

Miljøprojekt nr. 193

1992

Restprodukter fra røggasrensning ved affaldsforbrænding II

Miljøprojekt

- Nr. 62: Luftforurening med kvælstofoxider i Danmark
- Nr. 63: Anvendelse af analyseresultater ved vandkontrol
- Nr. 64: Kosmetik - bivirkninger
- Nr. 65: Miljøfremmede stoffer i kommunalt spildevand
- Nr. 66: Undersøgelser af blødt aggressivt vand
- Nr. 67: Kilder til grundvandsforurening
- Nr. 68: Overflade aktiveret iltning af ferrojern i vand fra Hvidmosen
- Nr. 69: Forbrug og forurening med chlorphenoler
- Nr. 70: Organiske opløsningsmidler
- Nr. 71: Kviksølv i havneslam
- Nr. 72: Organic solvents
- Nr. 73: Arealanvendelse og geologi - nitrat i grundvand
- Nr. 74: Kviksølv i danske ferskvandsøkosystemer
- Nr. 75: Forureningstilstanden i danske svømmebade
- Nr. 76: Nitrat og pH i drikkevand
- Nr. 77: Kviksølv i jord
- Nr. 78: Drænvandskvalitet fra pyritholdige arealer
- Nr. 79: Leptospirobakterier i rotter ved dambrug og landbrug
- Nr. 80: Svømmebade og sygdomsrisici
- Nr. 81: Lokale forureninger og helbredseffekter
- Nr. 82: QSAR og toksikologi - en ny strategi i kemikalievurdering
- Nr. 83: Forurening fra gamle affaldsdepoter uden kemikalieaffald
- Nr. 84: Alternativ lossepladsteknologi - en litteraturgennemgang
- Nr. 85: Tilførsel af næringsstoffer til vandløb
- Nr. 86: Genanvendelse af tekstilaffald
- Nr. 87: Substitution af PVC-plast med andre plastmaterialer
- Nr. 88: Emballage til mælk og juice
- Nr. 89: Vandressourcerne og klimasvingninger
- Nr. 90: Nikkelafgivelse fra metallegeringer
- Nr. 91: Algetoksicitetstest
- Nr. 92: CFC-forbrugsmønstre i Danmark
- Nr. 93: Mikrobiel nedbrydning af miljøfremmede stoffer i grundvand
- Nr. 94: Genanvendelse af madaffald fra storkøkkener i København
- Nr. 95: Bundfaunaundersøgelser som redskab til overvågning
- Nr. 96: Svovlbrintedannelse og -kontrol i trykledninger
- Nr. 97: Renere teknologi i fiskeindustrien
- Nr. 98: Renere teknologi i træ- og møbelbranchen
- Nr. 99: Kompostering af haveaffald i Frederiksborg amt
- Nr. 100: Hazard assessment of 1,1,1-trichloroethane
- Nr. 101: Organiske opløsningsmidler i husholdningsprodukter
- Nr. 102: Fuglefaunaen på konventionelle og økologiske landbrug
- Nr. 103: Sprøjtefri randzoner i kornmarker
- Nr. 104: Miljøforbedring ved hovedseparation i rejepilleindustrien
- Nr. 105: Forbrug af og forurening med bly i Danmark
- Nr. 106: Haloner - forbrugsmønstre i Danmark
- Nr. 107: Galvanisk overfladebelægning uden affald og spildevand
- Nr. 108: Madaffald fra storkøkkener - organisation af indsamling og oparbejdning
- Nr. 109: Erstatningsstoffer for fosfat - spredning og effekter i miljøet
- Nr. 110: Olie/kemikalieaffald - en spørgeskemaundersøgelse
- Nr. 111: Undersøgelser af vejledende pyritgrænseværdier
- Nr. 112: Kvantitative og kvalitative kriterier for risikoaccept
- Nr. 113: Storskrald og haveaffald
- Nr. 114: Papirindsamling via specialcontainere og genbrugsstation
- Nr. 115: Vandmiljøplanens overvågningsprogram
- Nr. 116: Renere teknologi i svine- og kreaturslagteribranchen
- Nr. 117: Dioxinemission ved affaldsforbrænding
- Nr. 118: Klorkilders betydning for dioxindannelse ved forbrænding
- Nr. 119: Okkerrensning i forbindelse med landbrugsmæssig dræning
- Nr. 120: Kontrol af køretøjer med katalysator
- Nr. 121: Forurenede industrigrunde
- Nr. 122: Indsamling af papir og pap fra erhvervsvirksomheder
- Nr. 123: Risikovurdering af forurenede grunde
- Nr. 124: Vedligeholdelse af køle-smøremidler
- Nr. 125: Fugleføde i kornmarker - insekter og vilde planter
- Nr. 126: Miljøvenlige malematerialer i jernindustrien
- Nr. 127: Miljøfremmede, organiske stoffer i kommunalt spildevand
- Nr. 128: Nedsivning fra byggeaffald
- Nr. 129: Genanvendelse af bygge- og anlægsaffald - del 1
- Nr. 130: Forureningsfri galvanomaskiner til værkstedsbrug
- Nr. 131: Miljøvurdering af PVC og udvalgte alternative materialer
- Nr. 132: PVC i kontorartikler, sundhedssektor, m. v.
- Nr. 133: PVC i byggeri og anlæg
- Nr. 134: PVC i emballage
- Nr. 135: Hjemmekompostering
- Nr. 136: Bearbejdning af danske måledata af regn og afstrømning
- Nr. 137: Regulering af forurening fra afløbssystemer under regn

Miljøprojekt nr. 193

1992

Restprodukter fra røggasrensning ved affaldsforbrænding II

Eksperimentelle undersøgelser

Ole Hjelmar
Vandkvalitetsinstituttet, ATV

Miljøstyrelsen vil, når lejlighed 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.

Indholdsfortegnelse

Side

Forord	5
Resumé	7
English Summary	13
1. Baggrund og formål	17
2. Karakterisering af restprodukter	21
2.1 Prøvetagning	21
2.2 Kemisk sammensætning	22
2.3 Fysiske og geotekniske egenskaber	29
3. Generelt om stofudvaskning fra restprodukter	31
3.1 Udvasning fra granuleret og monolitisk materiale	31
3.2 Laboratorieudvaskningsforsøg	32
4. Udvasningsforsøg med ikke-stabiliserede restprodukter	36
4.1 Kolonne- og batchudvasningsforsøg	36
4.2 Udvasning af polyklorerede dioxiner og furaner	47
5. Behandling af restprodukter	48
5.1 Muligheder for modificering af restprodukter	48
5.2 Stabilisering af restprodukter i praksis	51
6. Stabiliseringsforsøg	54
6.1 Formål og omfang	54
6.2 Oversigt over anvendte stabiliseringsmidler	55
6.3 Fremgangsmåde	58
6.4 Resultater	61

7. Økotoksikologiske undersøgelser	70
8. Deponeringsmuligheder for restprodukter	73
8.1 Omfang og forudsætninger	73
8.2 Udvaskede stofmængder	77
8.3 Placering af deponier og håndtering af perkolat	80
9. Sammenfatning og konklusioner	82
10. Referencer	87
Bilagsdel	91
Bilag 1 Kemiske analysemetoder	93
Bilag 2 Analyser udført af Niro Atomizer A/S	103
Bilag 3 Kolonne- og batchudvaskningsforsøg	107
Bilag 4 XRD-analyser	131
Bilag 5 Data vedr. stabilisering/tankudvaskningsforsøg	135
Bilag 6 Supplerende stabiliseringsforsøg med kulflyveaske	173
Bilag 7 Sammenligning af faktorer, der påvirker stofudvaskningen ved tankforsøgene	181
Bilag 8 Perkolatproduktionens afhængighed af infiltration og deponeringsgeometri	191

Forord

I henhold til Miljøstyrelsens vejledning nr. 3/1986 om begrænsning af forurening fra affaldsforbrændingsanlæg, som senest er skærpet i Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 10 af 4. januar 1991 om affaldsforbrændingsanlæg, skal stort set alle danske affaldsforbrændingsanlæg senest den 1. juli 1992 gennemføre en rensning af røgen for sure gasser. Ved denne proces fremkommer restprodukter, som kan have et stort indhold af letudvaskelige salte og tungmetaller.

Denne rapport er anden og sidste del af et udrednings- og forskningsprojekt, der skal belyse de miljømæssige konsekvenser ved deponering af de ovennævnte restprodukter.

Projektet er finansieret af Miljøstyrelsen i samarbejde med Affaldsteknisk Samarbejde, Reno-Sam, Fläkt Danmark A/S, F.L.S. Miljø A/S, Niro Atomizer A/S og Vølund Ecology Systems A/S.

Projektledelsen og størstedelen af projektudførelsen har været varetaget af Vandkvalitetsinstituttet, ATV (VKI) med Ole Hjelmar, VKI, som projektleder.

Projektarbejdet er blevet fulgt af en styregruppe med følgende medlemmer:

Hans Hessel-Andersen	Miljøstyrelsen (formand)
Kim Nytofte-Bæk	Miljøstyrelsen
Kirsten Warnø	Miljøstyrelsen
Ebbe Jøns	Niro Atomizer A/S
Henrik Ørnebjerg	I/S Vestforbrænding
Uffe Juul Andersen	I/S Amagerforbrænding
Nete Jakobsen	Reno-Sam
Ole Hjelmar	Vandkvalitetsinstituttet, ATV

Det samlede projekts formål har været at fremskaffe den nødvendige viden for fastlæggelse af en deponeringsstrategi for restprodukterne fra affaldsforbrændingsanlæggenes rensning for sure røggasser.

Projektets udredningsdel, som i 1990 blev udgivet som Miljøprojekt nr. 146: Restprodukter fra røggasrensning ved affaldsforbrænding I, indeholder dels en gennemgang af den på dette tidspunkt eksisterende danske og internationale viden om restprodukter fra røggasrensning, dels en gennemgang af de foreliggende oplysninger om planer, muligheder og behov vedrørende procesvalg og bortskaffelse af restprodukter fra danske affaldsforbrændingsanlæg.

Projektets eksperimentelle del, hvis resultater hermed foreligger, har omfattet kemisk analysering og fysisk karakterisering af fem restprodukter fra tre forskellige metoder til rensning af røggassen fra affaldsforbrændingsanlæg: to fra den semitørre, to fra den tørre og ét fra den våde proces. Udvaskningen af uorganiske salte, tungmetaller/sporelementer og enkelte organiske stoffer fra de fem restprodukter er blevet undersøgt ved kolonne- og batchforsøg. Enkelte perkolatfraktioner fra forsøgene er udover kemiske analyser også blevet underkastet økotoksikologiske tests. Mulighederne for stabilisering af de tørre og semitørre restprodukter med cement og en række tilsætningsstoffer er blevet undersøgt, og udvaskningen af salte og tungmetaller, specielt bly, fra de stabiliserede produkter er blevet målt. Samtidig er der foretaget en opdatering af de udenlandske erfaringer på dette område. På grundlag af de opnåede resultater og en række opstillede deponeringsscenarier er der foretaget en diskussion og vurdering af deponeringsmulighederne for røggasrensningsprodukterne.

Miljøstyrelsen

Resumé

Indledning

Nye emissionskrav

Emissionskravene i Miljøstyrelsens vejledning nr. 3/1986 om begrænsning af forurening fra affaldsforbrændingsanlæg, som senest er skærpet i Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 10 af 4. januar 1991 om affaldsforbrændingsanlæg, medfører at stort set alle danske forbrændingsanlæg senest den 1. juli 1992 skal have etableret en rensning af røgen for sure gasser. Ved denne røggasrensning øges mængden af restprodukter fra affaldsforbrændingen, idet der vil blive produceret betydelige mængder fast affald og/eller spildevand, som, hvis de ikke kan nyttiggøres, skal bortskaffes ved deponering eller udledes efter rensning.

Denne rapport omhandler 2. del af et udrednings- og forskningsprojekt, som har haft til formål at undersøge de miljømæssige konsekvenser ved bortskaffelse af restprodukterne fra rensning af røggassen for sure luftarter på de danske affaldsforbrændingsanlæg. Projektet er finansieret af Miljøstyrelsen, Affaldsteknisk Samarbejde, Reno-Sam, Flåkt Danmark A/S, F.L.S. Miljø A/S, Niro Atomizer A/S og Vølund Ecology Systems A/S.

Miljøprojekt nr. 146

Rapporten over projektets første del, som omfattede en udredning af den aktuelle situation og en beskrivelse af den eksisterende viden på området i 1989/90, blev udgivet i 1990 som Miljøprojekt nr. 146: Restprodukter fra røggasrensning ved affaldsforbrænding I.

Den teknologiske udvikling indenfor røggasrensningsområdet går meget hurtigt, og nogle af de oplysninger, som indgik i ovennævnte udredning, må derfor allerede betragtes som forældede. Dette gælder blandt andet de angivne kalkforbrug til røggasrensningen, hvor der gennem driftsoptimering og procesændringer, især for den semitørre proces, er sket en reduktion i forhold til de tidligere anførte tal, således at de gældende emissionsgrænser i dag ofte kan overholdes under anvendelse af meget små mængder overskudskalk.

Eksperimentel del

Projektets eksperimentelle del, som er beskrevet i denne rapport, har omfattet laboratorieundersøgelser af sammensætning, udvaskningsegenskaber, stabiliserings- og deponeringsmuligheder for to restprodukter fra den tørre proces (I/S Nordforbrænding og I/S REFA), to fra den semitørre proces (I/S Amagerforbrænding og I/S KARA) og ét fra den våde proces (GRAAB i Göteborg, da ingen våde anlæg endnu var i drift i Danmark på prøvetagningstidspunktet). Det bør bemærkes, at restprodukterne er indsamlet i 1989 og stammer fra den første driftsperiode på forholdsvis nye anlæg. Selv om de derfor ikke nødvendigvis er helt repræsentative for dagens teknologi, er der dog ingen tvivl om, at de undersøgte restprodukters generelle egenskaber også er typiske for et bredt udsnit af de restprodukter, som produceres i dag.

De praktiske undersøgelser i projektet har alene omfattet problemstillingen omkring deponering af restprodukterne og ikke de eventuelle muligheder for nyttiggørelse.

Resultater og konklusioner

I det følgende er nogle af projektets resultater og hovedkonklusioner kort beskrevet. En mere teknisk sammenfatning og konklusion er givet i afsnit 9.

Usikkerheder

Der skal gøres opmærksom på, at de fremsatte vurderinger fortrinsvis bygger på resultater af forholdsvis kortvarige laboratorieforsøg, hvilket naturligvis medfører betydelige usikkerheder i forbindelse med en mængde- og tidsmæssig opskalering til virkelige forhold.

Når det tages i betragtning, at de 4 semitørre og tørre restprodukter alle stammer fra forskellige forbrændingsanlæg og forskellige typer røggasrensningssystemer, må de betegnes som forholdsvis ensartede i sammensætning. Dog havde de tørre produkter, specielt det ene, et klart større indhold af overskudskalk end de semitørre.

Tørre og semitørre restprodukter

De tørre og semitørre restprodukter består dels af flyveaske (30-60 %), dels af mere eller mindre opløselige salte (først og fremmest kalciumklorid, men også hydroxid, karbonat, sulfat, kalium og natrium). Produkterne indeholder desuden en række sporelementer/tungmetaller, blandt hvilke især zink, bly og kobber dominerer. På grund af det store saltindhold kan 21-35 % af restprodukternes tørstofindhold umiddelbart udvaskes på opløst form i gennemsvivende vand. Perkolatet fra udvaskning af disse produkter kan have et meget højt indhold af salt, specielt kalciumklorid. Koncentrationerne af især bly, men også zink, kadmium og kobber i perkolatet kan ligeledes være forholdsvis høje (i startperkolatet fra et enkelt produkt er der eksempelvis målt op til 11 g bly/l).

Vådprodukt

Vådproduktet, som består af flyveaske (ca. 90 %) og slam fra spildevandsrensningen på et ét-trinsanlæg, har et indhold af opløselige salte, som er noget mindre end indholdet i de tørre/semitørre produkter (11 % af tørstofindholdet kan umiddelbart udvaskes), mens indholdet af sporelementer/tungmetaller er lidt større. Vådproduktet indeholder stort set ikke frit kalk. Ligesom perkolatet fra de øvrige produkter indeholder perkolatet fra udvaskning af vådproduktet salte (dog i noget mindre koncentrationer), men bl.a. på grund af produktets indhold af den organiske sulfidforbindelse TMT-15 udvaskes der kun meget små mængder tungmetaller/sporelementer (den højeste målte koncentration af bly i perkolatet fra vådproduktet er eksempelvis over 1000 gange lavere end den mindste koncentration i startperkolatet fra de tørre/semitørre produkter). Udvasnkningen af molybdæn og sulfat er noget større fra det våde produkt end fra de tørre/semitørre.

Forsøg med stabilisering af de tørre og semitørre restprodukter med 20-40 % cement og forskellige tilsætningsstoffer, herunder kulflyve-

Cementstabilisering tvivlsom

aske, forbrændingsslagger, fosforsyre og natriummetasilikat (vandglas), viste, at ingen af de afprøvede stabiliseringsmetoder var i stand til at reducere udvaskningen af klorider. Dette er i overensstemmelse med erfaringerne fra tilsvarende undersøgelser i andre lande. Derimod kunne der ved stabilisering med 20 % cement og 5 % natriumsilikat eller fosforsyre opnås en betydelig reduktion af udvaskningshastigheden af bly, cadmium, kobber og zink. Undersøgelsen har ikke klarlagt, om cementstabiliseringen vil være effektiv på længere sigt, men nyere forsøg udført i andre lande tyder på, at langtidsstabiliteten er et alvorligt problem. Det må derfor anses for yderst tvivlsomt, om direkte cementstabilisering af tørre/semitørre røggasrensingsprodukter er en holdbar løsning.

Vask

Bedre resultater kan forventes opnået, hvis de tørre/semitørre restprodukter vaskes forud for en eventuel cementstabilisering. Projektresultaterne viser, at denne fremgangsmåde effektivt kan reducere kloridudvaskningen fra det stabiliserede materiale. Det vaskede og afvandede restprodukt vil muligvis kunne deponeres uden stabilisering eller efter tilsætning af en meget ringe mængde cement eller kalk. Ved at blande det afvandede produkt med slam fra rensning af vaskevandet for tungmetaller vil man formentlig kunne få et produkt, hvis deponeringsmæssige egenskaber ligner vådproduktets. Mulighederne for at kombinere vask af tørre/semitørre produkter med en genvinding og nyttiggørelse af den udvaskede calciumklorid undersøges p.t. i et andet projekt.

Svensk stabilisering

På grund af usikkerheden omkring mulighederne for en tilstrækkeligt effektiv stabilisering af de tørre/semitørre røggasrensingsprodukter er det vanskeligt at få et præcist overblik over omkostningerne ved deponering af disse. Som et fingerpeg kan det dog nævnes, at man på et større svensk affaldsforbrændingsanlæg deponerer restprodukt fra tørprocessen stabiliseret med 40 % af et uorganisk bindemiddel til en pris af ca. 1000 svenske kroner pr. ton restprodukt. Det kan nævnes, at Miljøstyrelsen på grundlag af en række miljøtekniske deponeringsscenarier, som er opstillet i denne rapport, har fået udført økonomiske overslagsberegninger til sammenligning af omkostningerne ved nogle forskellige deponeringsalternativer for alle tre restprodukttyper.

Der er udviklet processer til termisk stabilisering af forskellige typer restprodukter, herunder bl.a. flyveaske fra affaldsforbrænding. Der er både tale om sintringsprocesser ved temperaturer på 300 - 500 °C og egentlige smeltungs- eller forglasningsprocesser ved temperaturer på ca. 1300 °C eller derover. På grundlag af de tilgængelige oplysninger må det dog vurderes, at en eventuel anvendelse af disse processer i kommerciel skala til behandling af restprodukter fra den tørre/semitørre røggasrensingsproces formentlig ligger nogle år ude i fremtiden. Termisk behandling er forholdsvis kostbar, og der er tekniske problemer med spaltning af CaCl_2 .

Hvis der ved deponering af tørre/semitørre eller våde røggasrensingsprodukter dannes perkolat, kan dette i starten skulle fortyndes 1000 til 50000 gange for ikke at virke toksisk overfor marine organismer (kiselalger og krebsdyr). Effekten af perkolatet fra det våde produkt synes lidt mindre end effekten af perkolatet fra de tørre/semitørre produkter. Ved en eventuel tilledning af perkolatet til et biologisk renseanlæg kan fortyndinger på op til 500 gange være nødvendige for ikke at hæmme slammets respiration (primært en salteffekt).

Det skønnes, at vådproduktet bestående af flyveaske og slam fra spildevandsrensningen kan deponeres uden yderligere stabilisering. Det skal dog nævnes, at heller ikke langtidsstabiliteten af de organiske sulfider (f.eks. TMT-15), som formodes at være årsag til den lille udvaskning af tungmetaller fra vådproduktet, er belyst.

Såfremt der ikke sker en effektiv behandling (f.eks. vask samt evt. stabilisering) af de deponerede tørre/semitørre restprodukter, må det forudses, at det dannede perkolat skal opsamles og behandles gennem mange år. For vådprodukter og effektivt behandlede tørre/semitørre produkter vil en deponering baseret på kontrolleret udvaskning uden opsamling af perkolat måske være en mulighed. En tør deponering (indkapsling) af tørre/semitørre restprodukter kan på kort sigt hindre stofudvaskning, men bør i givet fald kun anvendes som en midlertidig, tidsbegrænset foranstaltning, indtil en mere langsigtet og holdbar løsning på bortskaffelsesproblemet er fundet.

Til trods for den betydelige spredning, som er fundet i restprodukternes udvaskningsegenskaber, og de tidligere nævnte usikkerheder ved en generalisering og opskalering af de eksperimentelle resultater, kan det forholdsvis éntydigt konkluderes, at den potentielle stofudvaskning fra røggasrensingsprodukterne under alle omstændigheder er så betydelig, at der må tages specielt hensyn hertil i forbindelse med forbehandling og bortskaffelse af disse.

