgørelsen /9/ fremgår det, at det frem til 1. januar 2007 er tilladt at anvende kat. 2 slagge med lempeligere krav til natrium, klorid og sulfat til pladser med tæt belægning og bortledning af overfladevand uden forudgående tilladelse.

Som illustreret i Bilag E ligger 94 % af alle slaggeanalyserne under den midlertidige grænseværdi for sulfats vedkommende. For klorid og natriums vedkommende er det ca. 75 % af slaggeanalyserne, der ligger under det midlertidige kat. 2 krav.

Efter 1. januar 2007 vil disse slagge ikke længere kunne klassificeres om kat. 2 slagge, men vil blive kat. 3 slagge. Det vurderes, at det ikke umiddelbart vil være muligt at forbedre slagge kvaliteten, således at eluatkoncentrationen for natrium, sulfat og klorid vil kunne overholde kat. 2 kravene.

I rapporten "Slagge fra affaldsforbrænding - status og udviklingsmuligheder år 2003" /6/ blev det anbefalet, at der bør foretages en revision af den nuværende bekendtgørelses /5/ regler mht. udvaskningen af natrium, klorid og sulfat, da disse krav er restriktive i forhold til de saltmængder der tilføres grundvandet omkring vejene i forbindelse med glatførebekæmpelse.

3.5 Prøveudtagning og Slaggemodning

3.5.1 Usikkerhed forbundet med prøveudtagning

Den nuværende bekendtgørelse /5/ kræver, at der skal udtages 50 delprøver á hver 2 kg, som skal sammenstikkes til en prøve på 100 kg. Der er ikke specificeret yderligere krav til prøvetagningsmetoden, f.eks. tidspunkt for analysen i forhold til prøvetagning eller opbevaring af prøve indtil analyse.

Ensartet prøveudtagning er således en væsentlig forudsætning for at kunne karakterisere den producerede slagge både med hensyn til at kunne afgøre om slaggen overholder kravværdier og af hensyn til udviklingsprojekter vedr. behandling af slaggen.

Undersøgelser af usikkerheden forbundet med manuel prøveudtagning, mekanisk prøveudtagning og "stopped belt" metoden, samt betydningen af selve prøveoparbejdningen har vist følgende (/7/, /8/, /10/, /11/):

- Generelt er der en betydelig variation på resultatet fra analyser fra "ens" slaggeprøver.
- Relativ usikkerhed på bestemmelse af udvaskning af salte og tungmetaller (krom og kobber) i størrelsesorden 20-90 % (20-50 delprøver).
- Den samlede usikkerhed på bestemmelse af slaggekvaliteten mindskes væsentligt hvis prøverne nedknyttes før neddeling.

Samme tendens fremkom ligeledes ved forsøg med slagge fra Amagerforbrænding (/7/ og /8/), hvor én af konklusioner fra en gennemført undersøgelse er, at under forudsætning af mekanisk prøveudtagning og nedknytning inden neddeling til 5 kg prøver, kan eluatkoncentrationen af kobber bestemmes med følgende nøjagtighed:

- Kat. 2 slagge: Analyseværdi +/- 20 $\mu\text{g/l}$ svarende til en relativ usikkerhed på ca. 45 %.
- Kat. 3 slagge: Analyseværdi +/- 300 til +/- 600 $\mu\text{g/l}$ afhængig af antal delprøver. Ved udtagning af 50 delprøver har den udtagne prøve en relativ usikkerhed på 20 %.

Det fremgår at der er en betydelig usikkerhed forbundet med bestemmelse af slagge kvaliteten, selv ved "korrekt" prøveudtagning, hvilket understreger behovet for ensartet prøveudtagning og nødvendigheden for registrering af fejl og usikkerheder.

Hvorledes arbejdet med udtagning af slaggeprøver og indsendelse til analyse mv. foretages i praksis på anlæggene kan ses i Tabel 3-3.

Tabel 3-3
Prøveudtagning og analyse af slagge i praksis

Anlægs	Slaggeprøve				
	Hvorledes udtages slaggeprøve	Hvor udtages slaggeprøven	Hvem udtager slaggeprøverne	Hvornår udtages slaggeprøverne	Hvornår sendes prøven til analyse
AVV	Iht. bek. nr. 665	Sorteringsplads	Miljømedarbejder	for hver 5.000 tons slagge	Umiddelbart efter
Bofa	Hver 3. time	Slaggeskakt	Driftsoperatør	Ca.3 timer efter	1 gang pr md.
Odense	1 skovlfuld for hver lastbil der læsses	Slaggehal	Driftspersonale som læsser slaggen	1-2 dage	Når der er samlet ny batch på 2.500 t
Knudmoseværket	Med skovl	På slaggebånd med sorteret slagge	Driftspersonale	1 gang pr. vagt	1 gang pr. md.
Frederikshavn	Fortages af Affaldsselskabet Vendsyssel Øst	Fra mile på slaggeplads	Akkrediteret firma	Ikke oplyst	Umiddelbart efter
Hadsund	Ikke oplyst	Ikke oplyst	Ikke oplyst	Ikke oplyst	Ikke oplyst
Horsens	Skovlfuld med fast interval	Under sortering og fra sorteret slagge på bånd	Driftspersonale	Ca. 3 md. efter modning	Umiddelbart efter

Anlægs	Slaggeprøve				
	Hvorledes udtages slaggeprøve	Hvor udtages slaggeprøven	Hvem udtager slaggeprøverne	Hvornår udtages slaggeprøverne	Hvornår sendes prøven til analyse
Amager-forbrænding	<p>Råslagge: Der tages en skovlfuld slagge og hældes i en lukket container, stort jern tages fra.</p> <p>Modnet slagge: Løbende under harpningen vha. en tidsstyret mekanisk prøvertager</p>	<p>Råslagge: På slagge transporten efter alle ovnene</p>	<p>Råslagge: Driftshjælperen</p>	<p>Råslagge: 3 gange pr. døgn</p>	Hver md.
Fasan	Fra grab af gummiged	Slaggegård	Akkrediteret firma	Ca. 1 døgn efter produktion	Umiddelbart efter
Kara	Løbende fra bånd	Efter slaggepusher	Driftshjælper	4-5 timer	Umiddelbart efter
Kavo	Ekstern	Ikke oplyst	Ikke oplyst	Ikke oplyst	Ikke oplyst
Thisted	Med slaggeske	Fra sorteret slagge	Driftspersonale	Inden for samme uge som slaggen er produceret	2-3 gange årligt
Refa	Iht. bek. nr. 665	Slaggebånd	Akkrediteret firma	Umiddelbart efter	Umiddelbart efter
Reno-Nord	Iht. bek. nr. 665	Efter sortering	Eksternt firma	3-4 mdr. evt. længere hvis der ikke er afsætning af slaggen	Umiddelbart efter

Anlægs	Slaggeprøve				
	Hvorledes udtages slaggeprøve	Hvor udtages slaggeprøven	Hvem udtager slaggeprøverne	Hvornår udtages slaggeprøverne	Hvornår sendes prøven til analyse
Vestforbrænding	Ovn 1-4: Prøveudtages her 3 time fra løbende produktion. Ovn 5: Fortages af AFATEK. Prøve udtages 10 steder fra slaggemile.	Ovn 1-4: slaggegrav. Ovn 5: Mellemlager (AFATEK)	Ovn 1-4: personalet. Ovn 5: Akkrediteret analyse laboratorium	Ovn 1-4: løbende Ovn 5: ca. 3 md.	Ovn 1-4: Når prøverne repræsenterer parti på 5000 kg. Ovn 5: umiddelbart efter
Aars	Små portioner af en slaggeudstødning	lige før slaggen falder ned i slaggetransportsystemet	Driftspersonale/målefirma	6 til 8 timer efter	Med det samme
Kolding	Ca. en skovlfuld hver dag	Rysterende	Driftspersonale (SID)	Prøven udtages med det sammen slaggen kommer ud på rysterenden	Hver den første i måned
Haderslev	Manuelt af den sorterede slagge	Slaggehal	Driftspersonale	2-3 md	Med det samme
Svendborg	2 kg./uge	Slaggecontainer	Driftspersonale	2-3 md efter produktion	Umiddelbart efter
Sønderborg	Iht. bek. nr. 665	Slaggecontainer	Driftspersonale	Hver 6 time	Hver 2. md.
Vega	Iht. bek. nr. 665	Slaggeplads	Akkrediteret firma	Hver kvartal	Umiddelbart efter
Vestfyn	Iht. bek. nr. 665	På losseplads	Af ekstern eller intern medarbejder	Når der er produceret 5.000 tons slagge	Med det samme

Anlægs	Slaggeprøve				
	Hvorledes udtages slaggeprøve	Hvor udtages slaggeprøven	Hvem udtager slaggeprøverne	Hvornår udtages slaggeprøverne	Hvornår sendes prøven til analyse
Århus Kommunale Værker	50-100 stikprøver for hver mile	Slaggemile	Akkrediteret firma	Tidligst 3-6 md. efter udtagning	Umiddelbart efter

Tabel 3-3 viser, at der er store forskelle på procedurerne omkring prøvetagning og analyse. Se også afsnit 2.3.5 *Slaggeprøve* på side 27.