Styregruppens anbefalinger

På baggrund af projektets resultater anbefaler projektstyregruppen, at fremtidige deponeringspladser for restprodukter fra såvel den våde som de tørre og semitørre processer placeres kystnært, således at risikoen for en forurening af grundvandet med udvaskede salte og sporelementer minimeres.

Projektstyregruppen finder det formålstjenligt at samle en eventuel deponering af de ca. 100.000 tons røggasrensingsprodukter, som forventes produceret årligt i Danmark, på i alt 2 - 3 større deponeringspladser. Disse placeres på begge sider af Storebælt.

Status for valg af røggasrensingsanlæg

I efteråret 1991 vides følgende danske affaldsforbrændingsanlæg at have installeret røggasrensingsanlæg eller have valgt anlægstype:

*Specielle hensyn
til perkolat*

*Kystnær
deponering*

Få deponier

Forbrændingsanlæg

Nordforbrænding, Hørsholm
REFA, Nykøbing F.
VEGA, Tåstrup
Middelfart
BOFA, Bornholm
Horsens
Amagerforbrænding
KARA, Roskilde
KAVO, Slagelse
Reno-Nord, Ålborg
Vestforbrænding
Thyra, Thisted
Holstebro/Struer
Kolding
Reno-Syd, Skanderborg
Fasan, Næstved
Fællesforbrænding, Hobro
Alssund Affald, Sønderborg

Røggasrensningsmetode

Tør
Tør
Tør
Tør
Tør
Tør
Semitør
Semitør
Semitør
Semitør
Våd
Våd
Våd
Våd
Våd
Våd
Våd
Våd

English Summary

By July 1 1992, the air pollution control (APC) systems at all Danish municipal solid waste incinerators (MSWIs) must include acid gas cleaning equipment. Several Danish MSWIs already have such systems in operation. The improved air emission control will increase the amount of solid residues and/or wastewater resulting from the waste combustion process. Since the potential for utilization of these waste streams at present is uncertain, they must be deposited (solids) or discharged after treatment (wastewater).

The objective of this study has been to investigate a number of solid acid flue gas cleaning residues from MSWIs in order to provide the information necessary to develop environmentally sustainable disposal strategies for these residues.

The study has included chemical and physical characterization of five residues from three different acid gas cleaning processes at mass burn MSWIs: two products from the dry lime injection process, two products from the semidry process, and one product from the wet condensing process (one-step process). The leaching of inorganic salts, trace elements and a few organics from the five residues have been investigated in the laboratory by column and batch leaching techniques. Selected fractions of the leachate collected in the leaching experiments have been subjected to ecotoxicological testing. The feasibility of stabilizing the dry and semidry gas cleaning residues with cement and a number of other additives has been investigated, and the leaching of salts and heavy metals, particularly lead, from the stabilized products has been measured. Experiences with stabilization of acid gas cleaning residues in other countries have been surveyed. Based on the experimental results and a number of calculated specified disposal scenarios, the options for disposal of acid gas cleaning residues from MSWIs have been discussed and evaluated.

It should be noted that the evaluations presented are based primarily on the results of accelerated or short-term laboratory experiments which naturally induces significant elements of uncertainty when applied to full scale, real time (short and long term) situations.

The four semidry and dry gas cleaning residues were rather similar in chemical composition, considering the fact that they all were collected at different MSWIs equipped with different APC systems. The dry products, however, had a larger content of unreacted lime than the semidry products had.

The dry and semidry residues consisted of fly ash (30 - 60 %) and more or less soluble salts (particularly calcium chloride, but also hydroxide, carbonate, sulfate, potassium, and sodium). The residues

also contained a number of trace elements/heavy metals among which particularly zinc, lead and copper were dominating. Due to the large content of salts, 21 - 35 % of the total solids content may be leached and dissolved in water percolating through the residues. The leachates produced by these residues may consequently have very high contents of salts, particularly calcium chloride. The concentrations of particularly lead, but also zinc, cadmium and copper, in the leachate may likewise be relatively high (lead concentrations as high as 11 g/l was measured in the initial leachate from one of the residues).

The residue from the wet condensing process which consisted of fly ash (approx. 90 %) and sludge from treatment of the wastewater from a one-step condensing process had a content of soluble salts which was smaller than that of the semidry and dry products (11 % of the total solids content was directly soluble) while the content of trace elements/heavy metals were somewhat higher than in the semidry and dry products. The residue from the wet condensing process contained practically no unreacted lime (only a little amount of alkaline material that was present in the fly ash). The leachate from this residue contained significant amounts of salts, but in lower concentrations than in the leachates from the semidry and dry products. Due to the presence of an organic sulfide (TMT-15), only very small amounts of trace elements/heavy metals were leached from the wet product (the highest concentration of lead measured in leachate from the wet product was e.g. 1000 times lower than the lowest concentration measured in the initial leachates from the dry and semidry residues). The leaching of molybdenum and sulfate were higher from the wet product than from the dry and semidry products.

All of the residues investigated contained small amounts of polychlorinated dibenzo-p-dioxines and polychlorinated dibenzofuranes. However, none of these compounds could be leached with water.

A number of stabilization experiments were carried out in which the dry and semidry residues were stabilized with 20 - 40 % of sulfate resistant, low alkali cement and various additives, including coal fly ash, MSWI bottom ash, phosphoric acid and sodium metasilicate. None of the tested additives were able to reduce the leaching of chloride from the stabilized test bodies. This is in agreement with the results of other studies. A significant reduction of the rate of leaching of lead, cadmium, copper and zinc was achieved by stabilizing the residues with 20 % cement and 5 % of sodium metasilicate or phosphoric acid (the phosphoric acid stabilized material had very limited durability). It has not been possible to determine whether the cement stabilization will be effective in the long term (e.g. if the stabilized residues are durable) but the results of other studies indicate that long term durability constitutes a serious problem. Disposal after direct cement stabilization of dry and semidry MSWI gas cleaning residues is therefore not likely to be the proper solution to the residue management problem.

Better results may be expected if the dry/semidry residues are washed prior to a possible cement stabilization. Some of the experimental results have shown that this is a very effective way of virtually eliminating the leaching of chloride from the stabilized material. The washed and dewatered residue may possibly be deposited without being stabilized or after stabilization with only a small amount of cement or lime. Mixing the dewatered residue with the sludge from the treatment of the washwater for heavy metals will probably produce a product which resembles the residue from the wet condensing gas cleaning process. The possible combination of a washing step with a process including recovery and utilization of the dissolved calcium chloride is presently being investigated in another study.

At one MSWI in Sweden, the dry gas cleaning residue is currently deposited after being stabilized with 40 % of an inorganic binder. The total cost of stabilization and disposal was approximately SEK 1000 per ton residue in 1991.

Thermal stabilization processes have been developed for different types of waste products, including e.g. MSWI fly ash. The methods include both sintering processes (300 - 500 °C) and melting or vitrification processes (approx. 1300 °C or higher). It appears that these processes cannot yet be applied successfully to dry and semidry MSWI gas cleaning residues. Thermal treatment is relatively costly and the decomposition of calcium chloride causes problems.

The initial leachate produced by dry, semidry or wet MSWI acid gas cleaning residues which have been deposited may have to be diluted 1000 to 50000 times in order not to have measureable toxic effects on marine organisms. The leachate from the wet product appears to be slightly less toxic than the leachate from the dry and semidry products. The high salt content may inhibit sludge respiration if large amounts of gas cleaning residue leachate is treated at a biological wastewater treatment plant without prior dilution.

It is likely that the residues from the wet process may be deposited without any further stabilization. It must be noted, however, that it is not known whether the organic sulfides (e.g. TMT-15) which are at least partly responsible for the negligible leaching of heavy metals will remain stable over a longer period of time.

If the dry and semidry residues are not treated effectively prior to disposal (e.g. by washing and, possibly, stabilization) it will most likely be necessary to collect and treat the produced leachate during a very long period of time. For residues from the wet process and effectively treated dry/semidry residues, disposal based on controlled leaching without collection of leachate may be a possibility. Dry disposal (encapsulation) of dry/semidry products may prevent leaching in the short term but should only be used as a means of

temporary storage while a more sustainable long term solution to the waste management problem is sought.

Despite the considerable variations found in the leaching properties of the investigated gas cleaning residues and despite the uncertainties introduced by the upscaling of the experimental results, it may safely be concluded that the potential leachability of gas cleaning residues is quite significant and must be carefully considered when these residues are managed.

It is recommended that future disposal sites for MSWI gas cleaning residues be placed near the coast in order to minimize the risk of polluting the groundwater with leached salts and trace elements.

It is also recommended to concentrate the disposal of Danish MSWI acid gas cleaning residues (approximately 100,000 tonnes per year) at 2 - 3 larger sites.

1. Baggrund og formål

Affaldsforbrænding indgår som et meget væsentligt led i den danske affaldsbehandling, idet der p.t. årligt forbrændes ca. 1,8 millioner tons affald i Danmark, svarende til ca. 35% af den totale affaldsmængde. Primo 1991 var 37 kommunale eller fælleskommunale affaldsforbrændingsanlæg i drift i Danmark.

Ved forbrændingen af affaldet opnås typisk en vægtreduktion på ca. 70% og en volumenreduktion på ca. 90%. En meget stor del af den udvundne forbrændingsvarme udnyttes i dag, fortrinsvis til fjernvarme.

Forbrændingsrester

Forbrændingsresterne fra kedlen består af slagger og støvholdige røggasser. Slaggen, som kan være iblandet grovere askestøv udskilt i kedel eller economizer, køles med vand, hvorefter den deponeres eller forbehandles med henblik på nyttiggørelse. I Danmark er røggasserne fra næsten alle forbrændingsanlæg indtil 1989 blevet udledt gennem skorsten efter blot at have passeret et støvfilter (hyppigst et elektrofilter), hvor størstedelen af støvpartiklerne (flyveaske) udskilles. Den udskilte flyveaske deponeres, ofte sammen med slaggen.

Rensning for sure gasser

Røggassens indhold af bl.a. sure, forurenende luftarter er altså hidtil blevet udledt direkte til atmosfæren. Luftforureningen fra affaldsforbrændingsanlæg har dog gennem de senere år været genstand for en stadig større opmærksomhed både i Danmark og i andre lande, og indsatsen for at reducere forureningen er derfor blevet øget betydeligt. Emissionskravene i Miljøstyrelsens vejledning nr. 3/1986, som senest er skærpet i Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 10 af 4. januar 1991 om affaldsforbrændingsanlæg, medfører således, at der udover den hidtidige udskillelse af flyveaske nu også skal gennemføres en rensning af røggassen for sure komponenter. For nye forbrændingsanlæg gælder kravene straks fra ibrugtagning, mens stort set alle andre anlæg skal have indført videregående røggasrensning senest den 1. juli 1992.

Nye problemer

Ved røggasrensningen løses luftforureningsproblemet til dels, men der opstår til gengæld et affalds- eller spildevandsproblem, idet der vil blive produceret betydelige mængder fast affald og/eller stærkt forurenede spildevand, som skal bortskaffes ved deponering eller udledes efter rensning.

Det må forudses, at en miljømæssigt forsvarlig deponering af de faste restprodukter fra såvel den tørre som den semitørre røggasrensningsproces kan kræve mere vidtgående forholdsregler, end der i dag er normalt ved deponering af slagger og blandinger af slagger og flyveaske for affaldsforbrændingsanlæg. De tørre og semitørre restprodukter er næsten altid blandet med flyveaske og indeholder

herudover bl.a. betydelige mængder opløselige salte (specielt kalciumklorid) og ureageret kalk. Indholdet af opløseligt klorid er i øvrigt også betydeligt i ren flyveaske.

For de våde processers vedkommende udledes hovedparten af de opløselige salte med en spildevandsstrøm, efter at denne har været underkastet en rensning for tungmetaller. Slammet fra spildevandsrensningen, som specielt har et højt indhold af kviksølv, skal deponeres. Også den forudskilte flyveaske skal deponeres.

Behov for retningslinier

På flere danske affaldsforbrændingsanlæg er man allerede begyndt at rense røggassen, og på andre er man i gang med overvejelserne omkring valg af røggasrensningsproces. Der eksisterer således allerede et akut behov for retningslinier for, hvorledes restprodukterne fra de forskellige processer mest hensigtsmæssigt bortskaffes/deponeres, og for en beskrivelse af de miljømæssige konsekvenser af de forskellige bortskaffelsesmetoder. I Danmark findes der endnu hverken sådanne retningslinier eller dokumenterede erfaringer med deponering af restprodukter fra røggasrensning på affaldsforbrændingsanlæg.

Udrednings- og forskningsprojekt

Miljøstyrelsen har derfor sammen med Affaldsteknisk Samarbejde, Reno-Sam, Fläkt Danmark A/S, Vølund Miljøteknik A/S og F.L.S. Miljø A/S iværksat et udrednings- og forskningsprojekt med henblik på at skabe et overblik over de aktuelle planer for røggasrensning ved de danske forbrændingsanlæg og at beskrive de hertil svarende muligheder for bortskaffelse af restprodukter. Projektet skal desuden tilvejebringe viden om de aktuelle og potentielle restprodukters tekniske og miljømæssige egenskaber. Dette skal indgå i grundlaget for en planlægning af, hvorledes de næste 3-5 års danske produktion af restprodukter skal bortskaffes. Der tages således udgangspunkt i den aktuelle situation, men projektets resultater forventes sideløbende og efterfølgende at kunne indgå i en mere langsigtet planlægning af affaldsforbrænding, røggasrensning og bortskaffelse af restprodukter.

Deponering

Som det fremgår, er projektet primært rettet mod bortskaffelse af restprodukterne ved forskellige former for deponering, og en egentlig undersøgelse af mulighederne for nyttiggørelse af produkterne som et alternativ til deponering har ligget udenfor dette projekts rammer.

Nærværende projekt har været opdelt i to faser, hvor første fase var udarbejdelse af en udredning baseret på eksisterende viden, mens anden fase har omfattet eksperimentelt arbejde.

Udredningen, som forelå i 1990, er udgivet af Miljøstyrelsen som Miljøprojekt nr. 146, /1/.

Eksperimentelt arbejde

I nærværende rapport er der redegjort for det eksperimentelle arbejde, som har omfattet indsamling og undersøgelse af restprodukter fra to semitørre, to tørre og én våd proces. Restprodukterne er karakteriseret kemisk og fysisk, og de er blevet underkastet stofudvaskningsforsøg både på ustabiliseret form og efter at deres ud-

vaskningsegenskaber er søgt forbedret gennem stabilisering med cement og diverse additiver. Udvalgte perkolatfraktioner er blevet underkastet økotoxikologiske undersøgelser. På grundlag af de gennemførte undersøgelser er der opstillet et antal deponeringsscenerier til illustration af de muligheder, som der p.t. skønnes at foreligge for bortskaffelse af restprodukterne.

Projektudførelse

Projektet er udført af Vandkvalitetsinstituttet, ATV (VKI). Herudover har følgende virksomheder og institutioner leveret ydelser til projektet: F.L. Smidth & Co. A/S (røntgenfluorescensanalyser på restprodukterne), Levnedsmiddelkontrollen i Helsingør (enkelte sporelementanalyser på perkolat), Geoteknisk Institut (Standard Proctorforsøg på restprodukterne), Institutet for Mineralindustri, DTH (røntgendiffraktionsanalyser på ustabiliserede og stabiliserede restprodukter), Beton- og Konstruktionsteknisk Institut, ATV (trykstyrkeforsøg på stabiliserede restprodukter), Miljökonsulterna i Lund (anlysning af restprodukter og perkolat for dioxiner og furaner) og Niro Atomizer A/S (bestemmelse af kornkurver samt udførelse af diverse faststofanalyser).

En stor del af det eksperimentelle arbejde er udført af civ.ing. Hanne Thomassen og miljøtekniker Gitte Ploug Lorenzen. Renskrift og layout er udført af Winnie W. Thrane.

2. Karakterisering af restprodukter

2.1 Prøvetagning

5 restprodukter

Under hensyntagen til den aktuelle og sandsynlige fremtidige situation vedrørende valg af røggasrensningsprocesser på de danske affaldsforbrændingsanlæg er det valgt at lade denne undersøgelse omfatte i alt 5 restprodukter fra både den semitørre (SP), den tørre (TP) og den våde proces (VP). På prøvetagningstidspunktet, sommer/efterår 1989, blev der på enkelte danske forbrændingsanlæg produceret semitørre og tørre røggasrensningsprodukter. Mindst to forbrændingsanlæg havde valgt våde processer, men ingen af disse anlæg var opført på dette tidspunkt. Det blev derfor besluttet at undersøge prøver af semitørt røggasrensningsprodukt fra I/S Amagerforbrænding i København (spray absorption) og I/S Kara i Roskilde (gas suspended absorption), og prøver af tørt restprodukt fra I/S Nordforbrænding i Hørsholm og I/S Refa i Nykøbing F. Det besluttedes endvidere at undersøge ét restprodukt fra den våde proces (flyveaske iblandet slam fra rensning af processpildevandet) fra det svenske GRAAB anlæg i Göteborg. Se oversigten i tabel 2.1.

Tabel 2.1

Oversigt over de forbrændingsanlæg og røggasrensningsprocesser, hvorfra de 5 undersøgte restproduktprøver er udtaget.

Prøve	Proces	Leverandør	Forbrændingsanlæg
AF	SP + PF	Vølund/Niro/Fläkt	I/S Amagerforbrænding
KARA	SP + EF	F.L.S. Miljø	I/S KARA, Roskilde
NORD	TP + PF	Vølund/Fläkt	I/S Nordforbrænding
REFA	TP + EF	Vølund/NKK Limar	I/S REFA, Nykøbing F.
GRAAB	EF + VP	Götaverken Miljö	GRAAB, Göteborg

SP:	Semitør proces	EF:	Elektrofilter
TP:	Tør proces	PF:	Posefilter
VP:	Våd proces (her 1 trins)		

Prøverne fra de danske affaldsforbrændingsanlæg, som hver udgjorde 100 - 200 kg, er udtaget af anlæggenes eget driftspersonale som en række tidsproportionale/mængdeproportionale delprøver over samlede perioder på 1 - 4 uger. Prøverne er under opsamlingen blevet opbevaret i sække eller lukkede tønder, som efter endt prøvetagning er blevet sendt til VKI.

Prøven af det våde restprodukt (ca. 200 kg) er udtaget som én samlet prøve af den blanding af flyveaske og sedimenteret slam fra rensningen af spildevandet, som GRAAB sender til deponering. Da vandindholdet i slammet kan variere betydeligt og ikke bestemmes rutinemæssigt, kendes det nøjagtige forhold mellem slam og flyveaske i blandingen ikke.

Efter modtagelsen på VKI blev de samlede prøver fra hvert forbrændingsanlæg anbragt i hver sin store tromle med tætsluttende låg. Hver tromle blev anbragt nogle timer i et blandeapparat, hvor den samtidig blev vippet og roteret, for at sikre den bedst mulige homogenisering af samleprøverne. Prøverne er herefter blevet opbevaret i de tæt tillukkede tromler, hvorfra delprøver til de enkelte undersøgelser er udtaget. Prøvetagningsperioderne er vist i tabel 2.2.

Tabel 2.2
Prøvetagningstidspunkter for de undersøgte restproduktprøver.

Prøve	Proces	Prøvetagningsperiode
AF	Semitør	3/7 - 18/7 1989
KARA	Semitør	20/11 - 26/11 1989
NORD	Tør	14/8 - 30/8 og 28/9 - 11/10 1989
REFA	Tør	17/11 - 6/12 1989
GRAAB	Våd, 1 trin	Oktober 1989

2.2 Kemisk sammensætning

Restprodukterne er blevet analyseret for en række uorganiske hoved- og sporelementer. Herudover er foretaget bestemmelse af pH (i en 1% (w/w) opslemning i demineraliseret vand), alkalinitet, glødetab ved 550 °C og indhold af organisk kulstof (TOC).

Analysemetoder

De anvendte analysemetoder er beskrevet i Bilag 1. Analyseresultaterne er vist i tabel 2.3, som til sammenligning også indeholder analyseresultater for en flyveaske udtaget på Amagerforbrænding i 1985 (d.v.s. før der blev etableret rensning for sure røggasser). De fleste af stofferne, som i tabel 2.3 er vist på elementform, findes i restprodukterne som oxider eller klorider. I tabel 2.4 ses restprodukternes indhold af sulfit (SO_3^{2-}), sulfat (SO_4^{2-}), karbonat (CO_3^{2-}), og fri kalk. Vandindholdet i de 4 semitørre og tørre restprodukter var ved modtagelsen mindre end 1% (w/w), mens vandindholdet i det

Resultater

våde produkt var ca. 50% (w/w). Alle analyseresultater er angivet på tørstofbasis (TS).

På figur 2.1 er indholdet af nogle af de dominerende hovedelementer (Ca, Cl, Si, Al, K og S) sammenlignet grafisk for de 5 røggasrensningsprodukter og flyveasken. På figur 2.2 ses en tilsvarende sammenligning for de tre tungmetaller, som forekommer i de største mængder i restprodukterne: Zn, Pb og Cu; og på figur 2.3 er restprodukternes indhold af sporelementerne Cd, Cr, As og Hg sammenlignet. Disse tungmetaller/sporelementer har alle økotoxikologiske og humantoksikologiske egenskaber, som medfører, at deres spredning i miljøet er uønsket. Dette gælder især Hg, Cd og Pb. Cu kan være specielt skadelig for marine organismer.

Tabel 2.3

Resultater af kemisk analysering af røggasrensningsprodukter og flyveaske. En stor del af elementerne forefindes som oxider, nogle også som klorider.

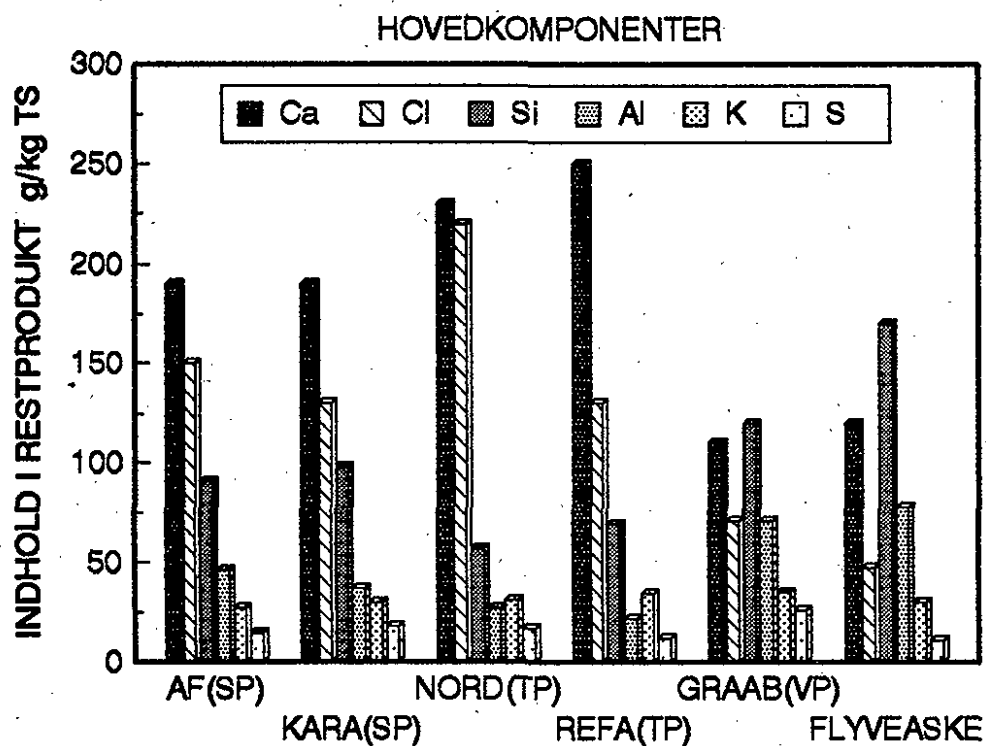
Parameter	Enhed	Semitør AF	Semitør KARA	Tør NORD	Tør REFA	Våd GRAAB	Flyveaske AF (1985)
Si	g/kg TS	91	98	57	69	120	170
Al	g/kg TS	46	37	27	22	71	78
Fe	g/kg TS	10	18	6.1	13	15	18
Ca	g/kg TS	190	190	230	250	110	120
Mg	g/kg TS	12	11	9.6	7.1	23	19
Ti	g/kg TS	5.1	4.6	3.2	2.5	8.4	9.5
P	g/kg TS	4.6	4.4	2.4	3.8	6.0	8.3
K	g/kg TS	27	30	31	34	35	30
Na	g/kg TS	19	15	15	12	28	23
S	g/kg TS	15	18	17	12	26	11
Cl-	g/kg TS	150	130	220	130	71	47
Ag	mg/kg TS	60	14	32	24	53	
As	mg/kg TS	65	260	190	130	190	49
Ba	mg/kg TS	1400	1100	760	950	1900	1600
Cd	mg/kg TS	170	180	200	140	270	250
Co	mg/kg TS	15	15	8.2	10	22	61
Cr	mg/kg TS	190	240	150	170	390	180
Cu	mg/kg TS	650	1100	640	870	1300	890
Hg	mg/kg TS	14	11	19	9.3	38	1.4
Mn	mg/kg TS	490	630	280	420	1400	1000
Mo	mg/kg TS	14	16	9.3	10	20	26
Ni	mg/kg TS	44	63	23	60	67	120
Pb	mg/kg TS	5700	6500	5200	4200	8300	7400
Se	mg/kg TS	8.7	16	12	8.2	12	6.1
Sn	mg/kg TS	780	620	770	680	1000	
Sr	mg/kg TS	400	400	400	500	200	250
V	mg/kg TS	35	62	26	50	62	52
Zn	mg/kg TS	18000	15000	16000	14000	23000	25000
pH (1% opsl.)	-	12.1	12.2	12.3	12.4	10.5	10.4
Alkal. *)	ækv/kg TS	5.6	7.6	8.7	11.8	4.5	2.5
Glødetab	g/kg TS	28	33	49	32	110	
TOC	g/kg TS	7	6	7	9	7	17

*) Bestemt ved tilsætning af HCl til en vandig opslæmning og tilbagetitrering til pH = 7.0 med NaOH.

Tabel 2.4

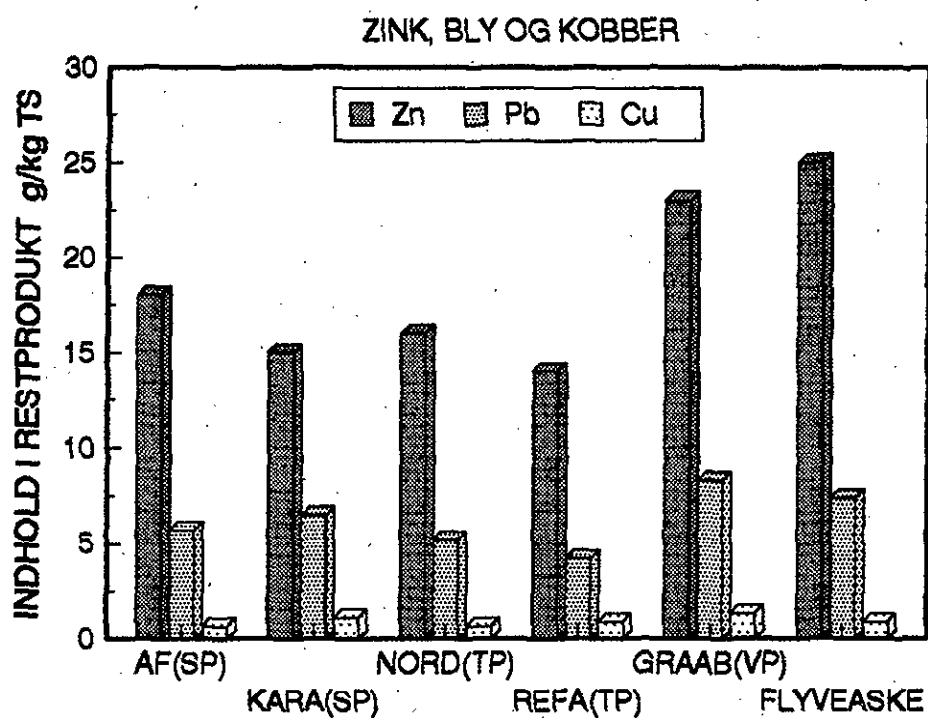
Røggasrensningsprodukternes indhold af sulfit, sulfat, karbonat, klorid og tilgængeligt ikke-reageret kalk (som $\text{Ca}(\text{OH})_2$). Kloridanalyserne er taget fra tabel 2.3, mens analyseringen af de øvrige parametre er foretaget af Niro Atomizer A/S (se bilag 2).

Prøve	SO_3^{2-} % (w/w)	SO_4^{2-} % (w/w)	CO_3^{2-} % (w/w)	Cl^- % (w/w)	$\text{Ca}(\text{OH})_2$ % (w/w)
AF	3.5	5.9	3.3	15	8.9
KARA	1.5	6.6	3.0	13	13
NORD	1.3	8.0	1.6	22	19
REFA	2.0	4.6	2.7	13	33
GRAAB	0.9	11	1.9	7.1	0.9



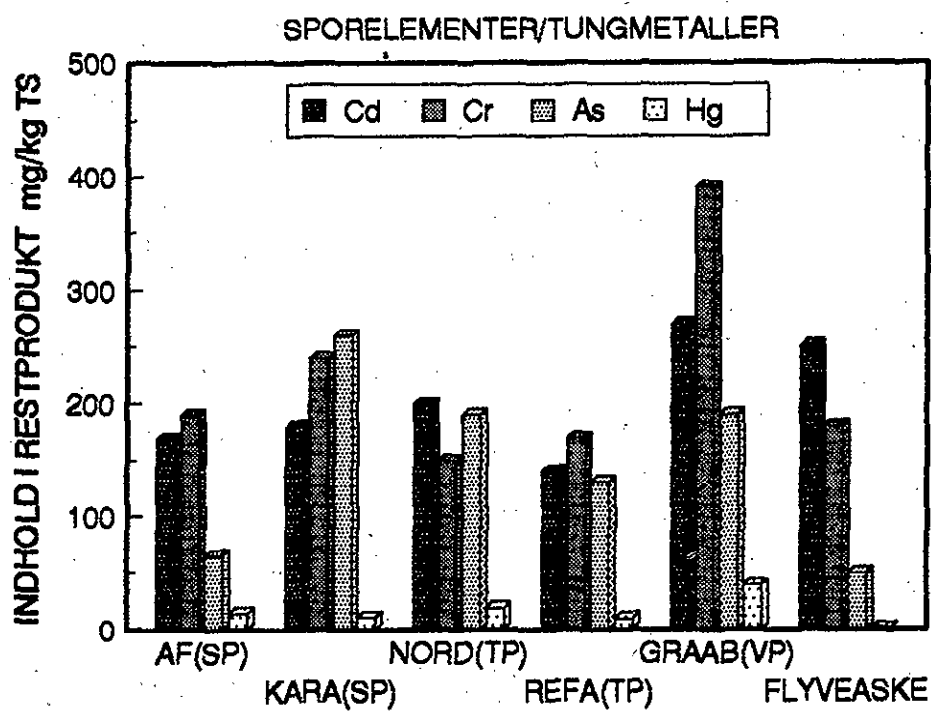
Figur 2.1

Sammenligning af indholdet af hovedkomponenter i de undersøgte røggasrensningsprodukter og flyveasken fra Amagerforbrænding.



Figur 2.2

Sammenligning af indholdet af zink, kobber og bly i de undersøgte røggasrensningsprodukter og flyveasken fra Amagerforbrænding.



Figur 2.3

Sammenligning af indholdet af sporelementer/tungmetaller i de undersøgte røggasrensningsprodukter og flyveasken fra Amagerforbrænding.

Ensartede

Når det tages i betragtning, at de 4 semitørre og tørre restprodukter alle stammer fra forskellige forbrændingsanlæg, som brænder affald, der ikke kan forventes at være ens sammensat, og som er udstyret med forskellige typer røggasrensningsudstyr, må de betegnes som meget ensartede i sammensætning.

Ca og Cl

En væsentlig del af restprodukternes indhold af Ca og Cl stammer fra rensningen af de sure røggasser, mens indholdet af f.eks. Si, Al og Ti primært skyldes flyveaskeindholdet i restprodukterne. Af figur 2.1 fremgår det derfor som forventet, at det relative indhold af flyveaske er størst i det våde produkt, og at indholdet af flyveaske er større i de semitørre produkter (AF og KARA) end i de tørre (NORD og REFA). Den forholdsvis store forskel mellem indholdet af henholdsvis Ca og Cl (også på molækvivalentbasis) i restproduktet fra REFA antyder, at mængden af ikke-reageret kalk er særlig stor i dette tørprodukt. Dette understøttes af produktets forholdsvis høje alkalinitet og store indhold af frit kalk (tabel 2.3 og 2.4). Af tabel 2.4 fremgår det i øvrigt, at indholdet af ikke-reageret kalk, som det kunne forventes (se f.eks. /1/), er størst i de tørre produkter, noget mindre i de semitørre og meget lille i det våde produkt. Indholdet af overskydende kalk er afgørende for restprodukternes egenskaber med hensyn til pH og alkalinitet/bufferkapacitet. På grund af bl.a. blys store opløselighed ved højt pH, /1/, må et højt kalkindhold miljøteknisk (ligesom driftsøkonomisk) alt andet lige anses for at være en ulempe.

Kalkoverskud

Da flyveasken i sig selv kun i begrænset omfang er vandopløselig, kan den relative mængde af flyveaske i forhold til reaktionsprodukterne, som for de tørre og semitørre produkters vedkommende er mere letopløselige, have betydning for restprodukternes deponerings- og genanvendelsesegenskaber. "Flyveaske" kan i den forbindelse defineres på to måder, nemlig: 1) Det partikulære materiale, som udskilles i elektro- eller posefiltre på anlæg uden rensning for sure røggasser, eller som forudskilles før denne rensning, især ved vådanlæg. Denne flyveaske vil selv have et vist indhold af opløselige forbindelser, især uorganiske salte. 2) Den noget mindre, næsten vandupløselige del af de flyveaskeholdige restprodukter, som primært består af SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , K_2O og Na_2O .

Flyveaskeindhold

Hvis det antages, at restprodukternes indhold af Si, Al og Ti fortrinsvis findes i flyveasken (idet der ses bort fra deres forekomst som urenheder i kalken) og at indholdet af Si, Al og Ti i flyveasken i de forskellige restprodukter svarer til indholdet i den analyserede flyveaske fra Amagerforbrænding fra 1985, kan der foretages et skøn over indholdene af udskillelig flyveaske (FA, definition 1) i de 5 restprodukter. Resultatet af dette skøn er vist nedenfor sammen med resultatet af en alternativ overslagsberegning af restprodukternes indhold af uopløselig flyveaske (FA, definition 2), foretaget af Niro Atomizer (se bilag 2):

<u>Restprodukt</u>	<u>Indhold af udskillelig FA</u>	<u>Indhold af uopløselig FA</u>
AF	53 - 59 % (w/w)	37 % (w/w)
KARA	47 - 58 % (w/w)	38 % (w/w)
NORD	34 - 35 % (w/w)	25 % (w/w)
REFA	26 - 40 % (w/w)	28 % (w/w)
GRAAB	71 - 91 % (w/w)	53 % (w/w)

De skønnede intervaller for indhold af udskillelig flyveaske svarer udmærket til de forventede reaktionsstøkiometriske forhold for de tre procestyper, se f.eks tabel 2.2 i /1/.

XRD

Røntgendiffraktionsanalyser (XRD) af det semitørre restprodukt, AF, som er udført på Institut for Mineralindustri, DTH, har bl.a. vist, at hovedkomponenterne Ca og Cl fortrinsvis synes at være tilstede som et dobbeltsalt, $\text{CaCl}_2\text{Ca}(\text{OH})_2\text{H}_2\text{O}$. Da dette stofs egenskaber er sparsomt belyst, /4/, kan det ikke umiddelbart afgøres om dets tilstedeværelse har betydning for restproduktets egenskaber. Herudover er der ved XRD-undersøgelsen med nogenlunde sikkerhed identificeret følgende krystallinske forbindelser i AF: NaCl, KCl, $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ og CaSO_4 . Med mindre sikkerhed er det vist, at der måske også findes $\text{NaAl}(\text{SO}_4)_2$, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ og $\text{CaSO}_3 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$, /5/.

Zn, Pb og Cu

Af tabel 2.3 og figurerne 2.2 og 2.3 fremgår det, at restprodukterne indeholder betydelige mængder Zn, Pb og Cu samt mindre mængder af andre sporelementer, herunder Cd, Cr, As og Hg. Som det kunne forventes (se f.eks. /1/), er indholdet af kviksølv, Hg, noget større i det våde produkt (2 - 4 gange) end i de tørre og semitørre produkter.

Hg i vådprodukt

Generelt er der god overensstemmelse mellem den faktisk målte uorganiske kemiske sammensætning af de tre typer restprodukter og den på grundlag af udredningen, /1/, forventede sammensætning. Dog er vådproduktets indhold af Hg noget lavere end forventet (38 mg/kg mod tidligere målt ca. 100 mg/kg i restprodukt fra GRAAB, /2/). Hvorvidt dette skyldes et reelt fald i affaldets kviksølvindhold eller et ændret blandingsforhold mellem slam og flyveaske, kan ikke umiddelbart afgøres.

Det foreliggende datamateriale tillader næppe en vurdering af, hvor stor en del af sporelementerne/tungmetallerne, som fortrinsvis er bundet til den udskillelige flyveaske. Der foreligger dog planer om at undersøge dette i anden sammenhæng, /6/. Fordelingen af sporelementerne mellem reaktionsprodukter og flyveaske har betydning for mulighederne for at ændre på røggasrensingsprodukternes indhold af sporelementer/tungmetaller gennem forudskillelse af flyveaske, f.eks. med henblik på oparbejdning af restprodukterne.

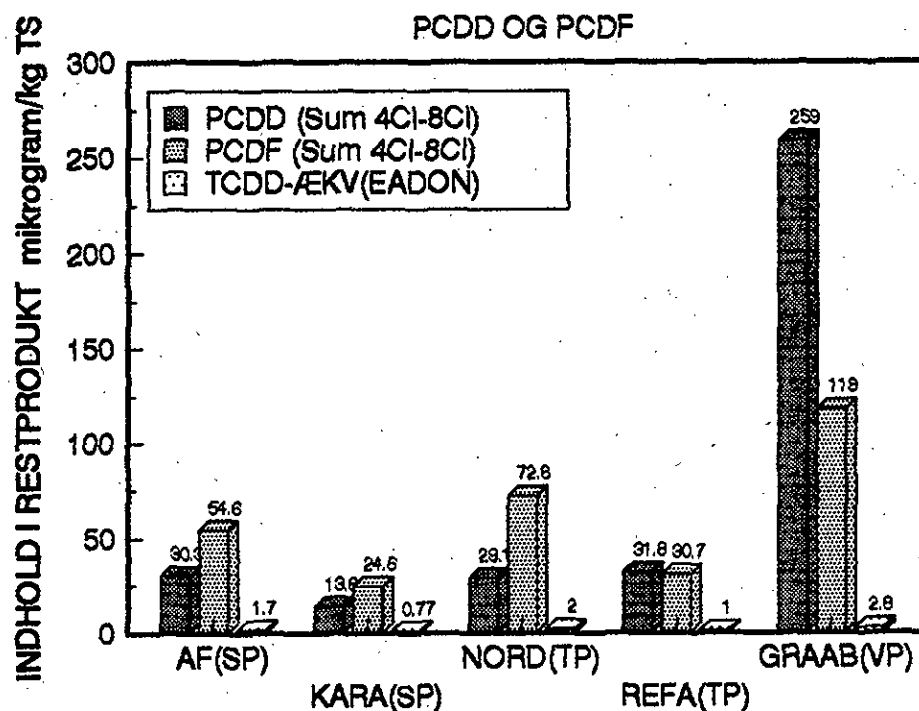
Restprodukternes indhold af organisk stof er beskrevet ved den uspecifikke samleparameter TOC (total organisk kulstof), og det ses af

tabel 2.3, at niveauet generelt er lavt og ensartet for de forskellige restprodukter.

På grund af den store interesse, som de polyklorerede dibenzo-p-dioxiner (PCDD) og dibenzofuraner (PCDF) har været genstand for, er restprodukterne desuden blevet analyseret for disse to stofgrupper. Resultaterne, som omfatter gruppespecifikke analyser af samtlige tetra-, penta-, hexa-, hepta- og octa-substituerede PCDDer og PCDFer samt isomerspecifikke analyser af alle 2,3,7,8-substituerede isomerer, er opsummeret på figur 2.4. For en detaljeret beskrivelse af analysemetoder og resultater henvises til /7/.

På figur 2.4 ses en sammenligning af summen af alle tetra- til octa-substituerede PCDDer og PCDFer samt den såkaldte TCDD-ækvivalent (som er beregnet som den mængde 2,3,7,8-TCDD, hvis toksicitet modsvarer summen af toksiciteterne af de målte dioxiner og furaner) for de 5 restprodukter, se f.eks. /3/.

De målte niveauer af PCDD og PCDF i de tørre og semitørre produkter svarer helt til de få måleresultater for tilsvarende produkter, som det i /1/ lykkedes at finde i litteraturen. Af figur 2.4 ses det, at koncentrationsniveauerne (målt som 2,3,7,8-TCDD toksicitetsækvivalenter) i restprodukterne AF (semitør) og NORD (tør) er ca. dobbelt så høje som i KARA (semitør) og REFA (tør). Det spinkle datagrundlag synes således at antyde, at forskellene måske ikke er forårsaget af forskelle i selve røggasrensningssprocessen, men måske snarere er knyttet til partikelopsamlingsystemet, idet AF og NORD opsamles i posefiltre, mens KARA og REFA opsamles i elfiltre. Det er i andre sammenhænge sandsynliggjort, at posefiltre udskiller dioxiner og furaner mere effektivt end elfiltre. Dette er i overensstemmelse med resultaterne af en undersøgelse gennemført i U.S.A., hvor Tseng et al. for den semitørre proces fandt rensningsgrader på 97 % og derved for posefiltre og på 64 % for elektrofiltre, /8/. Det største indhold af PCDD og PCDF findes i restproduktet fra den våde proces, GRAAB. Målt som toksicitetsækvivalenter er indholdet i det våde produkt dog af samme størrelsesorden som i de tørre og semitørre produkter, specielt når der tages hensyn til, at den producerede mængde restprodukt med flyveaske per ton forbrændt affald er noget mindre for vådproduktet end for de tørre og semitørre produkter. Indholdet af PCDD og PCDF i restprodukterne afhænger i øvrigt ikke alene af røggasrensningsmetoden, men også af ovndriften.



Figur 2.4

Indhold af polyklorerede dibenzo-p-dioxiner (PCDD) og dibenzofuraner samt de tilsvarende 2,3,7,8-TCDD toksicitetsækvivalenter for de 5 restproduktprøver.

2.3 Fysiske og geotekniske egenskaber

Kompaktering og tørrumvægt

Der er udført Standard Proctor forsøg med de semitørre og tørre restprodukter til bestemmelse af det optimale vandindhold for kompaktering og af den tilsvarende tørrumvægt. På grund af restprodukternes kraftige kemiske reaktion med vand er vandindholdene beregnet på grundlag af tilsatte vandmængder og ikke, som det normalt er tilfældet for geotekniske materialer, på grundlag af en efterfølgende vandbestemmelse. Resultaterne er vist i tabel 2.5. Til brug for karakteriseringen af restprodukterne ses endvidere kornstørrelsesfordelingen for de tørre og semitørre produkter i bilag 2.