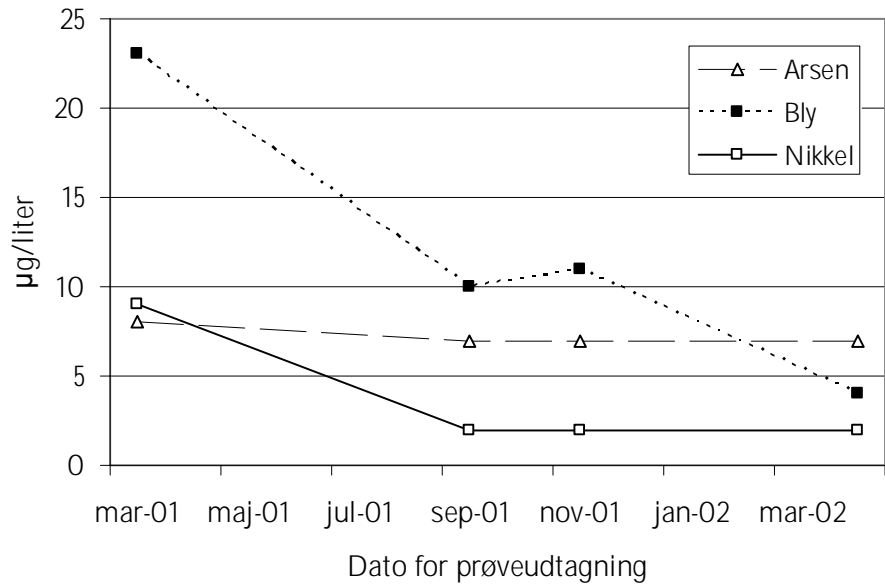
3.5.2 Slaggemodning

Modning foretages med henblik på at reducere udvaskningen af tungmetaller og salte samt at forbedre slaggens geotekniske egenskaber i forbindelse med genanvendelse.

Flere steder foretages forsøg med behandling af slaggen for at opnå optimal modningsproces. Parametre som bl.a. undersøges er indflydelsen af forudgående slaggevaskning med eller uden additiver, modningstiden, befugtning, mekanisk bearbejdning.

Årsagen hertil er, at flere undersøgelser har vist at indholdet af tungmetaller og salte, med den nuværende behandling/håndtering, ændrer sig med tiden.

Figur 3-9 viser analyseresultatet af eluatkoncentrationerne af arsen, bly og nikkel i modnet slagge fra Aarhus Kommunale Værker og er et udtryk for den ændring, der sker i mængden af udvaskede tungmetaller og de usikkerheder der er forbundet med slaggeanalyserne. Af figuren ses det, at blyudvaskningen reduceres med modningstiden, således at slaggen i nedenstående tilfælde opgraderes fra en kat. 3 slagge til en kat. 2 slagge.



Figur 3-9

Eluatkoncentrationen for arsen, bly og nikkel. Slaggen blev udlagt 1 uge før første prøveudtagning.

Resultaterne viser, at det er hensigtsmæssigt, at slaggen modner i en vis tid, inden der tages prøver til analyse.

Ved at præcisere kravene til:

- repræsentativiteten, og
- prøvetagningsmetoden

sikres mere pålidelige og sammenlignelige analyseresultater, jævnfør bl.a. tidligere nævnte forsøg med optimeret prøvetagning udført på slagge fra Amagerforbrænding.

4 Vurdering af forskellige parametres indflydelse på slagge kvaliteten

Formålet med dette projekt er at undersøge om der er visse anlægs- eller procesparametre, der har betydning for slagge kvaliteten. Dette er gjort ved at se på hvilke anlæg, der producerer en bedre slagge end de øvrige anlæg. Det er undersøgt hvor mange af eluatanalyserne for de 23 deltagende anlæg, der overholder kat. 2 kravene. Resultatet af denne analyse er som tidligere beskrevet vist i Bilag D, og dataene viser, at størstedelen af anlæggene har problemer med at overholde eluat kat. 2 kravene for krom og kobber.

Ingen af anlæggene er i stand til at overholde kat. 2 kravene til udvaskning af saltene (klorid, sulfat og natrium) for alle slaggeanalyserne fra det enkelte anlæg foretaget i 2001. Derimod overholder næsten alle anlæggene de midlertidige kat. 2 krav til udvaskning af saltene.

Det er derfor valgt i de nærmere analyser at definere slagge kvaliteten ud fra eluatanalyserne for krom og kobber for anlæg, der har analyseret mere end én slaggeprøve i 2001.

4.1 Forbrændingsanlæg, der producerer kat. 2 slagge

Dataene fra Bilag D viser, at følgende anlæg producerer kat. 2 slagge mht. krom og har foretaget mere end én slaggeanalyse i 2001:

- Reno-Nord (75 % af slaggeprøverne)
- Vestforbrænding 1-4 (55 % af slaggeprøverne) og
- Svendborg (60 % af slaggeprøverne)

og for kobbers vedkommende drejer det sig om:

- Kolding (90 % af slaggeprøverne) og
- Amager (40 % af slaggeprøverne)

Undersøges eluatanalyserne nærmere viser det sig at ét anlæg skiller sig ud fra de andre. Det drejer sig om:

- Reno-Nord

Reno-Nord har foretaget 4 slaggeanalyser i 2001 og alle eluatanalyserne ligger inden for kat. 2 kravene - undtagen kobberanalyserne og en enkelt af kromanalyserne. Kobberanalyserne og den ene kromanalyse ligger dog inden for kat. 3 kravene. Der er ingen af eluatanalyserne der falder uden for kategori.

Det er derfor valgt at undersøge hvilke anlægs- og procesparametre, der kan tænkes at være afgørende for, at Reno-Nord producerer en bedre slagge end de øvrige anlæg.

Det er valgt i de nærmere undersøgelser at belyse, hvorfor Reno-Nord skiller sig ud fra de øvrige anlæg. Samtidig vil de øvrige anlæg også blive beskrevet, hvis der er specielle forhold, der gør sig gældende, f.eks. meget høje udvaskningsdata eller andet. Selvom Kolding producerer den bedste slagge mht. udvaskningen af kobber belyses Koldings forskelle i forhold til øvrige anlæg ikke, da flere af slaggeprøverne fra Kolding falder uden for kategori mht. udvaskning af bly (1 ud af 11 slaggeprøver) og krom (5 ud af 11 slaggeprøver).

4.2 parametre med mulig indflydelse

De anlægs- og procesparametre, hvor Reno-Nord udskiller sig fra nogle af anlæggene eller fra alle de øvrige anlæg, er:

- Affaldstype
- Kapacitetsudnyttelse
- Forbrændingstemperatur og
- Ovntype

Parametrene er beskrevet i de følgende underafsnit.

4.2.1 Affaldstyper

I Figur 4-1 og Figur 4-2 er indholdet af hhv. krom og kobber i eluatet vist som funktion af andelen af specialaffald⁵ af den samlede affaldsmængde. Det ses, at Reno-Nord (blå punkter) ikke forbrænder specialaffald ligesom flere af de andre anlæg. Ét enkelt anlæg (Fasan) forbrænder op til 5,5 % specialaffald af den samlede affaldsmængde. Bofa, der forbrænder 0,35 % specialaffald (klinisk risikoaffald og oliefiltre) havde en enkelt slaggeprøve med et kromindhold i eluatet på 1800 µg/l.

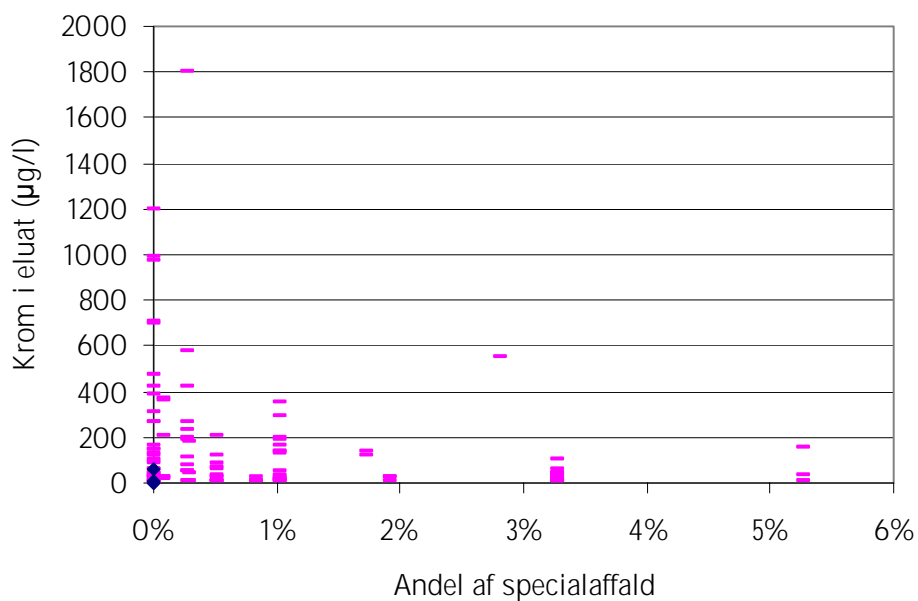
Det ses, at der forefindes både lave kromindhold for lave og høje andele af specialaffald, og at der forefindes lave og høje kromindhold, når andelen af specialaffald er nul. Dvs. ud fra grafen er der ingen korrelation mellem krom i eluatet og andelen af specialaffald. De samme tendenser gør sig gældende for kobberindholdet i eluatet. Dette bekræfter yderligere, at der med nærværende datamateriale ikke kan findes en sammenhæng mellem faststofindholdet i slaggen og dermed affald og udvaskningen af tungmetaller.

Det er Vestforbrænding (anlæg 5), der har produceret slaggeprøver med et kobberindhold på hhv. 2,7; 4,4 og 8 mg/l i eluatet. Disse tre slaggeprøver er meget atypiske, dvs. høje, i forhold til de øvrige slaggeprøver fra Vestforbrændings anlæg 5. Vestforbrænding forbrænder ca. 3,3 % specialaffald, der inkluderer klinisk risikoaffald, balleret affald og spildevandsslam.

Bofas ene slaggeprøve og Vestforbrændings (anlæg 5) 3 slaggeprøver med de høje kobberindhold er typiske eksempler på den store variation i

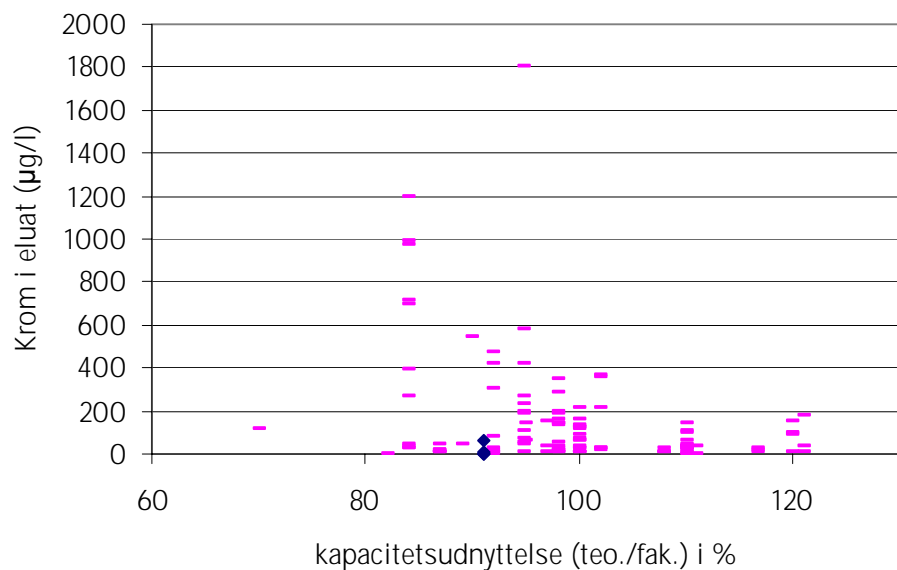
⁵ Specialaffald dækker i denne undersøgelse over følgende affaldstyper: spildevandsslam, dæk, balleret affald, klinisk risikoaffald, kølemøbler og andet (f.eks. oliefiltre)

tungmetalindholdet i eluatet for de forskellige parametre som beskrevet i afsnit 3.2.1 *Tungmetaller* 32.



4.2.2 Forbrændingskapacitet

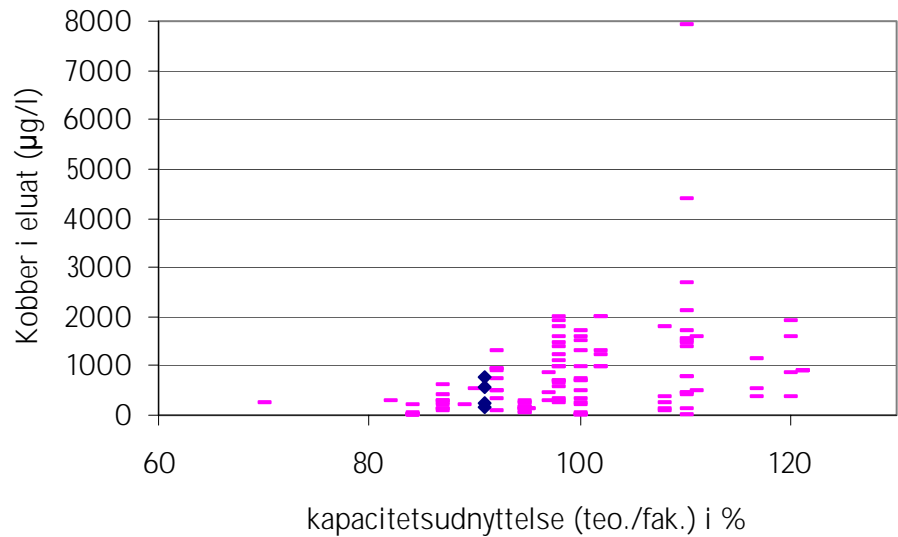
I Figur 4-3 og Figur 4-4 er indholdet for hhv. krom og kobber i eluatet vist som funktion af kapacitetsudnyttelsen af ovnene. Det ses, at forbrændingskapaciteten på Reno-Nord ligger i den lave ende på godt 90 %. Der er dog andre anlæg, der har en endnu lavere kapacitetsudnyttelse. Det ses, at der forefindes både lave kromindhold for lave og høje kapacitetsudnyttelser. Samtidig forefindes der både lave og høje kromindhold for forholdsvis lave kapacitetsudnyttelser. Dvs. bedømt ud fra grafen er der ingen korrelation mellem kromindholdet i eluatet og kapacitetsudnyttelsen. Det er Kolding, der producerer flere slaggeprøver med et kromindhold på over 800 µg/l i eluatet og samtidig har en af de laveste kapacitetsudnyttelser (84 %). Derimod er gennemsnittet af kobberindholdet i eluatet fra slaggeprøverne fra Kolding de laveste i undersøgelsen og de opfylder alle kat. 2 kravet.



Figur 4-3

Krom i eluat som funktion af kapacitetsudnyttelsen for slagge fra 2001 fra de 23 forbrændingsanlæg. Blå punkter: reno-Nord. Pink punkter: øvrige anlæg.

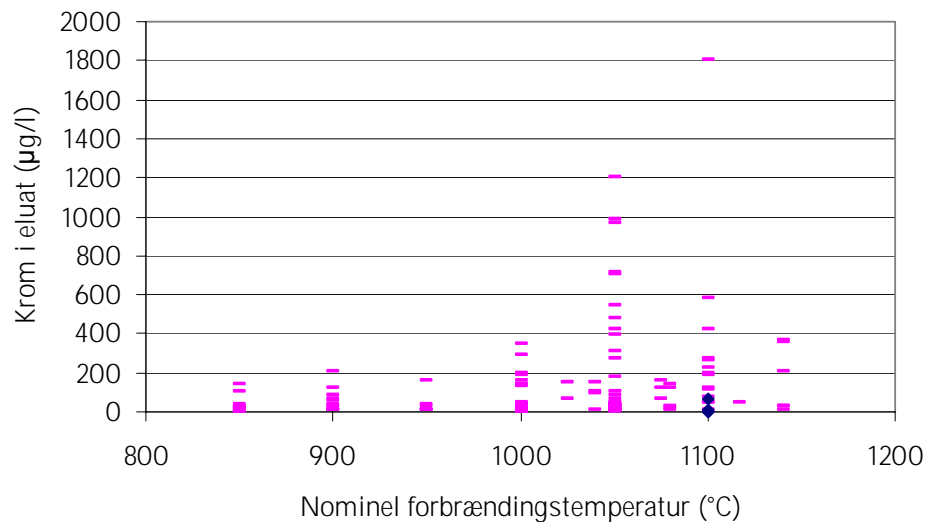
For kobberindholdet i eluatet er billedet et andet. Figur 4-4 viser at ved kapacitetsudnyttelser på 95 % eller derover er der større udsving i eluatindholdet end for kapacitetsudnyttelser mindre end 95 %. Dette kunne forklares med, at forbrændingen af affaldet sker mere fuldstændigt ved lave kapacitetsudnyttelser end ved høje kapacitetsudnyttelser. Det er igen enkelte af Vestforbrændings (anlæg 5) slaggeanalyser der afviger markant fra de øvrige slaggeanalyser for anlægget.



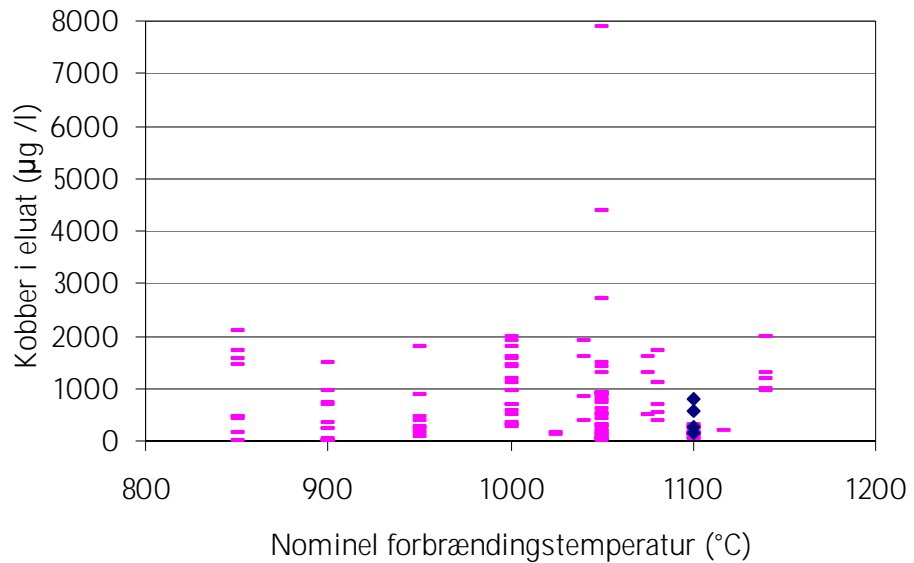
Figur 4-4
Kobber i eluat som funktion af kapacitetsudnyttelsen for slagge fra 2001 fra de 23 forbrændingsanlæg. Blå punkter: Reno-Nord. Pink punkter: øvrige anlæg.

4.2.3 Forbrændingstemperatur

I Figur 4-5 og Figur 4-6 er hhv. krom og kobber i eluatet afbildet som funktion af den nominelle forbrændingstemperatur. Det ses af figurerne, at den nominelle forbrændingstemperatur på Reno-Nord ligger i den høje ende.