Tabel 2.5

Optimale vandindhold og tilsvarende tørrumvægte fundet ved Proctorforsøg med semitørre og tørre restprodukter.

Prøve	Optimalt vandindhold % (w/w) af tørvægt	Tørrumvægt t/m ³
AF	40	1,22
KARA	30	1,43
NORD	39	1,24
REFA	32	1,25

3. Generelt om stofudvaskning fra restprodukter

3.1 Udvasnkning fra granuleret og monolitisk materiale

*Gennemstrømning
eller diffusion*

Stoftransporten ud af et restproduktdeponi afhænger dels af den hastighed (mængde per tidsenhed), hvormed det deponerede materiale gennemstrømmes af vand (f.eks. nedsivende regnvand), dels af sammensætningen af det gennemsivende vand. For (stabiliserede) restprodukter med lille permeabilitet og/eller i deponeringssituationer, hvor den hydrauliske gradient er meget lille, afhænger stoftransporten dog i reglen snarere af diffusionshastigheden for de pågældende stoffer.

*Granulerede
materialer*

L/S

For restprodukter på granuleret form, d.v.s. på pulver- eller partikelform, vil der ved normalt forekommende gennemstrømningshastigheder eksistere en ligevægtslignende tilstand mellem det gennemsivende vand og det deponerede restprodukt, som vil styre sammensætningen af vandfasen/perkolatet. Denne sammensætning vil som regel ændre sig med tiden eller med mængden af gennemstrømmende vand, fordi der hele tiden fjernes stof. Det er derfor ofte hensigtsmæssigt at beskrive sammensætningen af perkolat fra udvaskning af restprodukter som funktion af væske-/faststofforholdet ($L/S = \text{Liquid/Solid}$), hvor L er den samlede vandmængde, som på et givet tidspunkt er strømmet gennem materialet, mens S er tørvægten af det gennemstrømmede restprodukt. Såfremt udvaskningsforløbet beskrives som funktion af L/S, er det under visse forudsætninger (herunder specielt, at der når at indstille sig en (pseudo)ligevægt mellem faststoffasen og væskefasen) muligt i nogen grad at se bort fra de specifikke fysiske forsøgsbetingelser ved forskellige udvaskningsundersøgelser. Dette muliggør bl.a. en anvendelse af laboratorie- og pilotskalaundersøgelser til estimering af udvaskningsforløbet i en konkret deponeringssituation.

Tidsskala

Når vandgennemstrømningsforholdene for et givet deponi indeholdende granuleret restprodukt er kendt, kan L/S - skalaen omsættes til en tidsskala, således at perkolatsammensætningen kan estimeres som funktion af tiden, se f.eks. /1, pp 39-40/.

*Monolitiske
materialer*

For restprodukter på monolitisk form, d.v.s. restprodukter, der gennem en eller anden form for behandling er blevet stabiliserede og gjort sammenhængende, vil en eventuel stofudvaskning foregå ved diffusion ud gennem overfladen af det stabiliserede legeme, forudsat den konvektive strømning gennem dette er meget lille som følge af lille permeabilitet ($< \text{ca. } 5 \times 10^{-9} \text{ m/s}$) og/eller en lille hydraulisk gradient. Såfremt der ikke er tale om en direkte opløsning af overfladen af det stabiliserede materiale, vil udvaskningshastigheden eller fluxen, J (mængde per overfladearealenhed per tidsenhed), af

et givet stof fra et restprodukt på monolitisk form aftage forholdsvis hurtigt med tiden og i øvrigt være proportional med overfladearealet.

Overfladeareal

Stofudvaskningshastigheden fra en given mængde stabiliseret restprodukt vil derfor normalt være mindre jo færre og større enheder/legemer, restproduktet opdeles i (idet forholdet mellem kongruente legemers overfladeareal og masse generelt aftager, når størrelsen øges). Dette betyder samtidig, at udvaskningen fra en stabiliseret restproduktblok vil kunne øges, hvis blokken på et tidspunkt revner eller smuldrer (med mindre stabiliseringen fortrinsvis er baseret på en kemisk transformation af de aktuelle forureningskomponenter til forholdsvis stabile og uopløselige tilstandsformer).

Udvaskningen af et givet stof fra et givet stabiliseret restprodukt (som er i kontakt med vand) kan således beregnes på grundlag af kendskab til stoffluxen, J , som funktion af tiden (bestemmes f.eks. ved laboratorieforsøg) og det stabiliserede materiales overfladeareal.

3.2 Laboratorieudvaskningsforsøg

Udvaskningsforsøg er nødvendige

Da der kun har været produceret og deponeret restprodukter fra rensning for sure røggasser på affaldsforbrændingsanlæg i en kortere årække, foreligger der endnu kun meget få målinger af sammensætningen af perkolat fra eksisterende restproduktdeponier og slet ingen længere måleserier. Forudsigelser af stofudvaskningen fra disse restprodukter må derfor indtil videre baseres på udvaskningsforsøg i laboratorie- og eventuelt pilotskala.

Valg af metode

De mest anvendte laboratoriemetoder til undersøgelse af stofudvaskningen fra faste stoffer er rysteforsøg eller batchudvaskningsforsøg, kolonneudvaskningsforsøg og tankudvaskningsforsøg. Rysteforsøg og kolonneforsøg benyttes primært til bestemmelse af udvaskningsforholdene for granuleret (evt. nedknust) materiale, hvor stoftransporten efter deponering kan ske ved konvektiv strømning. Tankudvaskningsforsøg udføres sædvanligvis på monolitiske prøvelegemer, hvorfra stoftransporten fortrinsvis sker ved diffusion. Valget af udvaskningsmetode og det præcise valg af udvaskningsvæske og forsøgsbetingelser i øvrigt afhænger ikke blot af det undersøgte materiales karakter, men også af de spørgsmål, som ønskes besvaret gennem den pågældende undersøgelse. Hvis et materiale eksempelvis tænkes anbragt i marine omgivelser, vil det ofte være relevant at udvaske med havvand. I mange tilfælde er disse frihedsgrader dog ikke til stede, når man er henvist til at benytte de standardtests, som i nogle lande er foreskrevet ved lov, se f.eks. /1, pp 40-43/.

Regnvand

Ved udvaskningsforsøg, hvor man i nogle tilfælde ønsker at beskrive stofudvaskning med regnvand, benyttes ofte demineraliseret vand (DMV), som eventuelt indstilles til $\text{pH} = 4$ med HNO_3 , for at simulere en svag forsurening. Tilsætningen af HNO_3 til DMV er ved at vinde betydelig international udbredelse fremfor mere komplice-

rede opskrifter på "kunstigt regnvand", da metoden er mindre arbejdskrævende, og da resultatet af udvaskningsforsøgene i de fleste tilfælde vil være uafhængigt af, om der er brugt DMV, DMV v. pH = 4 eller kunstigt regnvand. Ingen af disse ekstraktionsmidler har nogen væsentlig buffervirkning, og ved et udvaskningsforsøg vil ligevægtskoncentrationen i væskefasen helt være styret af faststoffasens sammensætning, undtagen måske ved meget høje værdier af L/S.

Organiske stoffer

Ovenstående gælder primært for uorganiske stoffer (for eksempel salte og sporelementer), mens undersøgelse af udvaskningen af organiske stoffer ofte kræver specielle teknikker. Forhold som mikrobiologisk aktivitet (som dog næppe vil kunne forekomme ved udvaskning af de stærkt alkaliske tørre og semitørre restprodukter) og tilstedeværelse af potentielt udvaskelige redox-følsomme komponenter kan ligeledes være vanskelige at håndtere og stiller specielle krav til kontrollen med forsøgsbetingelserne.

Rysteforsøg

Ved et rysteforsøg anbringes en bestemt mængde restprodukt (S) sammen med en bestemt mængde ekstraktionsvæske (L) i en lukket beholder, som derefter agiteres (rystes) i et bestemt tidsrum (for restprodukter ofte i 23-24 timer). Herefter skilles væskefasen fra faststoffasen, som regel ved filtrering eller centrifugering. Væsken analyseres, konserveres til senere analysering eller gemmes med henblik på sammenblanding med andre fraktioner. Den frafiltrerede faststoffase anbringes eventuelt igen i beholderen sammen med en ny portion ekstraktionsvæske, hvorefter udvaskningsproceduren kan gentages et vilkårligt antal gange. Metoden kan varieres, så man i stedet for hver gang at udskifte vandfasen tilsætter en ny portion faststof til den filtrerede vandfase.

$L/S = 1-400 \text{ l/kg}$

Rysteforsøg kan i praksis benyttes til at beskrive udvaskningsforholdene for $L/S = 2 \text{ l/kg}$ til $L/S = 200 \text{ l/kg}$. I nogle tilfælde kan man gå helt ned til $L/S = 1 \text{ l/kg}$ og helt op til måske $L/S = 400 \text{ l/kg}$ eller mere. Problemet ved lave L/S-forhold er at få frasepareret en tilstrækkelig mængde væske til analysering, mens problemet ved høje L/S-forhold er den store fortynding, som bringer mange parametre under detektionsgrænserne for de anvendte analysemetoder.

Resultaterne af rysteforsøg kan være en beskrivelse af de undersøgte parametres koncentrationer i perkolatet som funktion af L/S (d.v.s. L/S svarende til hver fraktion), eller de kan være en beregning af den totalt udvaskede mængde af et givet stof for en eller flere (akkumulerede) værdier af L/S, angivet som mg stof/kg af det undersøgte materiale eller som procentdel af totalindholdet af det pågældende stof i materialet.

pH - statisk udvaskning

En pH-statisk test er en særlig variant af ryste- eller batchudvaskningsforsøget, hvor pH i væsken fastholdes på en bestemt værdi

ved hjælp af feed-back kontrol og tilsætning af HNO_3 (eller NaOH). Formålet med denne test er at bestemme den maximale udvaskelige eller tilgængelige mængde af et givet stof fra en faststofprøve (oftest nedknust til $< 125 \mu\text{m}$). Ved maximal udvaskelig mængde forstås her et estimat af den øvre grænse for den mængde (i mg/kg) af et givet stof, som under naturligt eksisterende forhold kan forventes at kunne udvaskes selv over et meget langt tidsrum.

$$L/S = 100-200 \text{ l/kg}$$

Udvaskningen udføres ved et højt L/S - forhold (typisk 100 l/kg) for at minimere eventuelle interferencer mellem forskellige udvaskede komponenter. I én udgave af denne test udvaskes først ved $\text{pH} = 7$ under omrøring i tre timer, dernæst udskiftes vandet og der udvaskes ved $\text{pH} = 4$ i endnu tre timer, hvorefter de filtrerede ekstrakter, som repræsenterer et akkumuleret L/S på 200 l/kg, kombineres og analyseres, /9/. Denne fremgangsmåde sikrer rimeligt favorable og ikke urealistisk extreme opløselighedsforhold for de fleste sporelementer.

Kolonneforsøg

Ved et kolonneudvaskningsforsøg anbringes en bestemt mængde restprodukt i en lodretstående cylinder, som derefter i ned- eller opadgående retning gennemstrømmes af en væske. Den passerende væskemængde opsamles i passende fraktioner, som kan analyseres enkeltvis eller i passende kombinationer. Det gælder som en tommelfingerregel, at kolonnens (fyldte) længde skal være mindst fire gange diameteren, mens kolonnediameteren skal være mere end 10 - 20 gange den største partikeldiameter i det undersøgte materiale, /10/. Flowhastigheden gennem kolonnen må ikke være større, end at der overalt i kolonnen kan opnås en ligevægtslignende tilstand mellem væske- og faststoffasen. VKI har erfaring for, at dette normalt sikres ved hastigheder på 2 cm/døgn (målt på tom kolonne) eller derunder i upflow.

$$L/S = 0,1-10 \text{ l/kg}$$

Kolonneforsøg benyttes typisk til beskrivelse af udvaskningsforholdene i området fra $L/S = 0,1$ og op til højst $L/S = 10 \text{ l/kg}$. Resultaterne af kolonneforsøg kan ligesom for rysteforsøg være en beskrivelse af stoffkoncentrationer i perkolatet og/eller totalt udvaskede mængder som funktion af L/S.

Tankforsøg

Et tankforsøg er i modsætning til batch- og kolonneforsøg, som tilstræbes udført under ligevægtslignende forhold, en dynamisk test, som fastlægger den hastighed hvormed et givet stof overføres fra faststoffasen til væskefasen. Selve forsøget er ganske enkelt: Et monolitisk prøvelegeme nedsænkes i en væske, som er anbragt i en lukket beholder. Væsken udskiftes med bestemte (stigende) tidsintervaller for at opretholde den størst mulige gradient. De opsamlede væskefraktioner filtreres og analyseres. På grundlag af forsøget kan stoffrigivelsen per overfladeareal per tidsenhed (fluxen, J) beregnes for hvert væskeskift.

Hvis prøvelegemet kan betragtes som halv-uendeligt (d.v.s. geometrien ikke har indflydelse på udvaskningsforløbet), hvis stofkoncentrationen ved prøvelegemets overflade er 0, og hvis stoftransporten sker ved diffusion, kan fluxen beskrives således, /11/:

$$J = S_0 \cdot D_e^{0,5} \cdot \pi^{-0,5} \cdot t^{-0,5}$$

hvor

S_0 = koncentrationen af stoffet i prøvelegemet (her benyttes som regel den tilgængelige/udvaskelige stofmængde, bestemt ved en pH-statisk udvaskning af det nedknuste prøvelegeme)

D_e = den effektive diffusionskoefficient

t = den totale forløbstid fra forsøgets start til det aktuelle væskeskit.

Diffusionskontrol

En afbildning af $\log(J)$ som funktion af $\log(t)$ skulle ifølge ovenstående ligning (d.v.s. hvis stofudvaskningshastigheden er kontrolleret af diffusion) give en ret linje med hældningen - 0,5. Såfremt hældningskoefficienten er større, tyder det på at opløsning af stoffet helt eller delvis er bestemmende for udvaskningshastigheden. Hvis hældningskoefficienten derimod er mindre end - 0,5 betyder det, at diffusionen hæmmes af formindsket tilgængelighed af det pågældende stof og derfor ikke styrer udvaskningshastigheden. De kan benyttes til beregning af J på et vilkårligt tidspunkt.

Sammenligning af praktiske forhold

Nedenfor ses nogle eksempler på typiske værdier for tidsforbrug (eksklusive analysering for batchforsøgenes vedkommende), mindste praktiske fraktionsstørrelse og største praktiske akkumulerede L/S - forhold samt de tilsvarende simulerede tidsforløb (for et 10 m tykt deponi, der årligt gennemstrømmes af 200 mm nedbør) for kolonneforsøg, batchforsøg og tankforsøg. Tankforsøgene simulerer realtid, men kan ved ekstrapolation benyttes til at forudsige fremtidig stofflux. Ved tankforsøg benyttes typisk væskevolumen/faststofvolumen-forhold på 5 - 10 liter/liter per vandskit.

Udvaskningsforsøg	Kolonneforsøg	Batchforsøg	Tankforsøg
Typisk tidsforbrug	1-10 måneder	1-5 dage	1-3 måneder
Typiske L/S-intervaller:			
• Mindste fraktion	0.0 - 0.1 l/kg	0 - 2 l/kg	-
• Slutværdi	10 l/kg	200 l/kg	-
Typisk tidsforløb simuleret	0-5 år (L/S=0.1) 5-500 år (L/S=0-10)	0-100 år (L/S=0-2) 0-10000 år (L/S=0-200)	- -

4. Udvaskningsforsøg med ikke-stabiliserede restprodukter

4.1 Kolonne- og batchudvaskningsforsøg

Fremgangsmåde

Med henblik på at opnå en beskrivelse af de udvaskningsforhold, som kan forventes for de tre restprodukttyper, hvis disse deponeres uden forudgående stabilisering eller anden behandling, er de 5 restproduktprøver blevet underkastet først kolonneudvaskningsforsøg og derefter batchudvaskningsforsøg ("rysteforsøg") med demineraliseret vand tilsat HNO_3 til $\text{pH} = 4$ ("kunstigt regnvand"), se afsnit 3.

Kolonneforsøgene giver et mere detaljeret billede og forventes normalt at simulere udvaskningsforholdene i et deponi bedre end batchforsøg, men da de tager meget lang tid at gennemføre, er det valgt at gennemføre første del af udvaskningsforløbet, hvor langt størstedelen af stofudvaskningen sker, som kolonneforsøg under vandmættede forhold i upflow ($L/S = 0,0 - 2,0 \text{ l/kg}$) og anden del som to på hinanden følgende batchudvaskningsforsøg ($L/S = 2,0 - 5,0 \text{ l/kg}$ og $L/S = 5,0 - 25 \text{ l/kg}$) på materialet fra kolonnerne.

$L/S = 0-25 \text{ l/kg}$

De opsamlede perkolatfraktioner er blevet analyseret kemisk, og på enkelte fraktioner er der udført økotoxikologiske undersøgelser, se afsnit 7. Det kemiske analyseprogram er opstillet under hensyntagen til såvel restprodukternes sammensætning som til den generelle toksicitet og mobilitet af en række enkeltstoffer. Der er gennemført én serie kolonne- og batchforsøg med hvert af restprodukterne KARA, NORD, REFA og GRAAB, mens AF er blevet underkastet et tredobbelt forsøg. Udvaskningsforsøgene er beskrevet mere detaljeret i Bilag 3.

Resultater

I Bilag 3 er resultaterne af udvaskningsforsøgene vist, dels som perkolatkoncentrationer som funktion af L/S , dels som akkumulerede udvaskede stofmængder som funktion af L/S . For AF er resultaterne i Bilag 3 vist både enkeltvis og som middelværdier. I det følgende er resultaterne for AF anført som middelværdierne for de tre bestemmelser, i nogle tilfælde dog med angivelse af variationsinterval.

Tabel 4.1 viser de totale mængder af de væsentligste salte, sporelementer og organisk kulstof (NVOC), som er udvasket ved kolonne- og batchudvaskningsforsøgene for $L/S = 0,0 - 25 \text{ l/kg}$. I tabel 4.2 er de samme tal angivet i procent af totalindholdet i faststoffasen. Til sammenligning er der i tabel 4.2 desuden anført nogle tilsvarende resultater af en svensk undersøgelse, hvor restprodukter fra 4 tørre/semitørre og 2 våde anlæg er blevet udvasket ved batchforsøg

Udvaskede stofmængder

over intervallet $L/S = 0-16$ l/kg, /2/. I Bilag 3 er de totalt udvaskede mængder af nogle salte og sporelementer for alle forsøgene angivet både for $L/S = 0-2$ l/kg (kolonneforsøg) og $L/S = 0-25$ l/kg (kolonne + batchforsøg).

Udvaskningsforløb

Udvaskningsforløbet for nogle af de væsentligste udvaskningsparametre er illustreret på figur 4.1 (pH), figur 4.2 (opløst tørstof), figur 4.3 (klorid), figur 4.4 (kalcium), figur 4.5 (kadmium), figur 4.6 (kobber) og figur 4.7 (bly). Parametrene er afbildet som funktion af den (aritmetisk) gennemsnitlige akkumulerede værdi af L/S for hver fraktion. De manglende datapunkter på figurerne 4.5, 4.6 og 4.7 skyldes, at sporelementindholdet i de pågældende fraktioner har ligget under detektionsgrænsen.

Tabel 4.1

Totalt udvaskede stofmængder (mg/kg) fra de fem restprodukter ved kolonne- og batchudvaskningsforsøg for $L/S = 0 - 25$ l/kg. For AF er der vist både middelværdier og variationsinterval for de tre enkeltforsøg.

Parameter	Enhed	Semitør AF		Semitør KARA	Tør NORD	Tør REFA	Våd GRAAB
		Middelværdi	Variation				
Opløst tørstof	g/kg	250	220 - 270	260	350	210	110
Alkalinitet	mækv/kg	330	280 - 390	330	530	370	16
Sulfat	g/kg	0.33	0.29 - 0.36	0.70	3.0	0.48	13
Klorid	g/kg	130	120 - 140	140	200	120	56
Ca	g/kg	61	57 - 65	60	95	53	8.9
Na	g/kg	14	13 - 15	14	17	12	21
K	g/kg	18	17 - 18	25	25	29	21
As	mg/kg	< 0.03	<0.03	0.036	0.032	<0.02	0.28
Cd	mg/kg	0.16	<0.4	0.42	0.44	0.054	<0.002
Cr	mg/kg	0.71	<0.6 - 0.9	1.2	2.4	-	0.52
Cu	mg/kg	<0.3	<0.1 - 0.30	4.6	22	2.0	<0.02
Hg *)	mg/kg	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.001
Mo	mg/kg	2.6	2.2 - 3.0	1.4	1.3	1.1	12
Ni	mg/kg	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.1	<0.2
Pb	mg/kg	130	110 - 140	290	3400	730	<0.002
Sn	mg/kg	<0.3	<0.4	<0.2	-	<0.3	<3
Zn	mg/kg	190	140 - 210	47	310	34	<0.5
NVOC	mg/kg	590	450 - 710	44	65	49	30
Variationsinterval for pH		-	9.8 - 12.6	10.2-12.6	9.7-12.7	10.8-12.6	9.0-10.6
Udvaskningsforsøg:		(E+F+G)/3	E/F/G	B	C	D	A

*) : Tallene for Hg gælder kun fraktionerne $L/S = 0.0 - 2.0$. Alle bestemmelser af Hg var lavere end detektionsgrænsen, og der blev derfor ikke analyseret for Hg i de to sidste fraktioner fra hvert forsøg.

*Højt saltindhold
i initialperkolatet*

I tabel 4.3 er sammensætningen af den første perkolatfraktion ($L/S = 0,0 - 0,2$ l/kg) og i tabel 4.4 den sidste perkolatfraktion ($L/S = 5,0 - 25$ l/kg) fra kolonneforsøgene angivet for hvert af de 5 restprodukter.