Figur 4-5
Krom i eluat som funktion af nominel forbrændingstemperatur for slagge fra 2001 fra de 23 forbrændingsanlæg. Blå punkter: Reno-Nord. Pink punkter: øvrige anlæg.



Figur 4-6

Kobber i eluat som funktion af nominel forbrændingstemperatur for slagge fra 2001 fra de 23 forbrændingsanlæg. Blå punkter: Reno-Nord. Pink punkter: øvrige anlæg.

Det ses, at der forefindes både lave kromindhold i eluatet for lave og høje forbrændingstemperaturer. Samtidig forefindes der både lave og høje kromindhold i eluatet for forholdsvis høje forbrændingstemperaturer. Dvs. bedømt ud fra figurerne, er der ingen korrelation mellem krom i eluatet og forbrændingstemperaturen. Det skal igen bemærkes, at der er en del usikkerhed forbundet med de oplyste forbrændingstemperaturer. Det er igen Bofa med det ene meget høje kromindhold i eluatet på 1,8 mg/l og Kolding med flere slaggeanalyser med et kromindhold i eluatet på over 800µg/l.

Som kobber er det de samme tendenser, der gør sig gældende som for krom. Af Figur 4-6 fremgår det, at der ikke er en sammenhæng mellem den nominelle forbrændingstemperatur og kobber i eluatet.

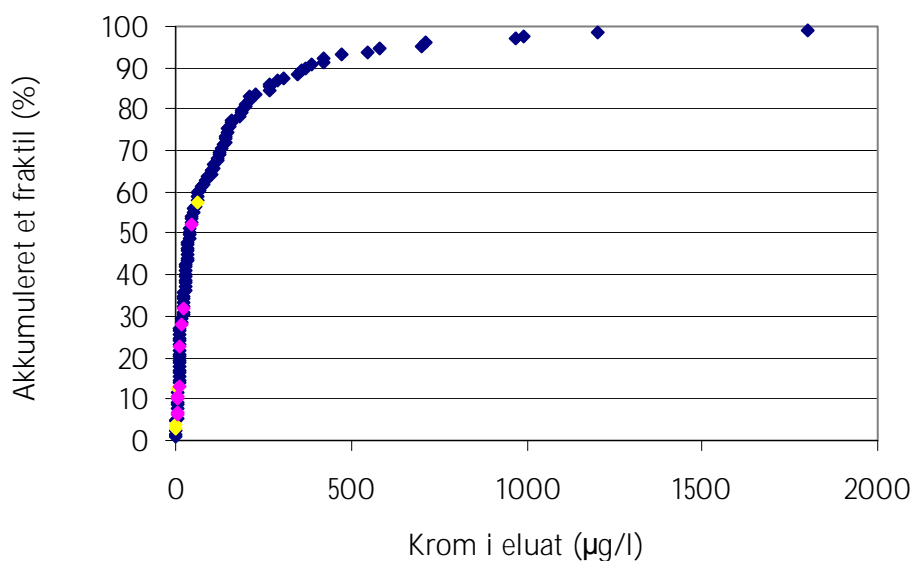
4.2.4 Ovntype

Undersøges ovntypen nærmere, viser det sig, at to af Reno-Nords tre ovne er roterovne. Det samme gør sig gældende for Vestforbrænding (anlæg 1-4). Vestforbrænding er det eneste anlæg, der behandler slaggen forskellig, alt efter hvilken ovn der har forbrændt affaldet.

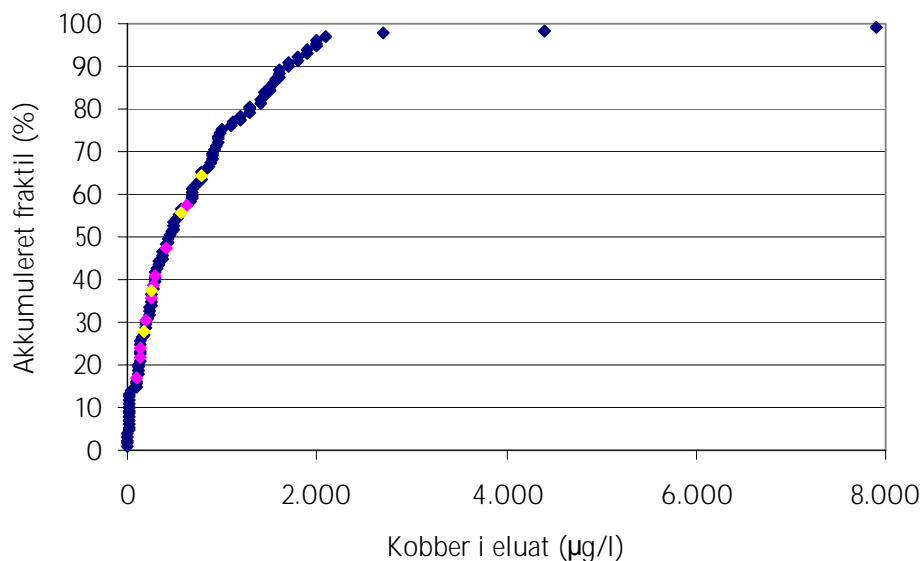
I Figur 4-7 og Figur 4-8 er vist fraktildiagrammer for udvaskningen af hhv. krom og kobber. De gule punkter er Reno-Nord, de pink er Vestforbrænding (anlæg 1-4) og de blå punkter er de øvrige anlæg.

For kroms vedkommende kan det af figuren ses, at størstedelen af slaggeprøverne fra Vestforbrænding (anlæg) 1-4 og Reno-Nord ligger blandt den bedste tredjedel (under 33 % fraktilen) af alle slaggeprøverne. En roterovn i forlængelse af risterne giver højst sandsynligt en bedre sintring/smeltning af slagge, der kan medføre en binding af tungmetaller. Det vurderes derfor, at roterovnen har en positiv effekt på slagge kvaliteten mht. krom.

Undersøges roterovnsens indflydelse på udvaskningen af kobber viser der sig et tilsvarende billede, men ikke helt så tydeligt. Størstedelen af slaggeprøverne fra Reno-Nord og Vestforbrænding (anlæg 1-4) ligger nu inden for den bedste halvdel, dvs. 50 % fraktilen, hvis der ses bort fra de usædvanlig høje værdier. Dette tolkes, at roterovnen også har en positiv indvirkning på slagge kvaliteten mht. kobber, men ikke så entydig som for krom. Dette betyder, at der højst sandsynlig også er andre ting der spiller ind på udvaskningen af kobber. Dette bekræftes også af slaggeanalyserne mht. kobber fra Vestforbrændings anlæg 5. Disse analyser er langt højere end slaggeanalyserne mht. kobber for Vestforbrændings anlæg 1-4, selvom, der forbrændes det samme affald på de to typer af anlæg.



Figur 4-7
Fraktil diagram for krom i eluat for slagge fra 2001 fra de 23 forbrændingsanlæg. Gule punkter: Reno-Nord, Pink: Vestforbrænding anlæg 1-4 og blå punkter: øvrige anlæg



Figur 4-8
Fraktildiagram for kobber i eluat for slagge fra 2001 fra de 23 forbrændingsanlæg. Gule punkter: Reno-Nord, Pink: Vestforbrænding anlæg 1-4 og blå punkter: øvrige anlæg

4.3 Parametre uden påvist indflydelse

I de følgende underafsnit er det beskrevet hvilke anlægs- og procesparametre beskrevet, der ud fra svarene ser ud til ikke at have nogen indflydelse på slagge kvaliteten, dvs. udvaskningen af tungmetallerne.

4.3.1 Silo

Den gennemsnitlige størrelse af affaldssiloen dækker over meget store udsving, og det er derfor svært at påvise at størrelsen skulle være af betydning for slagge kvaliteten. De gennemsnitlige silostørrelser for anlæggene kan ses i nedenstående tabel.

Tabel 4-1
Størrelse af affaldssiloen

Anlæg	Silostørrelse (m ³)
Reno-Nord	3.000
Vestforbrænding (1-5)	20.000
Øvrige	500-10.000

Da Vestforbrændings anlæg 1-4 fødes med affald fra samme silo som anlæg 5, og slagge kvaliteten fra anlæg 5 ikke er lige så god som slagge kvaliteten fra anlæg 1-4, vurderes det, at silostørrelsen ikke har indflydelse på slagge kvaliteten.

4.3.2 Vandkølede ristesektioner

Hverken Reno-Nord eller Vestforbrænding (anlæg 1-4) har vandkølede ristesektioner. Kun ét anlæg har oplyst, at de har vandkølede ristesektioner.

Det kan derfor ikke konkluderes, om denne parameter har indflydelse på slagge kvaliteten.

4.3.3 Slaggeudtag

Både Reno-Nord og Vestforbrænding (anlæg 1-4) har begge vådt slaggeudtag. Hos Reno-Nord afkøles størstedelen af slaggen i kar med vand og en mindre del håndteres med slaggepusher og afkøles blot med vand. Slaggen fra anlæg 1-4 hos Vestforbrænding overdyses med vand. De øvrige anlæg er en blanding af tørt og vådt, hvor størstedelen er med vådt slaggeudtag. Det vurderes derfor, at vådt slaggeudtag ikke har betydning for slagge kvaliteten.

4.3.4 Opholdstiden

Da alle anlæg ikke har oplyst data om opholdstiden i anlæggene, har det ikke været muligt at konkludere noget på denne parameter. Samtidig er de oplyste data meget tvivlsomme, da enkelte anlæg har oplyst en opholdstid på 3 og 4 minutter i hhv. udtørings- og forbrændingszonen.