Det fremgår, at det første perkolat fra alle restprodukterne er præget af et meget højt saltindhold (initialperkolatet fra kolonneforsøget med NORD har eksempelvis et indhold af opløst tørstof på over 500 g/l), som dog aftager drastisk i løbet af udvaskningsperioden.

De dominerende ioner er klorid og calcium, dog spiller natrium og kalium også en betydelig rolle, især i perkolatet fra det våde produkt, som indeholder forholdsvis lidt calcium, men til gengæld mere sulfat end perkolatet fra de øvrige produkter. Perkolatet fra det våde produkt adskiller sig klart fra de øvrige perkolattyper ved at indeholde langt mindre mængder af de fleste af de undersøgte stoffer, herunder uorganiske salte, sporelementer og organisk stof (NVOC). Der udvaskes dog større mængder As og Mo fra vådproduktet end fra de tørre og semitørre produkter. Desuden ligger pH, som for alle produkterne stiger gennem den første del af udvaskningsperioden, hele tiden 1-2 enheder lavere i perkolatet fra vådproduktet end i de øvrige perkolater.

En af hovedårsagerne til de lave indhold af tungmetaller i perkolatet fra vådproduktet er indholdet af fældningskemikalier, specielt organiske sulfidforbindelser (her TMT-15, se evt. /1/), som binder disse. Det kan ikke umiddelbart afgøres, hvor stabile sulfidforbindelserne vil være på længere sigt.

*Lille forskel på
TP og SP*

Der er ikke nogen entydig forskel på udvaskningsresultaterne for de semitørre og de tørre processer. Den procentvise (og absolutte) udvaskning af bly er dog væsentligt større fra de tørre produkter end fra de semitørre. De fleste af de undersøgte stoffer udvaskes i størst mængde fra NORD (tørprodukt), og generelt er der større forskelle mellem udvaskningsforholdene for tørprodukterne NORD og REFA indbyrdes, end der er mellem REFA og de mere ens semitørre produkter, AF og KARA.

Højt blyindhold

De højeste koncentrationer af bly (11 g/l), kobber, krom og zink ses i perkolatet fra NORD, mens indholdet af organisk stof i perkolatet fra AF er mere end 10 gange større end i nogen af de andre perkolater. Der har ikke kunnet måles kviksølv eller nikkel i nogen af de opsamlede perkolatfraktioner.

De meget høje saltindhold i de første perkolatfraktioner fra de semitørre og tørre produkter har gennem forhøjelse af ionstyrken og kompleksdannelse stor indflydelse på opløselighedsforholdene, ikke mindst for sporelementerne/tungmetallerne. Det bemærkes, at mellem 22 og 35 % (w/w) af totalindholdet af de semitørre og tørre produkter udvaskes, størstedelen allerede i starten af udvaskningsforløbet. Fra det våde produkt udvaskes kun 11 % (w/w). Det ses

desuden, at stort set al klorid udvaskes fra de semitørre og tørre produkter.

*Pb og salte
dominerer*

Både af de totalt udvaskelige mængder i tabel 4.1 og koncen-
trationsniveauerne i tabellerne 4.3 og 4.4 fremgår det, at bly sammen
med saltindholdet er den helt dominerende forureningskomponent i
perkolatet fra de tørre og semitørre processer. Der udvaskes desuden
betydelige, men ret forskellige, mængder Zn fra alle disse produkter,
ligesom der fra KARA (semitør) og NORD (tør) udvaskes signifi-
kante mængder kobber. I den første perkolatfraktion fra de tørre/se-
mitørre produkter (men ikke i de senere fraktioner) er indholdet af
Cd desuden signifikant (0.2 - 2 mg/l).

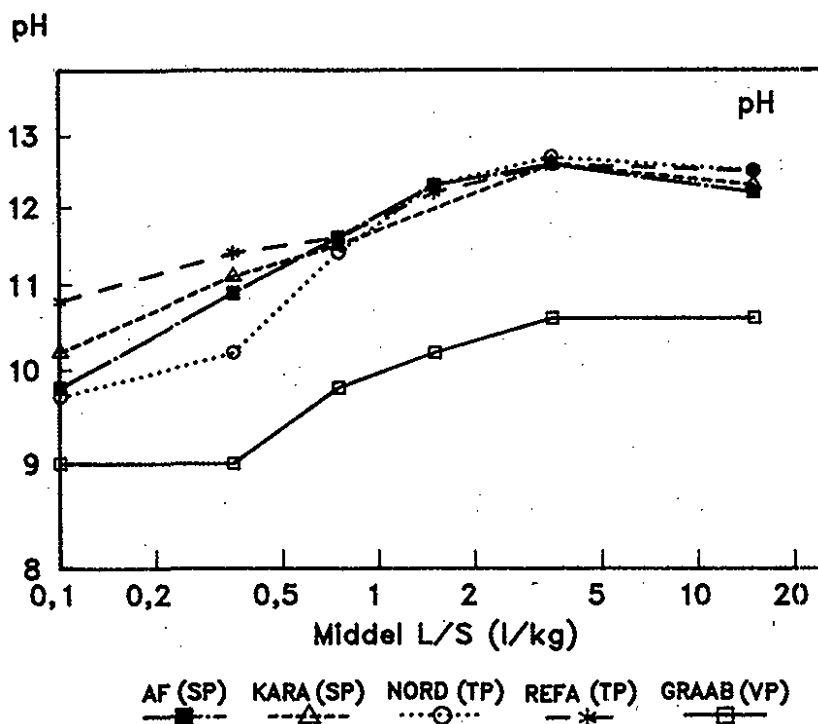
Tabel 4.2

Totalt udvaskede stofmængder (i % af totalindholdet) fra de fem restprodukter ved kolonne- og batchud-
vaskningsforsøg for L/S = 0 - 25 l/kg, angivet i procent af totalindholdet i faststoffasen. Til sammenligning ses
tilsvarende svenske resultater af batchudvaskningsforsøg for L/S = 0 - 16 l/kg med 4 tørre/semitørre og 2 våde
røggasrensingsprodukter fra affaldsforbrændingsanlæg, /2/.

Parameter	Enhed	Semitør AF	Semitør KARA	Tør NORD	Tør REFA	Våd GRAAB	Svensk undersøgelse	
							Semitør	Våd
Opløst tørstof	% (w/w)	25	26	35	21	11		
Alkalinitet	% (w/w)	5.9	4.3	6.1	3.1	0.36		
Sulfat	% (w/w)	0.73	1.3	5.9	1.3	17		
Klorid	% (w/w)	87	108	91	92	79		150-200
Ca	% (w/w)	32	32	41	21	8.1	>32-90	17
Na	% (w/w)	74	93	113	100	75		
K	% (w/w)	67	83	81	85	60		
As	% (w/w)	<0.05	0.014	0.017	<0.02	0.15	<1.8-13	<0.3
Cd	% (w/w)	0.09	0.23	0.22	0.04	<0.0008	<0.2-0.49	<0.04
Cr	% (w/w)	0.37	0.50	1.6	-	0.13	<0.1-0.9	<0.1
Cu	% (w/w)	<0.05	0.42	3.4	0.23	<0.002	0.4-3.2	<0.08
Hg *)	% (w/w)	<0.02	<0.03	<0.02	<0.03	<0.003		
Mo	% (w/w)	19	8.8	14	11	60	19-54	>37-39
Ni	% (w/w)	<0.5	<0.4	<0.9	<0.2	<0.3	2.9-16	<0.3
Pb	% (w/w)	2.3	4.5	65	17	<0.00003	10-47	<0.03
Sn	% (w/w)	<0.04	<0.03	-	<0.04	<0.3		
Zn	% (w/w)	1.1	0.31	1.9	0.24	<0.003	0.4-0.7	<0.002
NVOC	% (w/w)	8.4	0.73	0.93	0.54	0.43		
Variationsinterval for pH		9.8-12.6	10.2-12.6	9.7-12.7	10.8-12.6	9.0-10.6	11.5-13.0	10

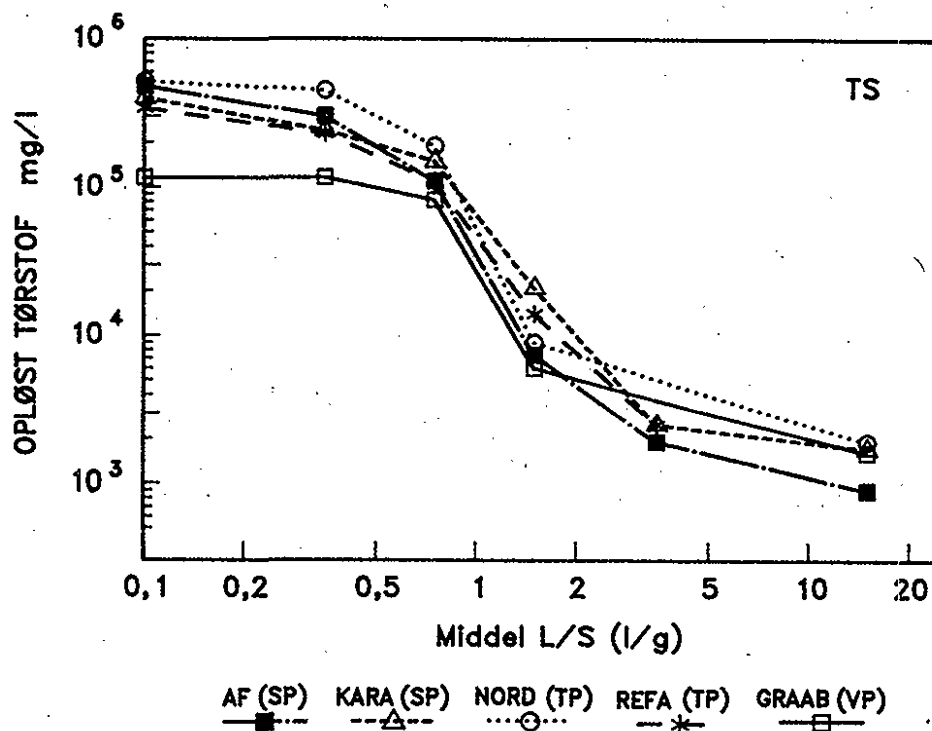
Udvaskningsforsøg: (E+F+G)/3 B C D A

*) : Tallene for Hg gælder kun fraktionerne L/S = 0.0 - 2.0. Alle bestemmelser af Hg var lavere
end detektionsgrænsen, og der blev derfor ikke analyseret for Hg i de to sidste fraktioner fra hvert
forsøg.



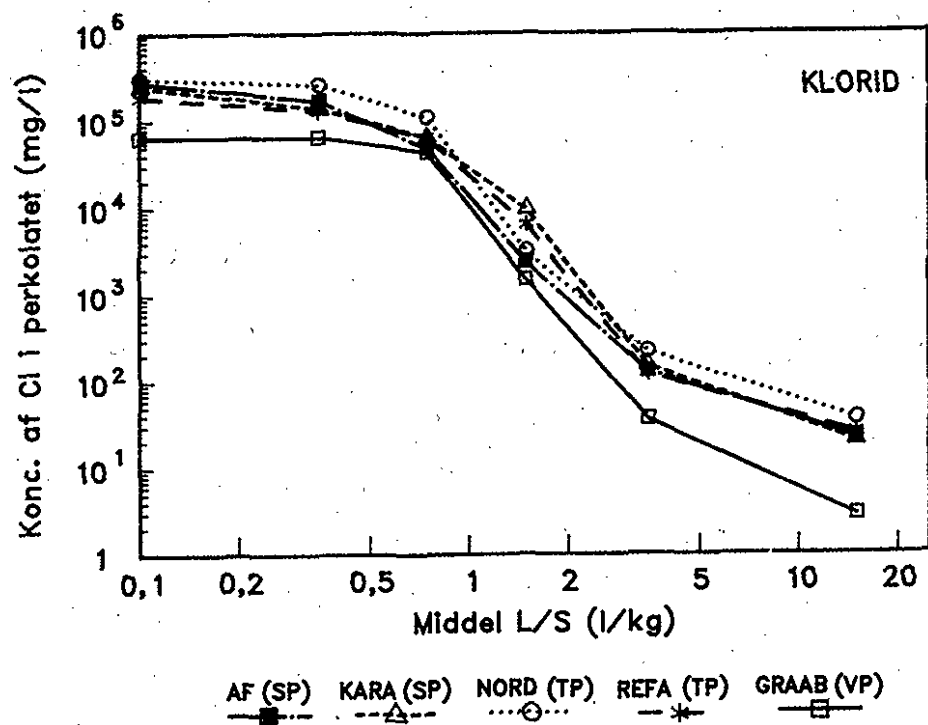
Figur 4.1

Resultater af udvaskningsforsøg med røggasrensningsprodukter. pH som funktion af L/S.

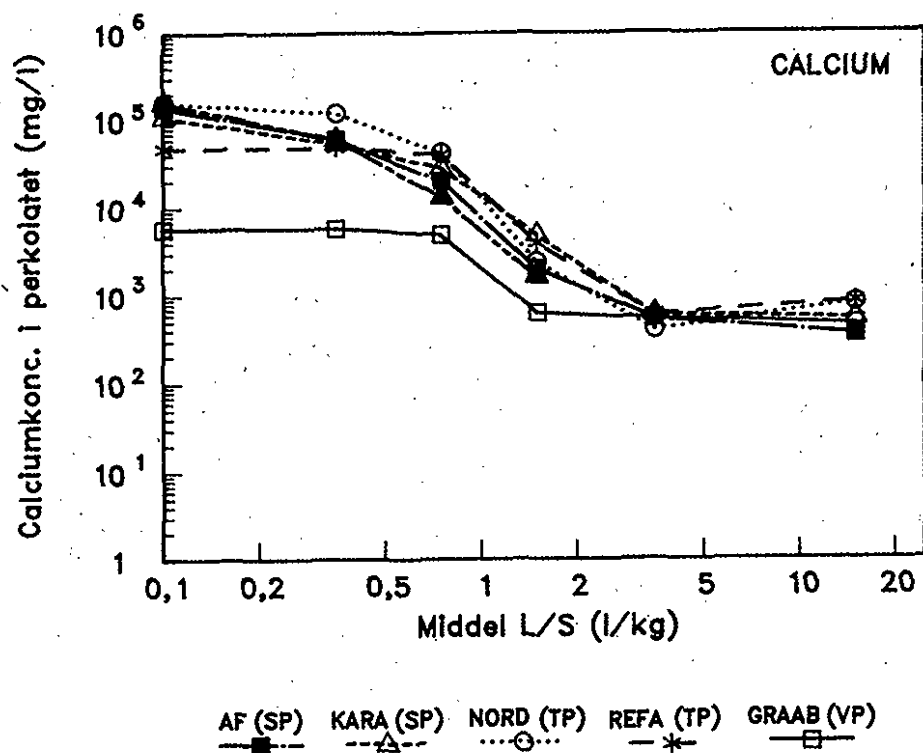


Figur 4.2

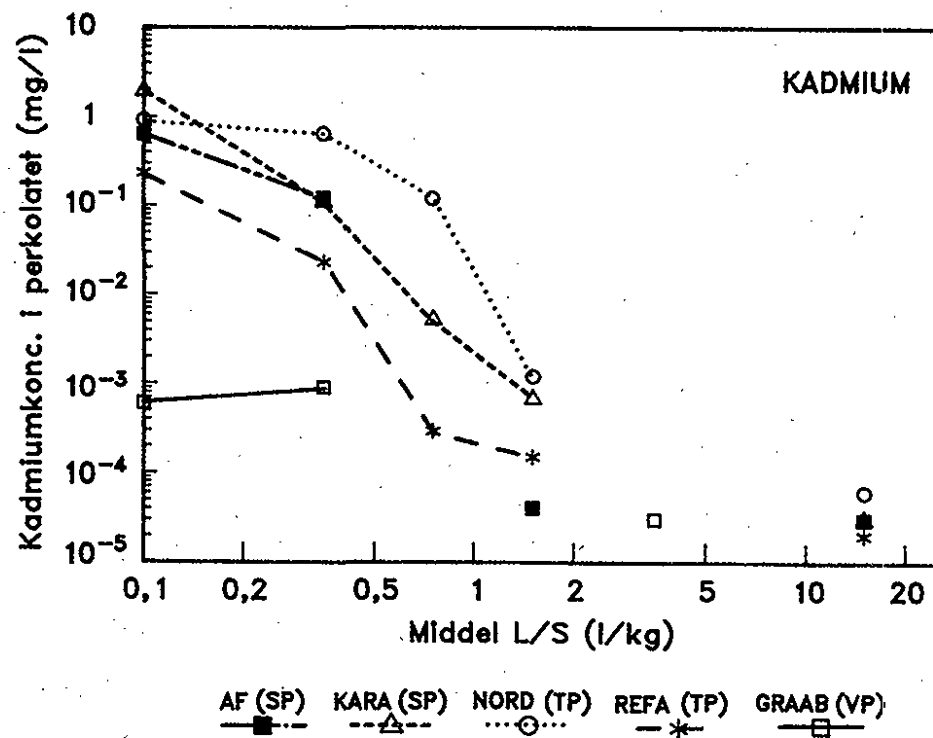
Resultater af udvaskningsforsøg med røggasrensningsprodukter. Opløst tørstof som funktion af L/S.



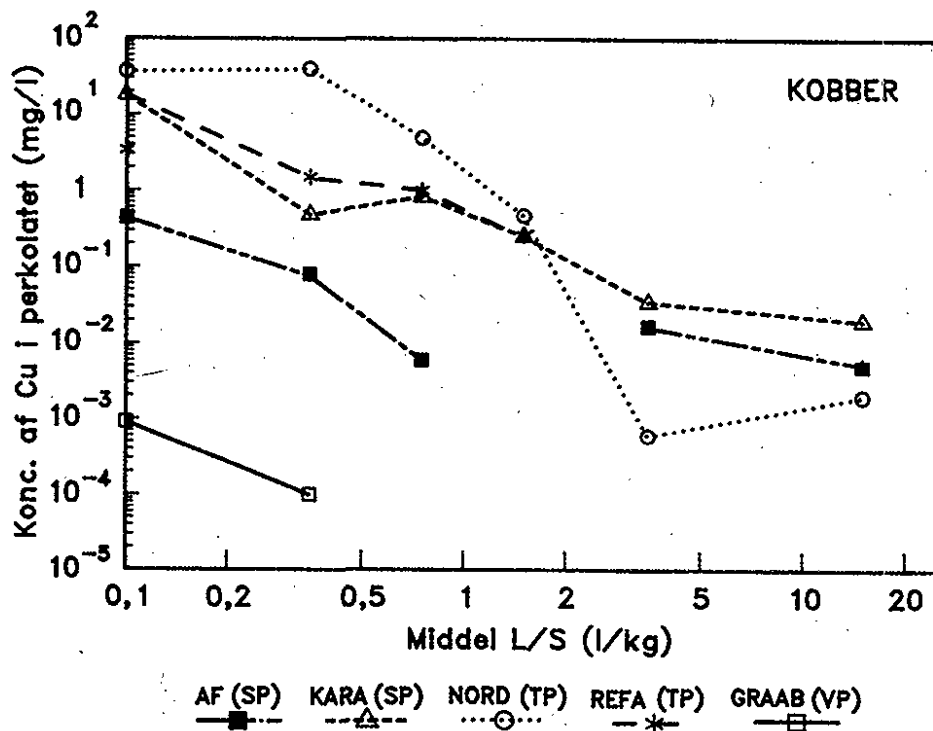
Figur 4.3
Resultater af udvaskningsforsøg med røggasrensningsprodukter. Klorid som funktion af L/S.



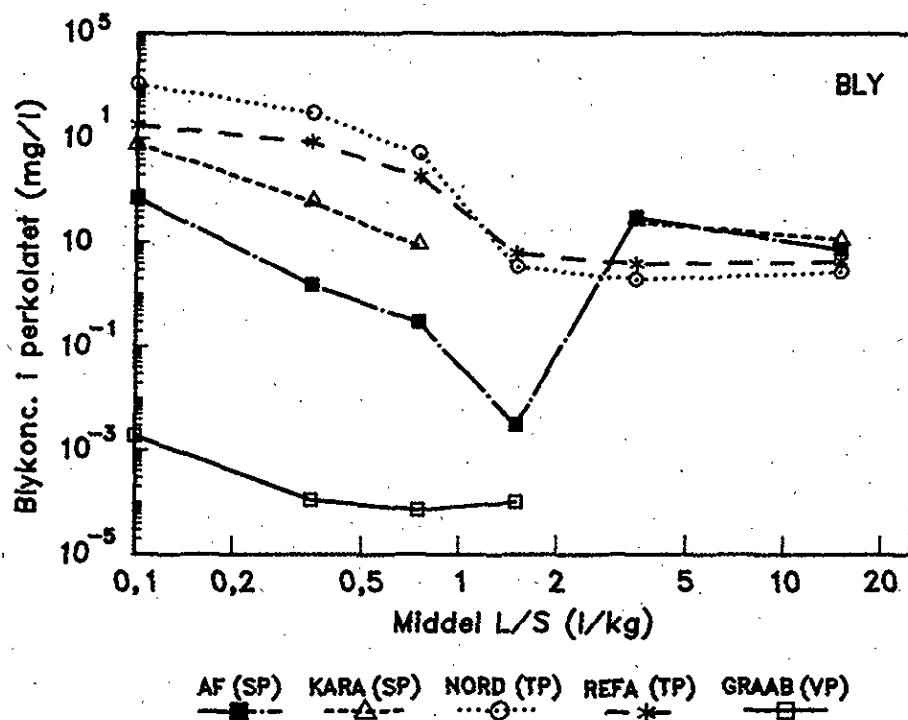
Figur 4.4
Resultater af udvaskningsforsøg med røggasrensningsprodukter. Kalcium som funktion af L/S.



Figur 4.5
 Resultater af udvaskningsforsøg med røggasrensningsprodukter. Kadmium som funktion af L/S.



Figur 4.6
 Resultater af udvaskningsforsøg med røggasrensningsprodukter. Kobber som funktion af L/S.



Figur 4.7

Resultater af udvaskningsforsøg fra røggasrensningsprodukter. Bly som funktion af L/S.

Tabel 4.3

Resultater af udvaskningsforsøg. Sammensætning af den første perkolatfraktion (L/S = 0,0 - 0,2) fra kolonneforsøgene med de fem restprodukter.

Parameter	Enhed	Semitør AF		Semitør KARA	Tør NORD	Tør REFA	Våd GRAAB
		Middelværdi	Variation				
pH	-	9.9	9.8 - 10	10.2	9.7	10.8	9.0
Ledningsevne	mS/m	18000	16000-20000	21000	15000	27000	15000
Opløst tørstof	mg/l	480000	430000-510000	400000	520000	340000	116000
Alkalinitet	mækv/l	190	140-240	190	540	87	0.96
Sulfat	mg/l	160	150-160	160	270	430	2100
Klorid	mg/l	280000	270000-300000	250000	310000	190000	65000
Ca	mg/l	140000	120000-160000	110000	160000	48000	5800
Na	mg/l	15000	8000-22000	19000	7500	37000	23000
K	mg/l	26000	19000-31000	37000	22000	66000	23000
As *)	mg/l	0.0075	0.0057-0.0095	0.015	0.21	0.0055	0.019
Cd	mg/l	0.63	0.099-1.5	1.9	0.91	0.23	0.0006
Cr *)	mg/l	0.63	0.48-0.85	1.1	2.3		<0.003
Cu	mg/l	0.44	0.17-0.95	18	37	3.4	0.00091
Hg	mg/l	<0.0005	<0.0005	<0.003	<0.003	<0.003	<0.0005
Mo *)	mg/l	0.37	0.31-0.41	0.51	0.61	0.54	7.9
Ni *)	mg/l	<0.2	<0.2	<0.05	<0.1	<0.05	<0.05
Pb	mg/l	73	2.2-200	750	11000	1800	0.0019
Sn *)	mg/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.2	<0.1	<0.1
Zn	mg/l	580	390-730	0.020	550	38	0.02
NVOC	mg/l	470	300-640	35	45	24	8
Udvaskningsforsøg:		(E+F+G)/3 E/F/G		B	C	D	A

*) For As, Cr, Mo, Ni og Sn er analysen foretaget på samlefraktionen L/S = 0.0 - 1.0 l/kg.

*Ligner svenske
resultater*

For de fleste parametres vedkommende er de udvaskningsgrader, som er fundet i denne undersøgelse, af samme størrelsesorden som dem, der blev fundet ved den svenske undersøgelse, både for de tørre/semitørre og de våde produkter (se tabel 4.2). Udvasningen af nikkel fra de tørre/semitørre produkter er dog væsentligt større i den svenske end i denne undersøgelse. Den procentvise blyudvasning fra de svenske semitørre produkter svarer til blyudvasningen fra de danske restprodukter fra tørprocessen, NORD og REFA.

Sammenfattende må det konstateres, at blyindholdet i stort set alle de opsamlede perkolatfraktioner fra udvaskningsforsøgene med ikke-stabiliserede tørre og semitørre restprodukter udgør den største potentielle risiko for miljøet. I fraktionen L/S = 5-25 l/kg er koncentrationsniveauet dog faldet til 5-10 mg/l. Perkolatet er endvidere karakteriseret ved et meget højt initielt indhold af uorganiske salte, specielt klorider.

Tabel 4.4

Resultater af udvaskningsforsøg. Sammensætning af den sidste perkolatfraktion (L/S = 5,0 - 25) fra kolonneforsøgene med de fem restprodukter.

Parameter	Enhed	Semitør AF		Semitør KARA	Tør NORD	Tør REFA	Våd GRAAB
		Middelværdi	Variation				
pH	-	12.2	12.1-12.2	12.3	12.5	12.5	10.6
Ledningsevne	mS/m	330	270-370	510	760	790	170
Opløst tørstof	mg/l	900	770-970	1700	1900		1600
Alkalinitet	mækv/l	25	13-42	26	41	42	2.0
Sulfat	mg/l	29	22-40	8.2	2.5	4.4	1100
Klorid	mg/l	22	21-23	20	36	25	2.8
Ca	mg/l	350	290-390	530	810	840	460
Na	mg/l	12	11-12	9	24	8	15
K	mg/l	11	10-12	14	41	14	19
As	mg/l	0.0006	0.0006	0.0009	0.0004	<0.0005	0.011
Cd	mg/l	0.00003	<0.00002-0.00003	0.00003	0.00006	0.00002	<0.00002
Cr	mg/l	<0.004	<0.003-0.004	0.004	0.003	<0.003	0.023
Cu	mg/l	0.005	0.0025-0.0068	0.020	0.0020	0.0053	<0.0005
Hg	mg/l	im	im	im	im	im	im
Mo	mg/l	0.071	0.066-0.075	0.029	0.019	0.017	0.027
Ni	mg/l	<0.002	<0.002	<0.004	<0.002	<0.002	<0.004
Pb	mg/l	7.2	5.4-8.6	11	2.7	4.3	<0.0001
Sn	mg/l	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.1
Zn	mg/l	0.65	0.48-0.77	0.90	1.5	0.69	<0.02
NVOC	mg/l	3.8	3.3-4.0	1.6	1.9	3.5	2.8

Udvaskningsforsøg: (E+F+G)/3 E/F/G B C D A

im: Ikke målt (da Hg i de fire første fraktioner var under detektionsgrænsen)

Eventuelle foranstaltninger til reduktion af stofudvaskningen og/eller stofemissionen fra deponerede tørre/semitørre restprodukter må derfor nødvendigvis omfatte bly, og for det første perkolats vedkommende (op til $L/S = \text{ca. } 5 \text{ l/kg}$) også uorganiske salte og andre sporelementer (Cd og Cu). For vådproduktets vedkommende er det generelle forureningsniveau, bortset fra saltindholdet i de første perkolatfraktioner (som også har et forholdsvis højt indhold af Mo), lavt.

Forureningsrisikoen aftager med tiden

Sammensætningen af perkolatet fra samtlige produkter synes således efter gennemstrømning af en vis vandmængde, for eksempel svarende til $L/S = 2-5$, (som ved deponering svarer til en vis årrække) gradvist at ændre sig fra at være stærkt problematisk til at være næsten harmløst i miljømæssig henseende. Det nødvendige tidsforløb, som kan være meget langt, vil afhænge af de lokale forhold. Denne ekstrapolation af resultater opnået i laboratoriet forudsætter, at den anvendte udvaskningsmetode i rimelig grad simulerer forholdene under deponering og tager ikke hensyn til eventuelle forvitringsprocesser og mineralomdannelser.

Udvaskningsforhold på langt sigt

På grund af restproduktets komplicerede sammensætning er det vanskeligt at forudsige, om nogle af de sporelementer (f.eks. As, Hg, Sn og størstedelen af indholdet af Cd, Cu og Cr), som ikke er blevet udvasket ved forsøgene, på længere sigt og under ændrede forhold vil kunne udvaskes fra restprodukterne efter deponering. Den karbonatisering, som formentlig vil ske, må forventes at medføre forholdsvis stabile pH-forhold (8-10), hvilket næppe vil forøge mobiliteten af sporelementerne (dog med As som en mulig undtagelse). For de våde produkters vedkommende vil udvaskningsforholdene på længere sigt bl.a. kunne afhænge af stabiliteten af de anvendte sulfidforbindelser.

Udvaskningsmetodens reproducerbarhed

Som det fremgår af tabel 4.1 er der for stort set alle parametre rimelig god overensstemmelse mellem de totale udvaskede stofmængder fra de tre parallelle udvaskningsforsøg for $L/S = 0 - 25 \text{ l/kg}$. For enkelte parametre, herunder især Pb, men også Cd og i nogen grad Cu, ses det imidlertid af tabellen og Bilag 3, at der er væsentlige forskelle på udvaskningsforløbene under kolonneforsøgene. Ved de efterfølgende batchforsøg udlignes størstedelen af de opståede forskelle, således at de totale udvaskede stofmængder i alle tre tilfælde er af samme størrelsesorden.

Påvirkning af udvaskningsforholdene

Til de forhold, som kunne tænkes at påvirke udvaskningsforholdene for bly (og andre tungmetaller), hører blandt andet:

- Strømningsforholdene i kolonnerne
- pH og kloridkoncentrationen i porevand og perkolat
- Ionstyrken i porevand og perkolat
- Redoxforholdene i kolonnerne
- Tilstedeværelse af karbonat

- Tilstedeværelse af organiske forbindelser
- Tilstedeværelse af overfladeaktive stoffer
- Mineralomdannende processer i kolonnematerialet

Ensartede strømningsforhold

Årsagen til forskellene synes ikke at være forskelle i strømningsforholdene i kolonnerne, da udvaskningsforløbene for saltene, som det fremgår af Bilag 3, stort set er ens.

Under de givne forhold påvirkes opløseligheden og udvaskningen af Pb især af pH (opløseligheden vokser voldsomt ved pH større end ca. 10.5 - 11), kloridkoncentrationen og ionstyrken (ved høje kloridkoncentrationer dannes der forholdsvis stabile, opløselige kompleksforbindelser af bly og klorid, ligesom en forøgelse af ionstyrken forårsaget af højt saltindhold kan forventes at forøge opløseligheden af bly). Af Bilag 3 fremgår det, at såvel pH-forholdene som kloridkoncentrationerne er ret ens for de tre kolonneudvaskningsforløb og ikke synes at kunne betinge de konstaterede forskelle.

Redox-forhold

En anden faktor af potentiel betydning for opløseligheden og udvaskningen af bly m.v. er redox-potentialet. Hvis der opstår reducerende forhold, kan der dannes forbindelser, f.eks. sulfider, som kan reducere opløseligheden af bly. Forløbet af blyudvaskningen, herunder det faktum, at det "manglende" bly stort set er blevet udvasket under de efterfølgende rysteforsøg, kan tyde på, at dette restprodukt har været meget følsomt overfor ændringer i redoxforholdene, som er vanskelige at kontrollere, med mindre forsøget udføres i en inert atmosfære.

Karbonatisering

Både bly- og kadmiumkarbonat er meget tungtopløseligt. De tre ens kolonner blev ligesom de øvrige først mættet med vand og dernæst efterladt en måned før gennemstrømningen med vand påbegyndtes. Formålet var at undgå at opsamle et perkolat, som var påvirket af eventuelle kortvarige hærdnings- og hydratiseringsreaktioner i kolonnematerialet. Kolonnerne var i denne periode åbne i toppen, og det kunne tænkes, at der var sket en uensartet karbonatisering af restproduktet i toppen af kolonnerne, hvilket igen har påvirket især startkoncentrationerne af bly (og kadmium) uens.

Andre forhold

Herudover kan forhold som hvilke forbindelser, restprodukternes blyindhold forekommer i, restprodukternes indhold af mobile organiske forbindelser (som eventuelt kan kompleksbinde og mobilisere bly) og et eventuelt indhold af overfladeaktive stoffer, hvorpå bly under visse omstændigheder kan adsorberes, tænkes at spille en rolle.

Dette udvaskningsforløb, som bl.a. er karakteriseret ved stigende koncentrationsniveau for bly ved skift fra kolonneforsøg til rysteforsøg, ses også omend i mindre målestok hos det andet semitørre produkt, KARA, på figur 4.7, men ikke hos de tørre produkter (eller det våde). Det tyder på, at lignende problemer i noget mindre målestok eksisterer for produktet fra KARA, mens det næppe er

tilfældet for tørprodukterne, som synes mindre følsomme overfor dette. Udvaskningsforløbene for bly for de tørre produkter er derfor nok mere "korrekte", end kurverne for de semitørre produkter.

På det foreliggende grundlag kan årsagen til den konstaterede følsomhed således ikke fastlægges med sikkerhed. Det er dog bemærkelsesværdigt, at netop perkolatet fra AF indeholder ca. 10 gange mere organisk materiale (NVOC) end nogen af de øvrige perkoalttyper. Dette afspejler dog ikke nogen forskel i totalindholdet af organisk stof (TOC) mellem de forskellige restprodukter, jf. tabel 2.3.

4.2 Udvaskning af polyklorerede dioxiner og furaner

*Dioxiner og furaner
udvaskes ikke*

De tre restprodukter, som havde de største indhold af dioxiner og furaner (AF (semitør), NORD (tør) og GRAAB (våd), se afsnit 2.2), er i laboratoriet blevet underkastet et batchudvaskningsforsøg med demineraliseret vand indstillet til pH = 4 med HNO₃ (L/S = 20, 23 timers kontaktid i rysteapparat). For at forhindre partikeltransport af PCDD og PCDF blev ekstrakterne filtreret gennem GFC og 0.45 µm (HA) filtre, inden de blev sendt til Studsvik til analysering for indhold af PCDD og PCDF (alle tetra- til octa-substituerede grupper samt alle 2,3,7,8-substituerede isomerer, /7/). Udvaskning, filtrering og transport gennemførtes med specialvasket glasudstyr.

Det er ikke lykkedes at påvise hverken PCDD eller PCDF i de undersøgte perkolatprøver, /7/. Detektionsgrænsene har varieret mellem 0.002 og 3 ng/kg. Grunden til, at disse stoffer ikke udvaskes fra restprodukterne, er deres ekstremt lille vandopløselighed.

Ovenstående resultater bekræfter den tidligere fremsatte antagelse, /1/, at PCDD og PCDF ikke vil være et problem i forbindelse med håndtering og bortskaffelse af perkolat fra røggasrensingsprodukter, så længe dette ikke indeholder restproduktpartikler.

5. Behandling af restprodukter

5.1 Muligheder for modificering af restprodukter

*Encitament til
behandling*

Som det fremgår af det foregående afsnit, vil der ved deponering og efterfølgende udvaskning af restprodukterne fra de tørre og semitørre røggasrensningssprocesser kunne dannes perkolat med så høje indhold af salte og tungmetaller (specielt bly), at de nødvendige miljøbeskyttende foranstaltninger, herunder håndtering og rensning af eventuelt opsamlet perkolat, kan blive teknisk komplicerede og meget ressourcekrævende. Der er derfor et betydeligt encitament til at behandle eller modificere restprodukterne, således at de kan deponeres på mere lempelige vilkår eller måske endda nyttiggøres. Nogle af de teoretiske og praktiske muligheder for håndtering og modificering af tørre og semitørre røggasrensningsprodukter er skitseret i diagrammet på figur 5.1.

På figur 5.1 er vist tre valgmuligheder: 1) Direkte deponering, 2) Deponering eller nyttiggørelse efter modifikation og 3) Deponering eller nyttiggørelse efter ekstraktion/vask og efterfølgende modifikation af det vaskede produkt.

Valgmulighed nr. 1, direkte deponering af restproduktet under iagttagelse af de nødvendige eller foreskrevne forholdsregler, svarer til gældende praksis i Danmark i dag. Fremgangsmåden har de ovenfor nævnte ulemper og skal ikke omtales yderligere i dette afsnit.

Ved valgmulighed nr. 2 foretages der en modificering af restproduktet, inden dette deponeres (eller nyttiggøres).

Cementstabilisering

Modificeringen kan bestå i en stabilisering/solidificering med cement eller et andet bindemiddel, eventuelt tilsat et hjælpemiddel (additiv). Hensigten med en stabilisering er at reducere stofudvaskningen gennem en kemisk binding og/eller en fysisk/mekanisk strukturomdannelse. Sidstnævnte kan omfatte mikroindkapsling af forureningskomponenterne, og medfører i reglen en reduceret permeabilitet og en forøget trykstyrke. Ved stabiliseringen dannes et monolitisk eller granuleret materiale, hvorved overflade/volumen-forholdet og dermed den potentielle stofdiffusion ud af materialet reduceres. Ved stabilisering af et restprodukt er der som regel tale om en kombination af kemisk fixering og mekanisk strukturomdannelse. En kemisk fixering (omdannelse til en mindre mobil form) af en forureningskomponent medfører en reduktion af den totale udvaskelige (tilgængelige) mængde af komponenten, mens en rent mekanisk stabilisering alene medfører en reduktion af udvaskningshastigheden. Dette betyder, at en stabilisering, som kun bygger på mekanisk strukturomdannelse, vil miste sin effekt, hvis det stabiliserede materiale nedknuses eller forvitrer.

Termisk stabilisering

Modificeringen af restprodukterne kan eventuelt også ske ved sintring, smeltning eller forglasning. Ved disse processer udsættes restprodukterne for temperaturer på op til 2000°C, eventuelt efter tilsætning af hjælpestoffer. Resultatet bliver et sten- eller glasagtigt produkt, ofte på granulatform og ofte med stor tæthed. De fleste af disse processer er fortrinsvis udviklet til behandling af slagger og/eller flyveaske og ikke afprøvet på røggasrensningssystemer, se f.eks. /1/. De stabiliserede produkter afgiver ved korttidsudvaskningstest meget lidt stof, /12/, /13/, /14/, /15/. Dette skyldes ikke alene det stabiliserede materiales tæthed, men også at der er fjernet en del sporelementer og salte fra produktet, idet der ved de processer, som forløber ved høje temperaturer (smeltning og vitrifikation) forekommer yderligere to delstrømme (som for flyveaske typisk hver udgør ca. 10 % (w/w) af massestrømmen): én strøm bestående af fordampede metaller, som kondenseres og opsamles og én strøm af sure gasser (HCl, HF, SO₂), som endnu en gang må opsamles i et røggasrensningssystem.

Vask

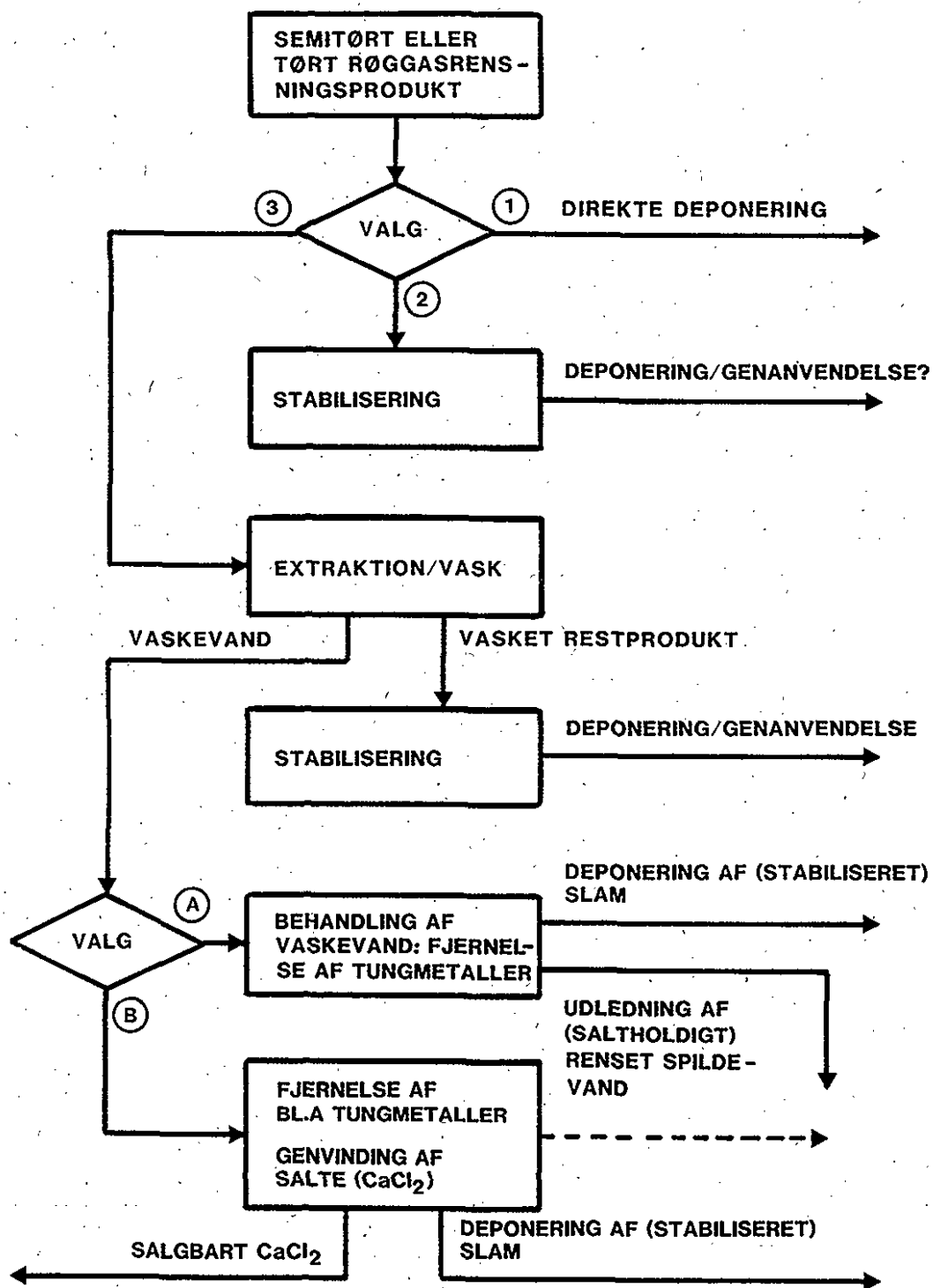
Ved valgmulighed nr. 3 på figur 5.1 foretages en vask eller ekstraktion af restproduktet, som derefter kan stabiliseres på samme måde som beskrevet ovenfor.

Ved vaskningen fjernes de letopløselige salte, som jo udgør 21 - 35 % af materialet, samt en del af sporelementindholdet. Dette skulle give et materiale, som kan stabiliseres mere effektivt end udgangsmaterialet, /16/. Det stabiliserede materiale må deponeres, men kunne måske på længere sigt nyttiggøres.

Spildevand eller ressource ?