4.3.5 Regulering af forbrændingsluft

Alle danske forbrændingsanlæg kan regulere forbrændingsluften og dvs. også anlæggene i nærværende undersøgelse. Optimal regulering af såvel den primære som den sekundære forbrændingsluft har meget stor betydning for hvor godt forbrændingen foregår. Data i Tabel 4-2 viser, at fordelingen for Reno-Nord og Vestforbrænding (anlæg 1-4) ikke adskiller sig fra de øvrige anlæg. Det kan derfor ikke påvises, at denne parameter har indflydelse på slagge kvaliteten.

Tabel 4-2
Fordeling af primær og sekundær forbrændingsluft

Anlæg	Fordeling af primær og sekundær forbrændingsluft	
	Primær	Sekundær
Reno-Nord	70	30
Vestforbrænding 1-4	80	20
Øvrige anlæg	40-95	5-60

4.3.6 Ristegennemfald

Reno-Nord er et af de anlæg, der blander ristegennemfaldet med slaggen, hvorimod Vestforbrænding (anlæg 1-4) tilbagefører ristegennemfaldet. De øvrige anlæg er en blanding af tilbageføring og blanding med slaggen. Det kan derfor ikke umiddelbart påvises at tilbageføring af ristegennemfald har betydning for slagge kvaliteten.

4.3.7 Kedelaske

Hverken Reno-Nord eller Vestforbrænding (anlæg 1-4) separerer kedelasken fra slaggen. Blandt de øvrige anlæg findes der både anlæg der separerer kedelasken fra slaggen og andre der sammenblander kedelasken med slaggen. Det vurderes derfor at separation af kedelasken fra slaggen ikke har betydning for slagge kvaliteten og dermed udvaskningen af tungmetallerne.

4.3.8 Anvendelse af vaskevand

Reno-Nord anvender ikke vaskevand til slaggen, hvorimod Vestforbrænding (anlæg 1-4) anvender ca. 1,6 m³ vand/ton slagge. Resten af de øvrige anlæg anvender ikke vaskevand - undtagen Amagerforbrænding, der ligesom Vestforbrænding anvender vaskevand. Det kan ikke påvises i denne undersøgelse, at vaskevand har indflydelse på slagge kvaliteten (udvaskningen af tungmetaller), idet Amagerforbrænding ikke producerer speciel god slagge kvalitet.

Undersøgelser /6/ har dog vist, at udvaskning af slagge ved L/S på 2 kan reducere indholdet af salte (klorid, sulfat og natrium) med op til 30-100 %, hvorimod effekten på tungmetalindholdet er særdeles begrænset.

4.3.9 Tilknytning af erhvervsaffaldskonsulent

De modtagne data fra anlæggene viser, at både Reno-Nord og Vestforbrænding har tilknyttet en erhvervsaffaldskonsulent⁶, der vejleder alle typer af virksomheder i anlæggenes opland. Blandt de øvrige anlæg, er der både anlæg der har tilknyttet en erhvervsaffaldskonsulent og anlæg, der ikke har. Derfor vurderes det, at tilknytningen af en erhvervsaffaldskonsulent ikke har betydning for slagge kvaliteten.

4.3.10 Slaggemodning

Både Reno-Nord og Vestforbrænding (anlæg 1-4) modner slaggen udendørs, hvorimod de øvrige anlæg både modner indendørs og udendørs. Da der i denne undersøgelse er set på forholdsvis frisk slagge (4-14 uger jævnfør bemærkninger i afsnit 1.2 på side 12), kan denne parameter ikke have indflydelse på slagge kvaliteten i denne undersøgelse.

⁶ Erhvervsaffaldskonsulenten vejleder virksomheder i korrekt affaldshåndtering

5 Konklusion og anbefalinger

5.1 Konklusion

De indsamlede slaggedata fra de 23 deltagende anlæg i denne undersøgelse har vist, at det er udvaskningen, der er afgørende for i hvilken kategori slagge falder.

Der er ingen af anlæggene, der med uændrede forhold på anlæggene vil være i stand til at opfylde kravene til udvaskningen af saltene. Tidligere undersøgelser har anbefalet at kravene til udvaskningen af salte revideres, da kravene er restriktive i forhold til de saltmængder, der tilføres grundvandet omkring veje, der saltes i vinterhalvåret.

Mht. udvaskningen af tungmetallerne har de indsamlede data vist, at der er meget store variationer i eluatanalyserne. Som oftest er der én enkelt eller få af analyserne, der afviger markant (højere) fra de øvrige analyser. Dvs. slaggeprøven falder uden for kategori pga. for stor blyudvaskning i den ene prøve og falder uden for kategori pga. for høj kobberudvaskning i en anden slaggeprøve.

Størstedelen af anlæggene har problemer med at overholde kat. 2 kravene til udvaskningen af krom og kobber. Kun 18 % af de i alt 128 slaggeprøver foretaget i 2001 overholder kat. 2 kravene til krom og 14 % overholder kat. 2 kravene til kobber.

Følgende anlæg producerede de største andele af slagge, der overholder kat. 2 kravene til krom:

- Reno-Nord (75 % af slaggeprøverne)
- Vestforbrænding anlæg 1-4 (55 % af slaggeprøverne)
- Svendborg (60 % af slaggeprøverne)

og til kobber:

- Kolding (90 % af slaggeprøverne)
- Amager (40 % af slaggeprøverne)

Af de ovenstående anlæg er det Reno-Nord, der producerer den bedste slagge. Resultatet af eluatanalyserne viser, at alle Reno-Nords analyser falder i kat. 2 på nær én kromanalyse og alle kobberanalyserne. Disse falder i kat. 3.

Svendborgs og Amagerforbrændings slaggeprøver falder alle i kat. 3 mht. udvaskningen af kobber, mens 55-60 % af slaggeprøverne falder i kat. 2 mht. udvaskningen af krom. Amagerforbrænding har 1 prøve, der falder uden for kategori (bly) og Kolding har flere slaggeprøver, der falder uden for kategori (1 bly og 5 krom).

De indsamlede data viste, at slagge, der kommer fra anlæg med roterovn, har en bedre kvalitet mht. udvaskning af krom og kobber end slagge fra anlæg

med andre ovntyper. Størstedelen af affaldet, der forbrændes på Reno-Nords anlæg samt alt affald, der forbrændes på Vestforbrændings anlæg 1-4, forbrændes i roterovne.

Det har ikke været muligt i nærværende undersøgelse at identificere andre anlægsparametre eller nogen procesparametre, der har indflydelse på slagge kvaliteten (udvaskningen af krom og kobber).

Det er dog rimeligt at antage, at efterbehandlingen af slaggen også har indflydelse på slagge kvaliteten. En del af forklaringen på den bedre slagge kvalitet kan derfor muligvis findes her. Det ligger imidlertid udenfor dette projekts formål at belyse disse forhold.

5.2 Anbefalinger

5.2.1 Krav til prøvetagningsmetode i bekendtgørelsen

I den nuværende bekendtgørelse /5/ er der ikke specificeret krav til repræsentativiteten af slaggeprøven eller prøvetagningsmetoden, f.eks. slaggeprøvens alder ved analysetidspunkt. For at kunne karakterisere slaggen mht. overholdelse af kravværdier, er en ensartet prøveudtagning en væsentlig forudsætning. Det anbefales derfor, at der udarbejdes retningslinier for repræsentativiteten og prøvetagningsmetoden, og at disse inkluderes i bekendtgørelsen.

5.2.2 Yderligere undersøgelser

Det anbefales, at der foretages en mere detaljeret undersøgelse af de 5 forbrændingsanlæg:

- Reno-Nord
- Vestforbrænding (anlæg 1-4)
- Svendborg
- Kolding og
- Amagerforbrænding;

for at belyse, hvorfor disse anlæg er i stand til at producere en bedre slagge end de øvrige anlæg. I undersøgelsen bør anlæggene gennemgås mere minutiøst, således at det er muligt at finde forklaringen på de forskelle i udvaskningen af krom og kobber, der er blevet påvist i denne undersøgelse. En undersøgelse bør bl.a. belyse hvorfor Kolding producerer bedre slagge mht. udvaskningen af kobber end de øvrige anlæg. I undersøgelse bør der indgå et referenceanlæg, med en relativt dårlig slagge kvalitet. Det bør også overvejes at foretage analyser af flyveasken, da en sammenhæng mellem "god" slagge og "dårlig" flyveaske ikke kan afvises.

Det har ikke været muligt inden for rammerne af denne undersøgelse, at undersøge om temperaturforholdene i ovnene har betydning for slagge kvaliteten. Det anbefales derfor at udføre en nærmere undersøgelse om:

- en mere stabil forbrændingstemperatur, eller
- niveauet af forbrændingstemperaturen

har afgørende betydning slagge kvaliteten.

6 Referenceliste

1. Affaldsstatistik 1995, Miljøstyrelsen, Orientering fra Miljøstyrelsen Nr. 14, 1996.
2. Affaldsstatistik 2002, Miljøstyrelsen, Orientering fra Miljøstyrelsen Nr. 6, 2003.
3. Affaldsstatistik 2004, Miljøstyrelsen, Orientering fra Miljøstyrelsen Nr. 7, 2005.
4. Tungmetaller i affald - guide og idékatalog til sortering af tungmetalholdigt affald, Miljøprojekt Nr. 891, 2003.
5. Bekendtgørelse om genanvendelse af restprodukter og jord til bygge- og anlægsarbejder. Miljø- og energiministeriets BEK nr. 655 af 27/06/2000.
6. Slagge fra affaldsforbrænding - Status og udviklingsmuligheder år 2003, Affald Danmark, 2003.
7. Niels Møller Pedersen og Hans Møller: Undersøgelse af nøjagtighed ved prøveudtagning af modnet, harpet slagge fra affaldsfyret anlæg, november 2001.
8. Niels Møller Pedersen og Hans Møller: Undersøgelse af variabilitet af modnet, harpet slagge fra forbrædningsanlæg, januar 2003.
9. Bekendtgørelse om ændring af bekendtgørelse om genanvendelse af restprodukter og jord til bygge- og anlægsarbejder. Miljøministeriets BEK nr. 1106 af 12/12/2003.
10. Udvikling i udvaskning fra lagret råslagge fra I/S Vestforbrænding, Afatek, 2002.
11. Slagge fra affaldsforbrænding - Status og udviklingsmuligheder år 2003, Udviklingsprojekt B: JAWA 2: Simpel slaggevask med og uden tilsætning af natriumbikarbonat, affald danmark og DTU, september 2003.

Deltagende forbrændingsanlæg

Følgende affaldsforbrændingsanlæg har deltaget i undersøgelsen:

- AVV I/S
- Bofa I/S
- Elsam A/S, Odense Kraftvarmeværk
- Energigruppen, Knudmoseværket
- Frederikshavns Affaldskraftvarmeværk
- Hadsund Forbrænding
- Horsens Kraftvarmeværk A/S
- I/S Amagerforbrænding
- I/S Fasan
- I/S Kara
- I/S Kavo Energien
- I/S Kraftvarmeværk Thisted
- I/S REFA
- I/S Reno-Nord
- I/S Vestforbrænding
- I/S Aars Varmeværk
- Kolding Affaldskraftvarmeværk
- Kraftvarmeværk Haderslev
- Svendborg Kraftvarmeværk
- Sønderborg Kraftvarme I/S
- VEGA I/S
- Vestfyns Forbrænding
- Århus Kommunale Værker - Forbrændingen

Spørgeskema

Følgende spørgeskema er fremsendt til affaldsforbrændingsanlæggene.

Kvalitet af slagge fra forbrændingsanlæg

Spørgeskemaundersøgelse

Spørgeskemaundersøgelsen er en del af Miljøstyrelsens projekt "Kvalitet af slagge fra forbrændingsanlæg", hvor COWI A/S sammen med I/S Amagerforbrænding og I/S Vestforbrænding undersøger, om der er en sammenhæng mellem kvaliteten af slaggen og anlæg- og procesparametre på anlæggene.

I den forbindelse ønsker vi at få informationer fra alle danske forbrændingsanlæg, der i blandt jeres anlæg. De stillede spørgsmål skal besvares for anlægget som det så ud i 2001. Hvis der er foretaget væsentlige ombygninger af anlægget i 2001, skal spørgeskemaet ikke udfyldes, men blot returneres med en beskrivelse af ombygningen. Vi vil så eventuelt senere kontakte jer.

Alle fremkomne data vil blive behandlet fortroligt.

Hvis der skulle være spørgsmål eller uklarheder i spørgeskemaet, er I meget velkomne til at rette henvendelse til COWI's projektmedarbejdere: Joan Maj Nielsen, tlf.: 45 97 10 42, e-mail: jmn@cowi.dk eller Jan Clement, tlf.: 87 39 67 42, e-mail: jcl@cowi.dk.

Anlæg

Hvad er anlæggets navn? _____

Hvad er anlæggets
adresse? _____

Hvad er anlæggets tlf. no.? _____

Hvem har udfyldt skemaet? _____

Hvem er kontaktperson? _____

Affald

Hvilke typer af affald modtages der på anlægget (afkryds de modtagne typer og angiv mængden for 2001)?

De opgivne mængder må ikke inkludere specielt affald.

Type	Mængde (tons/år)
Husholdningsaffald	
Storskrald	
Erhvervsaffald	
Andet (beskriv)	

Brændes der specielt affald (angiv mængde af de modtagne typer for 2001)?

Type	Mængde (tons/år)
Spildvandsslam	
Dæk	
Balleret affald	
Hospitalsaffald	
Andet (beskriv)	

Hvorledes udføres modtagekontrol af affaldet?

Er der tilknyttet en erhvervsaffaldskonsulent, der har indflydelse på affaldet, der modtages på forbrændingsanlægget? _____

Hvis JA, hvilke typer af virksomheder vejleder konsulenten?

Forbehandling af affald

Gøres der noget for at sikre et homogent brændsel (f.eks. ved blanding af affaldet med kran inden indfyring, neddeling, mellemlagring af visse typer af affald, der kun tages ind i begrænsede mængder etc.)?

Hvis JA, hvorledes udføres processen?

Reguleringsparametre

Hvad er hovedfilosofien for anlægsreguleringen (styres der efter energiproduktion, røggasmængde, affaldsmængde etc.)?

Uddannelse af personale

Angiv uddannelse og eventuelle interne eller eksterne kurser relevant for det daglige arbejde for følgende grupper af personale.

Kranfører

Uddannelse

Kurser

Operatør

Uddannelse

Kurser

Driftsleder

Uddannelse

Kurser

Slagge

Hvis der er forskelle i behandling og prøveudtagning af slagge for hver af ovnliniere, bedes forskellene beskrevet.

Afkøling af slagge

Hvorledes afkøles slaggen? Beskriv processen.

Hvis der er forskelle i afkøling af slagge for hver af ovnliniere, bedes forskellene beskrevet.

Anvendes der brugsvand eller teknisk vand til slaggeafkøling?

Hvis **teknisk vand** - hvorfra opsamles dette?

Hvis **teknisk vand** - hvorledes forbehandles dette?

Hvor store mængder vand anvendes (m³/ton slagge)?

Anvendes der vaskevand?

Hvis JA, beskriv brugen af vaskevand samt om vandet behandles eller recirkuleres

Hvor store mængder vand føres fra slaggeudtag, for at opnå vaskeeffekt (m³/ton slagge)

Slaggebehandling

Sorteres slaggen inden der udtages prøver (f.eks. med magnet, sorteringstromle etc.)?

Modnes slaggen indendørs- eller udendørs?

Sker der en beluftning/mekanisk vending af slaggen?

Hvis JA, beskriv denne behandling

Modnes slaggen med eller uden tilsætning af vand (recirkulering)?

Hvis **vand tilsættes** - beskriv processen

Hvorledes sorteres /behandles slaggen inden den køres bort fra anlægget?

Separeres kedelasken fra slaggen? _____

Hvis JA, er der tale om alt kedelaske eller er der dele der stadig tilføres slaggen f.eks. fra efterstillet efterforbrændingskammer eller 2 og 3 træk, etc.?

Slaggeprøve

Hvorledes udtages slaggeprøver? _____

Hvor udtages slaggeprøver? _____

Af hvem udtages prøverne? _____

Hvornår udtages prøverne, angiv tiden fra slaggen produceres til prøven tages? _____

Hvornår sendes prøverne til analyse? _____

Som en del af undersøgelsen bedes kopier af alle slaggeanalyser fra 2001 vedlagt besvarelsen.

Hvor mange ens ovnlinier dækker de følgende svar? _____

Anlægsparametre

Ovn

Hvilket fabrikat er ovnen? _____

Hvilken årgang er ovnen? _____

Hvilken ovntype er ovnen (midtstrøms, medstrøms, roterovn eller andet)? _____

Hvad er ovnens kapacitet ved udlægning og ved hvilken brændværdi? _____

ton/h

Brændværdi: _____

GJ/ton

Er ovnen udmuret, beklædt med kakler eller andet? _____

Er der kølede flader i ovnen? _____

Hvis JA, beskriv omfanget evt. med kopi af tegning _____

Hvad er den nominelle brændværdi, praksis? _____

Silo

Hvor stor er affaldssiloen?

Bredde

m

Længde

m

Dybde

m

Hvor mange dages affald kan siloen indeholde? _____

Hvor mange aflæsningshuller har siloen? _____

Er der generelt plads til blanding af affaldet i siloen? svar evt. med god, nogenlunde eller dårlig. _____

Kapacitetsudnyttelse

Hvor meget affald forbrændes i forhold til anlægskapaciteten (tons/time faktisk i forhold til tons/time teoretisk)?

Ristetypen og styring

Hvilken type er risten (opgiv fabrikat og model)?

Hvor mange ristesektioner er der i ovnen?

Hvor bred er risten?

m

Hvad er den faktiske længde af ovnen? Se nedenstående skema.

	Længde
Udtørningszonen	m
Forbrændingszonen	m
Udbrændingszonen	m

Hvad er hældningen af risten?

grader

Kan forbrændingsluften reguleres til de individuelle sektioner?

Er der installeret et ACC (advanced combustion control) system?

Hvis JA, hvilket?

Er der ristespring?

Hvis JA, hvor og hvor høje?

Er der vandkølede sektioner?

Slaggeudtag

Hvilken type slaggeudtag har ovnen? _____

Ændring af design

Er ovnlinien blevet ændret eller udvidet inden for de sidste 2 år _____

Hvis JA, beskriv ændringerne og hvornår de skete

Procesparametre Opholdstid

Opgiv ca. opholdstid i følgende zoner.

Udtørningszonen	minutter
Forbrændingszonen	minutter
Udbrændingszone	minutter
Slaggeudtag	minutter

Forbrændingstemperaturen

Hvad er ovntemperaturen (nominelt samt normale variationer)?

Findes der yderligere informationer om temperaturen i ovnen, f.eks. er der bestemt temperaturprofiler for ovnen?

Har leverandøren udarbejdet en temperaturprofil?

Er der gennemført målinger af temperaturen i affaldet, ved risten eller andre steder?