Hvad vaskevandet angår, kan man vælge at betragte det som spildevand eller som en potentiel ressource. Hvis det udledes som spildevand, vil det i reglen først skulle underkastes en pH-justering og en fældning med f.eks. TMT-15 og polyelektrolyt til fjernelse af tungmetaller, svarende til behandlingen af spildevandet fra den våde proces, se /1/. Slammet kan deponeres/stabiliseres sammen med det vaskede produkt, mens det saltholdige spildevand må udledes til en recipient. Alternativt kunne man forsøge at udvinde og oparbejde vaskevandets store indhold af kalciumklorid med henblik på en nyttiggørelse. Der er igangsat en dansk undersøgelse af mulighederne herfor, /6/.

Slammet fra den våde proces kan, hvis det blandes med flyveasken, eventuelt yderligere stabiliseres med ca. 20 % (w/w) cement, se f.eks. /1/.



Figur 5.1

Oversigt over nogle behandlingsmuligheder for tørre/semitørre restprodukter.

5.2 Stabilisering af restprodukter i praksis

Svært at få overblik

Det er vanskeligt at opnå et klart overblik over status quo vedrørende stabilisering af røggasrensningsprodukter fra affaldsforbrændingsanlæg. Dette skyldes dels, at udviklingen p.t. går hurtigt og er ret uensartet, selv indenfor samme land, dels at mange firmaer af konkurrencehensyn er tilbageholdende med reel information om specialudviklede processer. Samtidig er det heller ikke altid klart, på hvilket teknisk udviklingstrin, de forskellige processer befinder sig. Mange af de stabiliseringsprocesser, som omtales i litteraturen, er fortsat, ihvertfald for røggasrensningsprodukternes vedkommende, på pilot- eller storskalaforsøgsniveau. I det følgende skal refereres nogle oplysninger om nogle få stabiliseringsprocesser.

1 m³ blokke

Ved den tyske NUKEM-proces, /27/, fremstilles 1 m³ blokke af tørt/semitørt restprodukt stabiliseret med cement og et additiv. Produktet hævdes at have gode styrke- og permeabilitetsegenskaber ($k < 10^{-9}$ m/s) og at reducere udvaskningen af Cd, Ni og Pb effektivt. Derimod reduceres kloridudvaskningen ikke væsentligt. Der gives ingen oplysninger om blandingsforholdet mellem restprodukt, cement og additiv. Processen er afprøvet i teknisk målestok, men anvendes p.t. ikke kommercielt.

Stabilisering med cement og kulaske

I Nordrhein-Westfalen i Vesttyskland har man planlagt en deponering af tørt/semitørt restprodukt stabiliseret med 28 % (w/w) aske fra fluid bed forbrænding af stenkul og 22 % (w/w) cement. Vandtilsætningen udgjorde 42 % (w/w) af tørstofmængden, /17/, /18/, /19/. Deponiet, som skal kunne rumme 50.000 tons røggasrensningsprodukt per år i 20 år, er udstyret med bundmembran, og eventuelt opsamlet perkolat (som man p.g.a. en lav permeabilitet ($< 10^{-9}$ m/s) ikke mener, man vil få meget af) forventes anvendt i stabiliseringsprocessen. Laboratorieforsøg udført på det stabiliserede materiale fortolkes således, at man forventer et betydeligt kloridindhold, men neglige indhold af Pb, Cd og Cu i et eventuelt perkolat.

I /20/ refereres det synspunkt, at stabilisering af røggasrensningsprodukter med cement (25-30 % (w/w)) og additiver (f.eks. op til 4 % (w/w) calciumhydroxid - måske især ved vådprodukter) samt 20-25 % (w/w) vand kan give et deponeringsegnet produkt. Omkostningerne skønnes i Tyskland at udgøre 200-250 DM (1989) per ton restprodukt (svarende til 770-960 danske kr) til stabiliseringen og yderligere 200-250 DM til transport og deponering, /20/. I Tyskland sker der, såvidt vides, endnu ikke nogen rutinemæssig anvendelse af cementstabilisering af tørre/semitørre restprodukter i teknisk skala, /26/.

Vask og cement-stabilisering

Det schweiziske firma Sulzer tilbyder en proces, hvor 1 ton semitørt (eller tørt) røggasrensningsprodukt ekstraheres og vaskes med 3,6 m³ vand, hvorefter 0,8 t vasket restprodukt indeholdende 0,8 m³ vand stabiliseres med 0,4 tons Portlandcement og deponeres. Ekstraktet, som er stærkt saltholdigt, renses for tungmetaller ved kemisk

fældning (bl.a. med TMT-15) og ledes ud, /21/. Der refereres udvaskningsresultater for Pb, Cd og Zn for stabiliseret materiale, som overholder de schweiziske grænseværdier for deponering af materialet i et restproduktdeponi, se f.eks. /1/. I /21/ angives følgende ressourceforbrug til driften, beregnet per ton røggasrensingsprodukt:

Elektrisk energi	80	kWh	
Styreluft	20	Nm ³	
Procesluft	250	Nm ³	
Procesvand	3,6	m ³	
Portland cement	400	kg	
(Kalciumhydroxid	op til	60	kg)
(Natronlud, 30 %		120	kg)
Jernklorid		1	kg
Polyelektrolyt, 0,1 %		3	kg
TMT-15		0,4	kg

Der er i øjeblikket flere anlæg af denne type under konstruktion i Schweiz, men så vidt vides kun til behandling af flyveaske, /22/.

*Stabilisering med
40 % bindemiddel
i Sverige*

På det svenske affaldsforbrændingsanlæg Högdalen ved Stockholm, som producerer tørt røggasrensingsprodukt (og hvor der af hensyn til fjernelsen af Hg fra røggassen doseres natriumsulfid sammen med kalken), stabiliseres restproduktet med ca. 40 % (w/w) af et ikke-cementisk, uorganisk bindemiddel, som er udviklet af Cementa AB, og som kaldes Monofill Activator. Cementa sælger ikke produktet direkte, men påtager sig at styre stabiliseringsprocessen, som kræver konstant overvågning, bl.a. af ændringerne i restproduktets kloridindhold, som medfører justeringer i doseringen af bindemiddel. Det stabiliserede produkt, som er tilsat over 100 % (w/w) vand, udstøbes på en losseplads 17 km fra forbrændingsanlægget. Lossepladsen er ikke udstyret med nogen egentlig bundmembran, men er placeret oven på et naturligt lerlag, og der er faciliteter til opsamling af drænvand og overfladeafstrømmende vand. Egentlige måleresultater er endnu ikke tilgængelige (et forskningsprojekt finansieret af Reforsk forventes afsluttet i sommeren 1991), men produktet anføres at have lav permeabilitet ($< 10^{-9}$ m/s) og at have reduceret blykoncentrationerne i perkolat/overfladeafstrømmet vand fra 1,5 g/l ved ustabiliseret restprodukt til 0,15 mg/l ved et forsøgsdeponi, /23/.

Ca. 1000 kr./ton

Omkostningerne ved stabiliseringen og deponeringen ved Högdalen angives at være 1000 svenske kr (ca. 1060 danske kr, 1991), inklusive transport og afskrivninger over 10 år.

*Cement ikke
velegnet*

Fra Cementas side anføres det, at man ikke mener, at cement er velegnet til stabilisering af tørre/semitørre restprodukter, idet det stabiliserede materiale ikke er holdbart på længere sigt, /23/.

En helt aktuel hollandsk sammenligning af en række sintrings-, smelte- og vitrifikationsprocesser viser, at kun en enkelt af disse (SOLUR) har været afprøvet på røggasrensingsprodukter. Om-

kostningerne er store, 800 - 1000 Hf (2700-3400 danske kr, 1991) per ton restprodukt (flyveaske), /24/.

Sintringsproces

En termisk proces, det schweiziske firma Entso Tech AGs såkaldte ECOSTA - system, der er baseret på et japansk patent, skiller sig ud fra de øvrige, idet den opererer ved meget lavere temperaturer, end de andre. Til 1 ton restprodukt tilsættes 50-100 kg additiv (som hævdes bl.a. at indeholde ceolit og humussyre). Efter grundig blanding opvarmes materialet til 300 - 500 °C, hvorved der dannes et hårdt, delvis glasagtigt granulat. Der foreligger p.t ikke udvaskningsresultater for røggasrensningsprodukter stabiliseret på denne måde, og processen benyttes så vidt vides ikke kommercielt til behandling af røggasrensningsprodukter, /22/, /25/.

6. Stabiliseringsforsøg

6.1 Formål og omfang

Formål

Der er gennemført en undersøgelse af mulighederne for at reducere stofudvaskningen fra de tørre og semitørre restprodukter fra røggasrensning på danske forbrændingsanlæg ved stabilisering/solidificering med cement, vand og andre tilsætningsstoffer. Formålet har været at undersøge og sammenligne effekten af at stabilisere alle de fire tørre og semitørre restprodukter (dog primært AF og NORD) ved anvendelse af forskellige tilsætningsstoffer og forskellige cementdoseringer, samt at vurdere effekten af at udvaske letopløselige salte (klorider m.v.) af restprodukterne, inden de stabiliseres. Der er derfor gennemført stabiliseringsforsøg med restprodukterne på tør form og med det materiale, som blev udtaget fra kolonnerne efter at kolonneudvaskningsforsøgene var afsluttet.

Ingen optimering

Hensigten har været at opnå et indtryk af stabiliseringsmulighederne, som kan danne baggrund for en vurdering af konsekvenserne af at deponere de stabiliserede restprodukter under forskellige forhold. Der er således ikke foretaget en egentlig optimering af doseringen af cement og andre additiver.

Højest 40% cement

Da udgifterne til cement og andre stabiliseringsmidler kan være betydelige, og da stort set enhver tilsætning af additiver til restprodukterne vil øge det nødvendige deponeringsvolumen, har det været et overordnet princip, at røggasrensningsprodukterne skulle udgøre mindst 60% (w/w) (og helst mere) af tørstoffet i det stabiliserede produkt. Princippet er fraveget i enkelte tilfælde, hvor det afprøvede additiv selv har været et restprodukt, som måske alligevel skulle deponeres. De 60% er valgt, fordi stabiliseringen af tørprodukt som nævnt ovenfor f.eks. i Sverige gennemføres i praksis med tilsætning af 40% bindemiddel, tilsyneladende med tilfredsstillende resultat.

Bly som indikator

Ved vurderingen af de forskellige stabiliseringsmetoders effektivitet er der primært lagt vægt på deres evne til at reducere udvaskningen af bly (vurderet på grundlag af tankudvaskningsforsøg med prøvelegemer af stabiliserede restprodukter). Argumentet herfor er, at bly er en så dominerende (potentiell) forureningsfaktor, at en stabiliseringsmetode, som ikke kan reducere blyudvaskningen til et efter omstændighederne tilfredsstillende niveau, ikke vil være aktuel for disse røggasrensningsprodukter. Herudover er der foretaget en vurdering af prøvelegemernes integritet ved nedsenkning i vand: Tankforsøg med prøvelegemer, som er gået i stykker eller begyndt at smuldre, er straks blevet stoppet. Endelig er den mekaniske styrke af en række prøvelegemer, herunder dem, der bedst reducerer blyudvaskningen, blevet testet ved bestemmelse af enaksede trykstyrker.

6.2 Oversigt over anvendte stabiliseringsmidler

Det er valgt at anvende følgende stabiliseringsmidler:

- Lavalkali Sulfatbestandig Cement (20, 30 og 40 % (w/w))
- Cement + natriummetasilikat (vandglas, 5%)
- Cement + fosforsyre (5%)
- Kulflyveaske (med og uden cement)
- TASP (semitørt, flyveaskeholdigt afsvovlingsprodukt fra kulfyret kraftværk), med og uden cement
- Geodur (med og uden cement)
- Cement + knust forbrændingsslagge (uden og med Geodur)

Der er tilsat vand ved alle stabiliseringerne, og der er også fremstillet prøvelegemer ved tilsætning af vand alene.

*Vandindhold angivet
i procent af tørstof-
indhold*

Det skal bemærkes, at vandindholdet er angivet i % (w/w) af tørstofindholdet, således at tørstofindholdet (restprodukt + cement) = 100 % (w/w). Hvor der er tilsat kulflyveaske, TASP eller slagge, indregnes disse i restproduktmængden og tørstofindholdet.

Vand

Vand er nødvendigt for at de tilstræbte stabiliseringsreaktioner kan forløbe, og der er tilsat vand i varierende mængder ved samtlige forsøg. De tilsatte vandmængder kan deles i to hovedgrupper, "lidt vand" og "meget vand". Tilsætningen af "lidt vand" (30 -40% (w/w)) svarer til de ved proctorforsøgene fundne optimale vandindhold (tabel 2.4) og kan forventes at give de største tørrumvægte. Til gengæld kan dette vandindhold være utilstrækkeligt til at alle de kemiske reaktioner kan forløbe fuldt ud, og der kan forventes høje koncentrationer af bl.a. klorid i porevandet. Tilsætningen af "meget vand" (50 - 70 % (w/w)) medfører, at de kemiske reaktioner kan forløbe og kan muligvis give lidt lavere kloridindhold i porevandet (det afhænger bl.a. af forholdet mellem porevandsmængden og totalindholdet af klorid i produktet) eller i det mindste sikre, at størstedelen af kloriden fra starten er opløst i porevandet (hvilket må forventes at give mindre risiko for mekanisk ustabilitet som følge af saltudvaskning på længere sigt). På den anden side vil det store vandindhold forhindre en effektiv kompaktering og medføre en lav tørrumvægt, d.v.s. et større deponeringsvolumen. De stabiliseringsblandinger, hvori udvasket restprodukt fra kolonneforsøgene indgår, har vandindhold på helt op til 117 % (w/w). For cement aftager trykstyrken generelt med voksende vand/cement - forhold, men sammensætningen af de cementstabiliserede blandinger er så

*Klorid i
porevandet*

kompliserede og andre faktorer har så stor betydning, at det er tvivlsomt om denne relation vil være gældende.

Lavalkali sulfatbestandig Cement

Cement er det oftest benyttede bindemiddel ved stabilisering af forskellige former for restprodukter, herunder røggasrensningsprodukter fra affaldsforbrændingsanlæg. Porevandet vil have et højt indhold af salte, herunder sulfat, og det er derfor valgt at benytte Lavalkali Sulfatbestandig Cement med betegnelsen PC(A/HS/EA/G) ved alle stabiliseringsforsøgene. Der er udført forsøg med tilsætning af 20, 30 og 40 % (w/w) cement. I de tilfælde, hvor cementen er tilsat sammen med andre materialer eller additiver, er der stort set altid brugt 20 % (w/w) cement.

20-40% cement

Cement + natriummetasilikat

Silikater på pulver- eller væskeform er kendte for at kunne øge tætheden i en cementmatrice og for at kunne binde kationer kemisk ved indbygning i matricen. Da det er lettere at opnå en god iblanding af en væske end af et pulver, er det valgt at tilsætte silikat på væskeform som natriummetasilikat (vandglas). Der er tilsat 5 % (w/w) af restprodukt- og cementmængden, beregnet som Na_2SiO_3 . Der er udført forsøg med tilsætning af vandglas både med AF, AF (kolonnenmateriale) og NORD: (80 % (w/w) AF + 20 % (w/w) cement), (80 % (w/w) AF/KOL + 20 % (w/w) cement) og (80 % (w/w) NORD + 20 % (w/w) cement).

5% vandglas

Cement + fosforsyre

Det kemiske miljø, som vil eksistere i en blanding af tørt/semitørt restprodukt, cement og vand kan, hvis der tilsættes fosfat, forventes at favorisere dannelsen af den meget tungtopløselige blyforbindelse klorpyromorfit, $\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$. Dette ville kunne reducere blyudvaskningen drastisk. Andre tungmetaller, f.eks. Cd, danner ikke i samme grad tungtopløselige fosfater (under alkaliske forhold vil derimod CdSiO_3 være ret tungtopløseligt). En fare ved tilsætning af fosfat kunne tænkes at være dannelse af kalciumfosfat, som kunne binde noget af den kalcium, som burde indgå i cementmatricen. Konsekvensen kunne være en ødelæggelse af det stabiliserede materiales styrke. Det kan nævnes, at Wheelabrator Environmental Systems har taget patent på behandling af affaldsforbrændingsaske med opløselige fosfater, /28/. Ved stabiliseringsforsøget, som udførtes med AF (80 % (w/w) AF + 20 % (w/w) cement) er der tilsat 5 % (w/w) fosforsyre sammen med vandet (60 % (w/w)).

Klorpyromorfit

5% fosforsyre

Kulflyveaske (med og uden cement)

Mange kulflyveasker har puzzolane egenskaber ligesom cement, men indeholder mindre alkalisk materiale, og kunne derfor ved opblanding med røggasrensningsprodukt og vand (samt eventuelt en mindre mængde cement) i et passende forhold tænkes at kunne forbruge en større eller mindre del af den frie kalk i produktet, hvilket gennem en sænkning af pH i porevandet kunne reducere opløseligheden af bl.a. bly og zink. Formålet er således dels at erstatte (en del af)

30-40% kulflyveaske

cementen med et billigere produkt, kulflyveaske, dels at opnå et lavere pH i porevandet. Der er udført stabiliseringsforsøg med kulflyveaske fra Amagerværket, hvor kulflyveasken har udgjort 40 % (w/w) af faststoffet (60 % (w/w) AF, ingen cement) og 30 % af faststoffet (60 % (w/w) AF og 10 % (w/w) cement). Endvidere er der udført forsøg på stabilisering af AF, KARA, NORD og REFA med flyveaske fra Studstrupværket.

40-50% TASP

Tørabsorptionsprodukt (TASP) fra kulfyret kraftværk

TASP er det flyveaskeholdige restprodukt fra røggasafsvovlingen med den semitørre proces på kulfyrede kraftværker. Produktet har, ligesom kulflyveasken selv, ofte cementlignende puzzolane effekter. Da TASP samtidig er et affaldsprodukt, som det endnu ikke er lykkedes at finde tilstrækkelige anvendelsesområder for, vil det i givet fald være gratis eller billigt til rådighed. Undersøgelsen har derfor omfattet forsøg på stabilisering af AF med TASP fra Studstrupværket indeholdende 28 % (w/w) kulflyveaske, uden og med tilsætning af cement: (50 % (w/w) AF + 50 % (w/w) TASP) og (40 % (w/w) AF + 40 % (w/w) TASP + 20 % (w/w) cement).

Geodur

Det er blevet hævdet, at det kommercielle additiv Geodur, hvis sammensætning af konkurrencehensyn ikke er oplyst, kunne have en gunstig indflydelse på stabiliseringsprocessen. Geodur synes at have en begrænset reducerende effekt på udvaskningen af bl.a. Cd og Cu fra cementstabiliserede blandinger af slagger og flyveaske fra affaldsforbrændingsanlæg, især ved lave cementindhold /29/. Stabilisering af dette materiale er dog langt mindre problematisk end stabilisering af røggasrensingsprodukter. Med henblik på at få belyst, om Geodur har nogen effekt på stabiliseringen af røggasrensingsprodukter (forbedrede stabilitets- eller udvaskningsegenskaber eller mulighed for cementbesparelser), er en del stabiliseringsforsøg gennemført både uden og med tilsætning af Geodur. Der er i alle tilfælde tilsat 2 % (w/w) af den modtagne 1 % (w/w) Geoduropløsning.

2% Geoduropløsning

Forbrændingsslagger + cement

Forbrændingsslagger er i sig selv et affaldsprodukt, som trods øget nyttiggørelse i reglen vil være til rådighed i rigelige mængder på de steder, hvor der produceres røggasrensingsprodukter. Iblanding af slagger kunne tænkes at tilføre det stabiliserede materiale både mekanisk styrke/struktur og kemisk binding (via indholdet af aluminiumsilikater) samt via fortyndingseffekten måske en mere gunstig porevandssammensætning. De anvendte slagger var nedknust til < ca. 5 mm. Stabiliseringsforsøgene er udført med følgende blanding: (45% (w/w) AF + 40% slagger + 15% (w/w) cement), uden og med tilsætning af Geodur.

40% slagger

6.3 Fremgangsmåde

6.3.1 Fremstilling af prøvelegemer

*Indstampning
eller støbning*

Prøverne blev blandet i en lille bordmaskine (blender) eller en større laboratorieblandemaskine, og prøvelegemerne støbtes i kraftige PVC/acrylplast forme. Ved lave vandindhold blev prøvelegemerne indstampet med et arbejde, som for de rene restproduktprøver med optimalt vandindhold medførte tørrumvægte svarende til de ved Standard Proctor forsøgene fundne. Ved høje vandindhold er materialet efter blanding hældt ned i formene og stampet ganske let. Alle forme var cylindriske med diameter = 5 cm. Der støbtes et antal prøvelegemer med højderne 2,5 cm og 5,0 cm til anvendelse ved tankudvaskningsforsøgene, og med højden 10 cm til bestemmelse af enakset trykstyrke. Prøvelegemerne blev taget ud af formene så snart, de kunne stå alene, og opbevarede efter opmåling og vejning i lufttætte plastposer ved 20 °C, indtil de blev anvendt. Yderligere detaljer vedrørende fremstilling, sammensætning og egenskaber af prøvelegemerne er beskrevet i Bilag 5.

I tabel 6.1a og 6.1b ses en samlet oversigt over de udførte stabiliseringsforsøg.

6.3.2 Testning af stabiliseringens effektivitet

Tørrumvægt

I forbindelse med fremstillingen af prøvelegemerne er tørrumvægten af hver enkelt prøve blevet bestemt på grundlag af opmåling og vejning af den våde prøve (vandindholdet er beregnet som tilsat vandmængde). Tørrumvægten fastlægger sammen med det procentvise indhold af restprodukt i de enkelte støbninger det nødvendige deponeringsvolumen for en given mængde restprodukt.

Trykstyrke

Enakset trykstyrke

På en række prøvelegemer (diameter = 5 cm, højde = 10 cm) er der foretaget bestemmelse af enakset trykstyrke efter 28 døgns hærdning. Prøvelegemerne til trykstyrkebestemmelse er blandt andet udvalgt på grundlag af deres evne til at reducere blyudvaskningen i tankforsøgene. Med en enkelt undtagelse er der ikke foretaget trykstyrkebestemmelser på prøvelegemer, som umiddelbart fremtrådte som "bløde", eller som viste tegn på revnedannelse eller smuldring under tankudvaskningsforsøgene. Ved en stabilisering, som involverer puzzolane reaktioner, vil man forvente en forøgelse af trykstyrken (og en sænkning af permeabiliteten) med fremadskridende reaktion.