Hvis JA, angiv sted og temperatur

Ilt og røggas

Hvad er ilt-% og hvor i anlægget måles den?

Er der foretaget iltmålinger over affaldslaget (afkryds og hvis ja oplys ilt %)

	Forbrændingszonen	Udbrændingszonen
JA		
NEJ		

Hvad stor er røggasmængden?

Nm³/time

Er der recirkulation af røggassen?

Hvis JA, hvad er i så fald den faktiske recirkulation af røggassen?

Nm³/time

Ristegennemfald

Bliver ristegennemfaldet tilbageført eller blandes det direkte i slaggen?

Primær/sekundær luft

Hvorledes fordeles primær og sekundær luft (hvordan og hvor meget)?

Hvorledes fordeles primær luft under ristene (hvordan og hvor meget)?

Angiv den primære lufttemperatur?

°C

Slaggebekendtgørelsens krav til faststof- og eluatindhold

I følgende tabel er vist slaggebekendtgørelsens inddelinger af slagge i kategorier mht. faststofindhold.

Inddeling af slagge mht. faststofindhold

	Kat. 1	Kat. 2	Kat. 3
	Faststofindhold (mg/kg tørstof)		
Arsen	0 - 20	> 20	> 20
Bly	0 - 40	> 40	> 40
cadmium	0 - 0,5	> 0,5	> 0,5
Krom, total	0 - 500	> 500	> 500
Krom (VI)	0 - 20	> 20	> 20
Kobber	0 - 500	> 500	>500
Kviksølv	0 - 1	> 1	>1
Nikkel	0 - 30	> 30	>30
Zink	0 - 500	> 500	>500

I følgende tabel er vist slaggebekendtgørelsens inddelinger af slagge i kategorier mht. eluatindhold.

Inddeling af slagge mht. eluatindhold

	Kat. 1	Kat. 2	Kar. 2 Midlertidig ¹	Kat. 3
	Eluatindhold (µg/l)			
Klorid	0 - 150.000	0 - 150.000	1.500.000	150.000 - 3.000.000
Sulfat	0 - 250.000	0 - 250.000	2.000.000	250.000 - 4.000.000
Natrium	0 - 100.000	0 - 100.000	1.000.000	100.000 - 1.500.000
Arsen	0 - 8	0 - 8		8 - 50
Barium	0 - 300	0 - 300		300 - 4.000
Bly	0 - 10	0 - 10		10 - 100
Cadmium	0 - 2	0 - 2		2 - 40
Krom, total	0 - 10	0 - 10		10 - 500
Kobber	0 - 45	0 - 45		45 - 2.000
Kviksølv	0 - 0,1	0 - 0,1		0,1 - 1
Mangan	0 - 150	0 - 150		150 - 1.000
Nikkel	0 - 10	0 - 10		10 - 70
Zink	0 - 100	0 - 100		100 - 1.500

¹ Gældende frem til 1. januar 2007

Antal slaggeanalyser, der overholder kat. 2-krav til udvaskning af tungmetaller

I følgende tabel er der for hvert anlæg opgivet antallet af slaggeanalyser foretaget i 2001 samt antallet af slaggeanalyser, der overholder kat. 2 kravene for udvaskningen af tungmetaller.

Anlæg	Antal analyser	Ar	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Zn
AVV	3	2	3	3	1		1	3
Bofa	12	12	12	11	1	2	12	12
Odense	18	6	16	17	2		16	17
Knudmose	9	4	4	9	2		9	7
Frederikshavn	1	1		1			1	1
Hadsund	1		1	1			1	1
Horsens	3	1	2	3			3	2
Amager- forbrænding	12	12	7	12	1	5	11	11
Fasan	3	1	1	3	1		3	3
Kara	9	8	8	8	2	1	5	8
Kavo	1	1	1	1	1	¹	1	1
Thisted	3	1	3	3			3	3
Refa	2		1	2	1		2	2
Reno-Nord	4	4	4	4	3	²	4	4
Vestfor: 1-4	9	9	3	9	5		9	5
Vestfor: 5	7	7	5	7			3	5
Aars	2	2	2	2			2	2
Kolding	11	11	8	11	³	10	11	11
Haderslev	1	1	1	1			1	1
Svendborg	5	4	4	5	3		4	5
Sønderborg	6	4	6	6			5	6
Vega	4	4	4	4	1		1	3
Vestfyn	1	1	1	1			1	1
Århus	2	2		2			2	2

¹ Prøven falder i kat. 3

² Alle prøver falder i kat. 3.

³ 54 % af prøver falder i kat. 3 og 46 falder uden for kat.

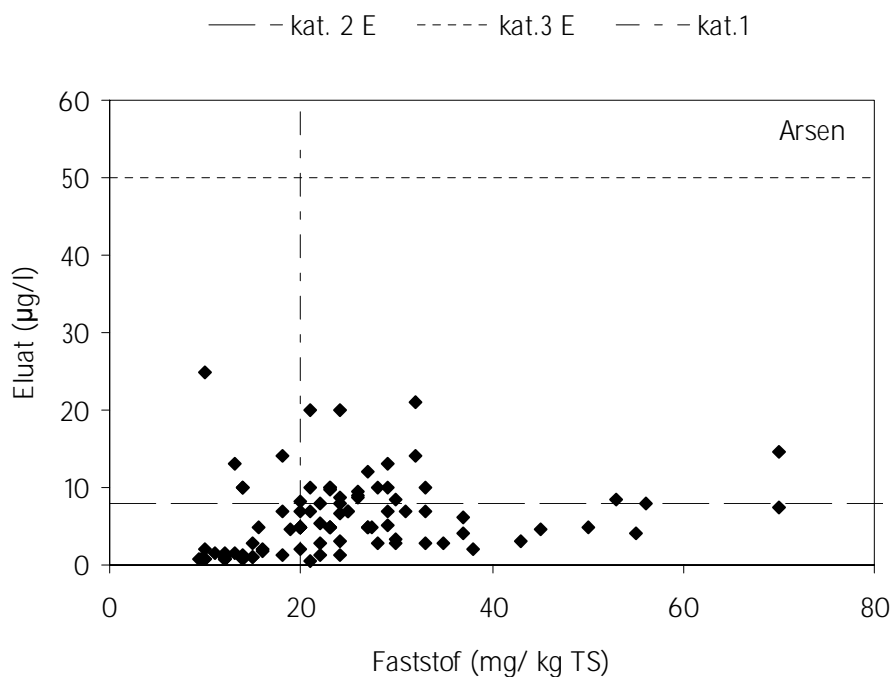
Antal slaggeanalyser, der overholder kat. 2-krav til udvaskning af salte

I følgende tabel er der for hvert anlæg opgivet antallet af slaggeanalyser foretaget i 2001 samt antallet af slaggeanalyser, der overholder kat. 2 kravene for udvaskningen af salte.

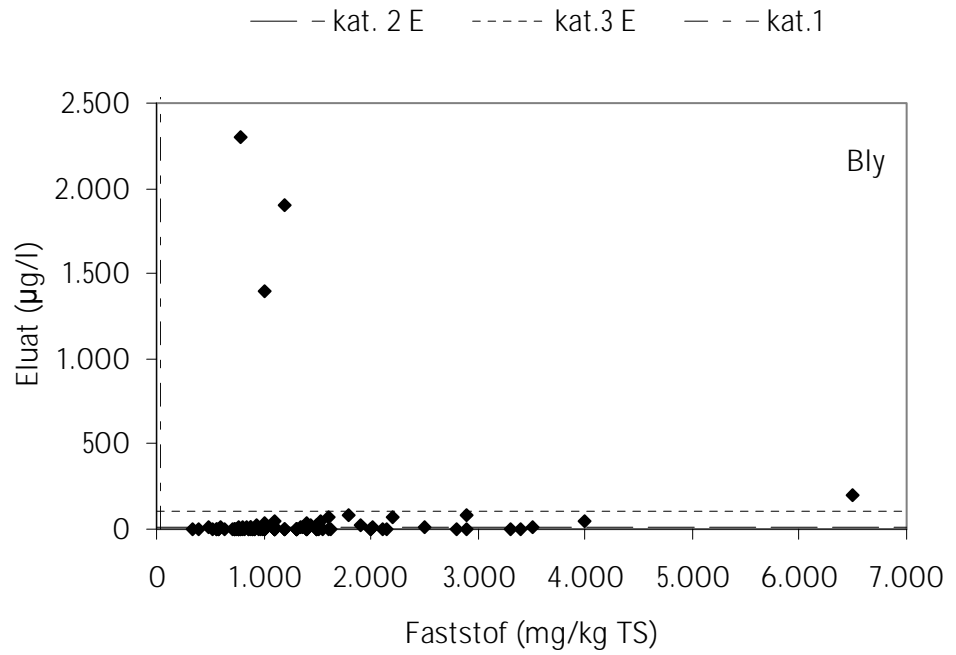
Anlæg	Antal analyser	Midlertidig kat 2. krav			Kommende kat 2. krav		
		Cl	SO ₄	Na	Cl	SO ₄	Na
AVV	3	2	1	1			
Bofa	12		10	3			
Odense	18	17	15	17			
Knudmose	9	7	8	7		6	
Frederikshavn	1		1	1			
Hadsund	1	1	1	1			
Horsens	3	3	3	2			
Amagerforbrænding	12	10	12	11		1	
Fasan	3	2	3	3			
Kara	9	9	9	9			1
Kavo	1	1	1				
Thisted	3		2	1			
Refa	2	2	2	2			
Reno-Nord	4	3	4	3			
Vestforbrænding: 1-4	9	9	9	9	1	8	
Vestforbrænding: 5	7	7	7	6	1	1	
Aars	2		2	1		2	
Kolding	11	10	11	11		4	
Haderslev	1	1	1	4			
Svendborg	5	5	5	5			
Sønderborg	6	1	6				
Vega	4	4	4	4			2
Vestfyn	1	1	1	1			
Århus	2	2	2	1			
Total	128	97	120	100	2	22	3

Grafisk afbildning af faststof- og eluatindholdet

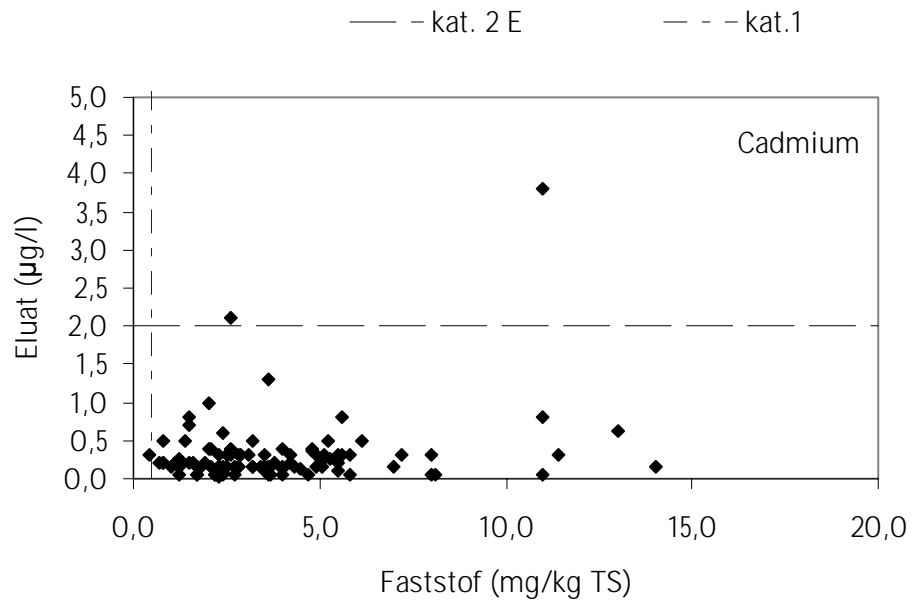
I de følgende figurer er eluatindholdet vist som funktion af faststofindholdet for de 6 tungmetaller: arsen, bly, cadmium, kviksølv, nikkel og zink. Tilsvarende figurer for krom og kobber findes i kapitel 4.



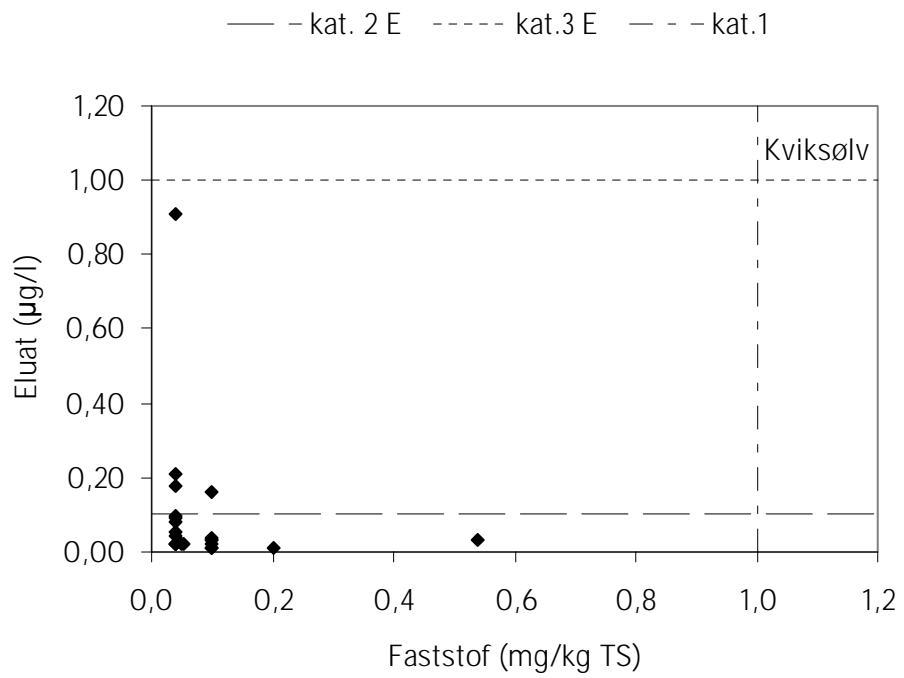
Figur F - 1
Indholdet af arsen i el uat som funktion af indholdet af arsen i faststof for slaggen fra de 23 danske forbrændingsanlæg fra 2001.



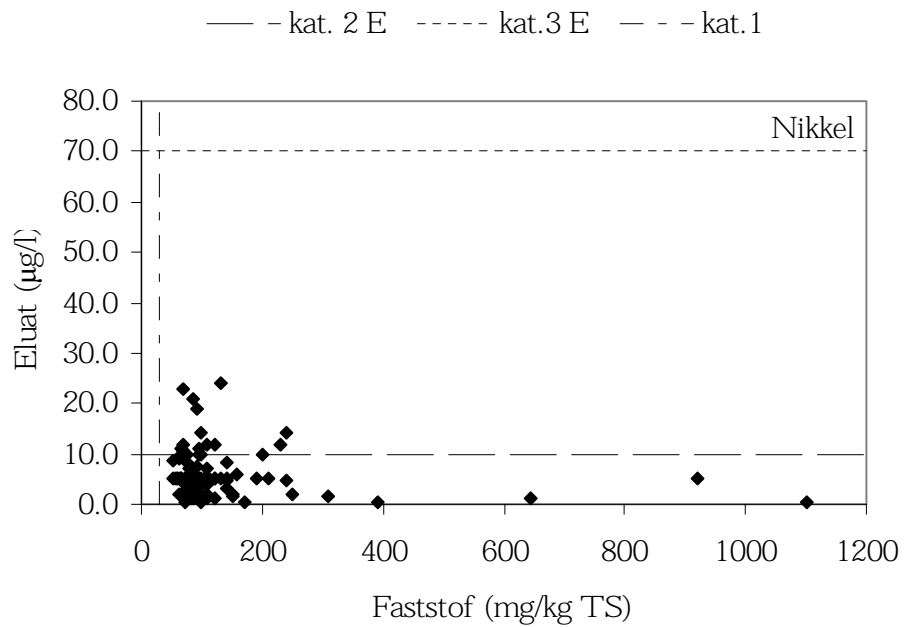
Figur F - 2
 Indholdet af bly i eluat som funktion af indholdet af bly i faststof for slaggen fra de 23 danske forbrændingsanlæg fra 2001.



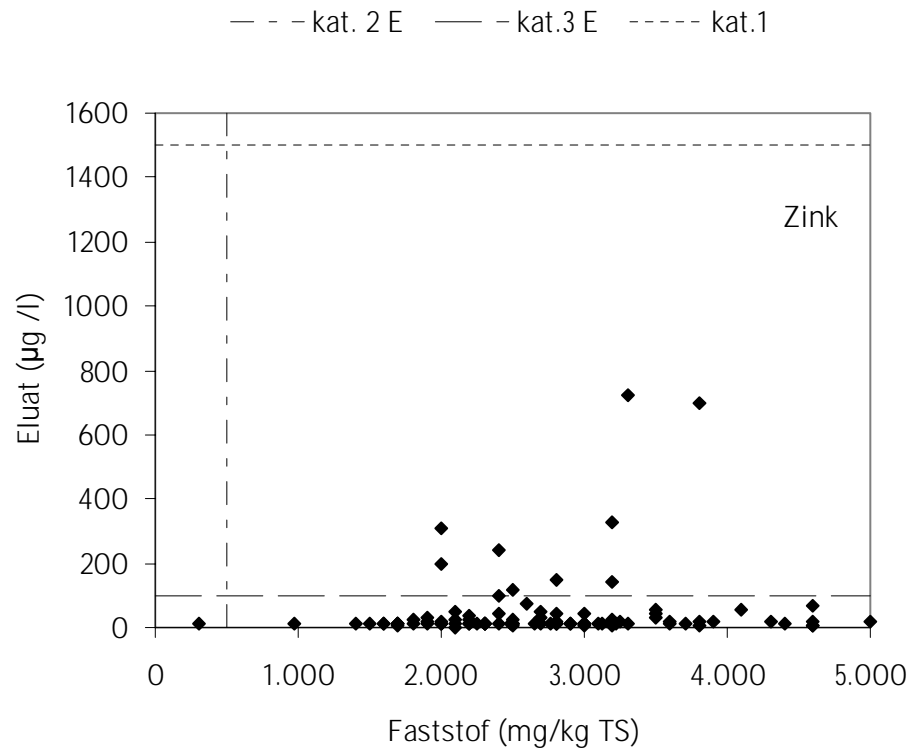
Figur F - 3
 Indholdet af cadmium i eluat som funktion af indholdet af cadmium i faststof for slaggen fra de 23 danske forbrændingsanlæg fra 2001.



Figur F - 4
 Indholdet af kviksølv i eluat som funktion af indholdet af kviksølv i faststof for slaggen fra Amagerforbrænding og Vestformbrænding fra 2001.



Figur F - 5
 Indholdet af nikkel i eluat som funktion af indholdet af nikkel i faststof for slaggen fra de 23 danske forbrændingsanlæg fra 2001.



Figur F - 6
 Indholdet af zink i eluat som funktion af indholdet af zink i faststof for slaggen fra de 23 danske forbrændingsanlæg fra 2001.