Mineralsammensætning (XRD-analyser)

Nogle enkelte prøvelegemer, heriblandt støbningerne 5, 7, 22 og 24 (se tabel 6.1), som omfatter semitørt restprodukt fra Amagerforbrænding, AF, med 20 og 40 % cement og 40 og 50/55 % vand, er blevet underkastet røntgendiffraktionsanalyser (XRD) på Institut for Mineralindustri, DTH, efter 2 - 3 ugers hærdning og igen efter yderligere ca. 4 uger. Formålet var at undersøge, om og i givet fald

med hvilken hastighed der forekommer puzzolane reaktioner mellem cementen og restprodukterne (hvilket giver anledning til dannelse af nogle specifikke krystallinske mineraler, som f.eks. ettringit).

pH-sænkning med kulflyveaske

De oprindeligt planlagte forsøg med stabilisering med kulflyveaske er endvidere blevet suppleret med 4 forsøg (et med hvert af de fire tørre/semitørre restprodukter, dog to med NORD, støbningerne 57, 58, 59, 60 og 61, se tabel 6.1 og Bilag 6), hvor der er tilsat kulflyveaske fra Studstrupværket i optimale mængder med henblik på at forbruge frit kalk og sænke pH i porevandet til under 10,5. En sådan pH-sænkning ville muligvis kunne reducere udvaskningen af bly. Prøvelegemerne blev lagret i tre uger ved hhv. 20 °C og 37 °C under regelmæssig kontrol af porevandets pH (målt i en 1 % vandig opslemning af knust prøvelegeme).

Stofudvaskning (tankudvaskningsforsøg)

De fleste af de fremstillede prøvelegemer er blevet underkastet tankudvaskningsforsøg med demineraliseret vand indstillet til pH = 4 med HNO₃ efter 14 dages (U-2 = 2 uger) og/eller 28 dages (U-4 = 4 uger) lagring ved 20 °C. Forsøgene udførtes på prøvelegemer med diameter 5 cm og højde henholdsvis 2,5 og 5,0 cm. Hvert prøvelegeme ophængtes ved hjælp af nylontråd midt i et vandvolumen på 500 ml (højde = 2,5 cm) eller 750 ml (højde = 5,0 cm) i en 900 ml polypropylenbeholder med låg. Vandet blev udskiftet med nyt vand med intervaller på 0,5 time, 5 timer, 1 døgn, 2 døgn, 4 døgn, 8 døgn, 15-18 døgn og 28-42 døgn. Det udskiftede vand blev filtreret (0,45 µm) og én del blev konserveret ved pH < 2 med HNO₃ til efterfølgende metalanalyser, mens en anden del blev analyseret for pH, ledningsevne og klorid.

Et forsøg er blevet afbrudt før tiden, hvis et prøvelegeme er begyndt at revne eller afgive synlige partikler ("drysse"). Dette er taget som et tegn på ringe holdbarhed af den pågældende støbning. På nogle støbninger er der ikke udført tankforsøg, fordi de fra starten var for usammenhængende.

De første tankudvaskningsforsøg udførtes på prøvelegemer med højde = 2,5 cm. Stofudvaskningen, herunder især udvaskningen af klorid, var imidlertid så stor, at der måtte regnes med en risiko for, at udvaskningsfronten kunne penetrere dybere end 1,25 cm ind i nogle prøvelegemerne, hvorved legemernes form og størrelse ville få indflydelse på udvaskningshastigheden efter et vist tidsforløb. Den sidste halvdel af tankforsøgene er derfor udført på prøvelegemer med højden 5,0 cm, og nogle forsøg er udført på begge typer prøvelegemer, så betydningen af dette forhold kan kontrolleres.

De fleste af de opsamlede vandfraktioner er blevet analyseret for bly, og den akkumulerede udvaskning af bly og klorid (udtrykt som vægtmængde per overfladearealenhed) over de første 7,2 døgn udvaskning (de 5 første vandfraktioner) er blevet benyttet som

*Undersøgelse efter
14 og 28 dages
lagring*

Små prøvelegemer

grundlag for sammenligning og indledende evaluering af stabiliserings effektivitet.

For klorid og bly er der for de fleste forsøgs vedkommende i Bilag 5 foretaget beregning af fluxen og de akkumulerede udvaskede mængder for hele forsøgsperioden. På vandfraktionerne fra udvalgte prøver (udvalgt som referencer eller på grund af effektiv tilbageholdelse af bly) er der desuden analyseret for kadmium, kobber og zink. Tabel 6.1 (a og b) viser en oversigt over de gennemførte støbninger og undersøgelser.

Tabel 6.1a (fortsættes)

Oversigt over fremstilling og testning af prøvelegemer af stabiliserede restprodukter.

STØB- NING	RESTPRODUKT	RØGGAS- RENS- NINGS- PROCES	BLANDINGSFORHOLD RESTPR. CEMENT VAND			XRD	TRYK- STYRKE	TANKUDVASK- NINGSFORSØG	
			% (w/w)	% (w/w)	% (w/w)			U-2	U-4
3	AF	SP	100	0	40			X	
4	AF	SP	100	0	35			X	
5	AF	SP	80	20	40	X		X	X
6	AF	SP	70	30	40	X		X	
7	AF	SP	60	40	40			X	X
8	AF (+G)	SP	80	20	37			X	
20	AF	SP	100	0	60	X		X	X
21	AF (+G)	SP	100	0	60			X	
22	AF	SP	80	20	55	X	X	X	X
23	AF	SP	70	30	55			X	
24	AF	SP	60	40	50	X	X	X	X
25	AF (+G)	SP	80	20	55			X	
48	AF (+VGLS)	SP	80	20	65		X		X
52	AF (+H3PO4)	SP	80	20	60		X		X
50	AF+KFA	SP	60+40	0	50		X		X
51	AF+KFA	SP	60+30	10	50		X		X
45	AF+TASP	SP	40+40	0	60				X
46	AF+TASP	SP	40+40	20	55		X		X
41	AF/KOLONNE	SP	80	20	87				X
42	AF/KOLONNE	SP	60	40	70				X
49	AF/KOL (+VGLS)	SP	80	20	104		X		X
55	AF+SLAGGER	SP	45+40	15	30		X		X
56	AF+SLAGGER (+G)	SP	45+40	15	30		X		X
57	AF+KFA	SP	50	50	40				
16	KARA	SP	100	0	31			X	X
17	KARA	SP	80	20	30			X	X
32	KARA	SP	100	0	50				
33	KARA	SP	80	20	50				X
43	KARA/KOLONNE	SP	80	20	70				X
44	KARA/KOLONNE	SP	60	40	60				X
59	KARA+KFA	SP	50	50	40				

KFA: Kulflyveaske

TASP: Semitørt røggasafsvovlingsprodukt fra kraftværk

+G: Tilsat GEDUR (2% af opløsning)

+VGLS: Tilsat vandglas (natriummetasilikat, 5%)

+H3PO4: Tilsat fosforsyre, 5%.

SP: Semitør proces

TP: Tørproces

U-2: Efter 2 ugers hardning

U-4: Efter 4 ugers hardning

Tabel 6.1b (fortsat)

Oversigt over fremstilling og testning af prøvelegemer af stabiliserede restprodukter.

STØB- NING	RESTPRODUKT	RØGGAS- RENS- NINGS- PROCES	BLANDINGSFORHOLD RESTPR. CEMENT VAND			XRD	TRYK- STYRKE	TANKUDVASK- NINGSFORSØG	
			%(w/w)	%(w/w)	%(w/w)			U-2	U-4
9	NORD	TP	100	0	40			X	X
10	NORD (+G)	TP	100	0	37			X	
11	NORD	TP	80	20	40			X	X
12	NORD	TP	70	30	30			X	
13	NORD	TP	60	40	30	X		X	X
14	NORD (+G)	TP	80	20	32			X	
26	NORD	TP	100	0	70				
28	NORD	TP	80	20	65		X		X
30	NORD	TP	60	40	65		X		X
47	NORD (+VGLS)	TP	80	20	70		X		X
39	NORD/KOLONNE	TP	80	20	117				X
40	NORD/KOLONNE	TP	60	40	88				X
58	NORD+KFA	TP	50	50	40				
61	NORD+KFA	TP	40	60	40				
18	REFA	TP	100	0	40			X	X
19	REFA	TP	80	20	40		X	X	X
35	REFA	TP	80	20	70				X
36	REFA/KOLONNE	TP	80	20	80				X
37	REFA/KOLONNE	TP	80	20	85				X
38	REFA/KOLONNE	TP	60	40	80				X
60	REFA+KFA	TP	30	70	40				
15	CEMENT	-	0	100	23			X	

KFA: Kulflyveaske

TASP: Semitørt røggasafsvovlingsprodukt fra kraftværk

+G: Tilsat GEODUR (2% af opløsning)

+VGLS: Tilsat vandglas (natriummetasilikat, 5%)

+H3PO4: Tilsat fosforsyre, 5%.

SP: Semitør proces

TP: Tørproces

U-2: Efter 2 ugers hardning

U-4: Efter 4 ugers hardning

6.4 Resultater

6.4.1 Trykstyrke og rumvægt

I tabel 6.2 ses resultaterne af de gennemførte trykstyrkeforsøg sammen med de tilsvarende tørrumvægte for en række prøvelegemer, som er udvalgt dels på grundlag af resultaterne af tankforsøgene (reduktion af blyudvaskningen), dels af hensyn til mulighederne for at kunne sammenligne forskellige stabiliseringsmetoder. Med enkelte undtagelser er alle trykstyrkebestemmelserne gennemsnit af to enkeltforsøg.

REFA bedst

Af tabel 6.2 ses det (støbning 22, 28 og 19), at den bedste trykstyrke med tilsætning af 20 % (w/w) cement opnås for REFA og den ringeste for NORD, mens AF er lidt bedre end NORD. Stabiliseringen af REFA giver samtidig den største tørrumvægt.

Cement og vandglas øger trykstyrken

Endvidere ses det, at en fordobling af cementindholdet fra 20 til 40 % (w/w) både for AF og NORD medfører en fordobling af trykstyrken (støbning 22, 24, 28 og 30). En tilsvarende effekt fås for AF og i noget mindre grad for NORD ved tilsætning af 5 % (w/w) vandglas (støbning 48 og 47). Tilsætningen af vandglas er lidt mindre effektiv for udvasket kolonnemateriale (AF, støbning 49) end for ikke-udvasket AF (støbning 22), muligvis på grund af det høje vandindhold i kolonnematerialet (107 % (w/w)). Tilsætning af 5 % (w/w) fosforsyre synes ikke at ændre trykstyrken før udvaskning (men tankudvaskningsforsøget med støbning 52 måtte afbrydes efter ca. 20 dages forløb, fordi prøven gik i stykker).

Tabel 6.2

Resultater af trykstyrkeforsøg samt tørrumvægte for udvalgte prøvelegemer af stabiliserede restprodukter (cylindre med højde = 10 cm og diameter = 5 cm).

STØB- NING	RESTPRODUKT	RØGGAS- RENS- NINGS- PROCES	BLANDINGSFORHOLD			HÆRDE- TID	TRYKSTYRKE	TØRRUMVÆGT
			RESTPR.	CEMENT	VAND			
			% (w/w)	% (w/w)	% (w/w)	døgn	MPa	ton/m ³
22	AF	SP	80	20	55	28	2.0	0.99
24	AF	SP	60	40	50	28	4.2	1.1
48	AF (+VGLS)	SP	80	20	65	29	4.3	1.0
52	AF (+H3PO4)	SP	80	20	60	26	2.0	1.1
50	AF+KFA	SP	60+40	0	50	27	0.2	1.0
51	AF+KFA	SP	60+30	10	50	27	1.2	1.1
46	AF+TASP	SP	40+40	20	55	28	1.8	1.1
49	AF/KOL (+VGLS)	SP	80	20	104	28	3.2	0.75
55	AF+SLAGGER	SP	45+40	15	30	28	2.6	1.5
56	AF+SLAGGER (+G)	SP	45+40	15	30	28	2.8	1.5
28	NORD	TP	80	20	65	28	1.6	
30	NORD	TP	60	40	65	28	3.2	0.96
47	NORD (+VGLS)	TP	80	20	70	29	2.2	0.95
19	REFA	TP	80	20	40	28	3.4	1.3

KFA:	Kulflyveaske	SP:	Semitør proces
TASP:	Semitørt røggasafsvovlingsprodukt fra kraftværk	TP:	Tørproces
+G:	Tilsat GEDUR (2% af opløsning)		
+VGLS:	Tilsat vandglas (natriummetasilikat, 5%)		
+H3PO4:	Tilsat fosforsyre, 5%.		

Ingen styrkeudvikling med kulflyveaske

Ingen effekt af Geodur

Tilsætning af 40 % (w/w) kulflyveaske til AF giver ingen styrkeudvikling, mens tilsætning af 30 % (w/w) kulflyveaske og 10 % (w/w) cement giver en lille styrkeudvikling og tilsætning af 40 % (w/w) TASP og 20 % (w/w) cement en lidt større styrkeudvikling (støbning 50, 51 og 46). Tilsætning af 40 % (w/w) slagge og 15 % (w/w) cement synes at give en bedre styrkeudvikling for AF end tilsætning af 20 % (w/w) cement alene (støbning 55 og 22), hvorimod tilsætning af Geodur ikke synes at have nogen signifikant effekt på styrkeudviklingen (støbning 55 og 56).

Trykstyrker på 1 MPa og derover er fuldt ud tilstrækkelige til at klare de geotekniske belastninger i forbindelse med de fleste former for deponering. Der er kun ét af de undersøgte prøvelegemer, nr. 50 (AF stabiliseret med kulflyveaske uden cement), som ikke har denne styrke. Det kan ikke umiddelbart afgøres, om og i givet fald hvordan styrken vil ændre sig med tiden, specielt når de stabiliserede restprodukt er i kontakt med vand. Faktorer som en eventuel thaumasitdannelse (se afsnit 6.4.2) og graden af kontakt med vand kan forventes at have stor indflydelse på dette.

6.4.2 XRD-analyser

Resultaterne af XRD-analyserne på cementstabiliseret AF efter 2-3 ugers hærkning og igen efter yderligere ca. 4 uger viser bl.a., at der i den mellemliggende periode ikke synes at være sket nogen væsentlig udvikling i de puzzolane reaktioner. Derimod kan XRD-analyserne tyde på, at der dannes thaumasit, $\text{CaCO}_3\text{CaSiO}_3\text{CaSO}_4 \cdot 16 \text{H}_2\text{O}$ i samtlige undersøgte prøvelegemer. Hvis dette er tilfældet og i øvrigt er et generelt fænomen, kan det vanskeliggøre eller eventuelt umuliggøre cementstabilisering af røggasrensningsprodukter. Thaumasit kan dannes under porøse, fugtige omstændigheder, hvor ettringit (som er et af de forventede produkter af cementmineraleernes reaktion med restproduktets salte) kan reagere med cementens såkaldte C-S-H-forbindelser og CO_2 eller CaCO_3 og producere stoffet. Herved nedbrydes sammenhængen i det cementstabiliserede materiale, som mister sin styrke og smuldrer, /5/. Da dette jo selvsagt kan få alvorlige konsekvenser for en deponeringsløsning baseret på cementstabilisering, bør forholdene omkring thaumasitdannelse undersøges nærmere.

Nogle af de andre mineraler, som på grundlag af XRD-undersøgelsen med større eller mindre sikkerhed kunne identificeres i det cementstabiliserede restprodukt, er vist i Bilag 4.

6.4.3 pH-sænkning ved tilsætning af kulflyveaske

Af Bilag 6 fremgår det, at der i løbet af 3 ugers henstand ved 20 °C og 37 °C ikke var sket nogen væsentlig sænkning af pH i porevandet i nogen af de kulflyveaskestabiliserede restprodukter. Et af produkterne, REFA (støbning 60), forblev endog så blødt, at det ikke kunne tages ud af formen og blev derfor ikke undersøgt. Det må konkluderes, at stabilisering af disse restprodukter med kulflyveaske som alternativ til cement ikke umiddelbart synes mulig. Det skal dog

Thaumasit

Ingen effekt

Forskellige klorid-indhold

nævnes, at det afsluttende pH konsekvent lå 0,2 - 0,7 enheder lavere i det materiale, som opbevarede ved 37 °C end i det materiale, som opbevarede ved 20 °C. Den laveste målte pH-værdi var 11,3.

Disse supplerende forsøg med kulflyveaske fra Studstrupværket blev gennemført, fordi de tidligere udførte stabiliseringsforsøg med flyveaske fra Amagerværket ikke kunne reproducere de gode resultater, som rapporteredes af Donelly og Jøns, /30/. Det viser sig dog, at de to restprodukter, som omtales i /30/, afviger betydeligt fra de her undersøgte produkter; bl.a. indeholder de kun henholdsvis 2,1 % (w/w) og 8,1 % (w/w) klorid, hvor produkterne i denne undersøgelse indeholder mellem 13 og 22 % (w/w) klorid. Dette kan være en af årsagerne til de forskellige resultater.

6.4.4 Stofudvaskning ved tankforsøg

Resultaterne af tankforsøgene med prøvelegemer efter 28 døgns hærkning er beskrevet i detaljer i Bilag 5. I tabel 6.3 (a og b) ses en oversigt over resultaterne af tankforsøgene baseret på den totale udvaskning af bly og klorid per overfladearealenhed i løbet af de første 7,2 døgn (de første 5 vandskift).

Højt pH

Som det fremgår af Bilag 5, er fluxen af både bly og klorid typisk 100 til 1000 gange mindre ved femte vandskift end ved første. Stofudvaskningen i løbet af de første fem vandskift udgør derfor et rimeligt grundlag for sammenligning af de forskellige stabiliserings-tiltag. Det kan nævnes, at alle pH - værdier i de opsamlede vandfraktioner er større end 11,0 og de fleste er større end 12,0. Det stærkt alkaliske miljø favoriserer udvaskningen af bly (og zink), og der er således ingen af de anvendte stabiliseringsrecepter, som på kortere sigt er i stand til at reducere blyudvaskningen gennem en styring (sænkning) af pH i porevandet.

Nedenstående skal der på grundlag af resultaterne i tabel 6.3 (a og b) og ved hjælp af en række mere detaljerede sammenlignende tabeller (tabel B7.1 - B7.9 i Bilag 7) gives en kort vurdering af en den indflydelse, som følgende faktorer har haft på stofudvaskningen fra de stabiliserede prøvelegemer:

- Prøvelegemernes størrelse
- Hærkningstiden
- Restprodukttypen
- Mængden af tilsat cement
- Mængden af tilsat vand
- Tilsætning af cement + natriummetasilikat
- Tilsætning af cement + fosforsyre
- Tilsætning af kulflyveaske (med og uden cement)
- Tilsætning af TASP + cement
- Tilsætning af forbrændingsslagger + cement
- Tilsætning af Geodur
- Anvendelse af forudvasket restprodukt (kolonnemateriale)

Tabel 6.3a (fortsættes)

Resultater af tankudvaskningsforsøg med prøvelegemer af stabiliserede restprodukter fra røggasrensning på affaldsforbrændingsanlæg.

STØB- NING	RESTPRODUKT	RØGGAS- RENS- NINGS- PROCES	BLANDINGSFORHOLD			HØJDE AF PRØVE- LEGEDE mm	AKKUMULERET UDVASKET		STOPMÆNGDE EFTER 7,2 DØGN	
			RESTPR.	CEMENT	VAND		Hædet 14 døg	Bly	Hædet 28 døg	Klorid
			%(w/w)	%(w/w)	%(w/w)			mg/m ²	Bly mg/m ²	g/m ²
3	AF	SP	100	0	40	25	AFBRUDT			
4	AF	SP	100	0	35	25	AFBRUDT			
5	AF	SP	80	20	40	25	870		780	870
6	AF	SP	70	30	40	25	110			
7	AF	SP	60	40	40	25	28		16	570
8	AF (+G)	SP	80	20	37	25	1200			
20	AF	SP	100	0	60	25	AFBRUDT			
21	AF (+G)	SP	100	0	60	25	AFBRUDT			
22	AF	SP	80	20	55	25	350		270	710
23	AF	SP	70	30	55	25	89			
24	AF	SP	60	40	50	25	27 *		32	540
25	AF (+G)	SP	80	20	55	25	290 *			
48	AF (+VGLS)	SP	80	20	65	50			18	830
52	AF (+H3PO4)	SP	80	20	60	50			8:1	900
50	AF+KFA	SP	60+40	0	50	50			> 38 (AFBR.)	
51	AF+KFA	SP	60+30	10	50	50			120	760
45	AF+TASP	SP	40+40	0	60	50			AFBRUDT	
46	AF+TASP	SP	40+40	20	55	50			61	500
41	AF/KOLONNE	SP	80	20	87	49			94	1.5
42	AF/KOLONNE	SP	60	40	70	49			47	0.68
49	AF/KOL (+VGLS)	SP	80	20	104	50			20	1.4
55	AF+SLAGGER	SP	45+40	15	30	50			97	670
56	AF+SLAGGER (+G)	SP	45+40	15	30	50			110	670
16	KARA	SP	100	0	31	25	AFBRUDT		26000 **	1100 **
17	KARA	SP	80	20	30	25	800		540	880
32	KARA	SP	100	0	50	25				
33	KARA	SP	80	20	50	25			310	650
43	KARA/KOLONNE	SP	80	20	70	50			130	2.2
44	KARA/KOLONNE	SP	60	40	60	50			59	1.2

KFA: Kulflyveaske

TASP: Semitært røggasafsvovlingsprodukt fra kraftværk

+G: Tilsat GEODUR (2% af opløsning)

+VGLS: Tilsat vandglas (natriummetasilikat, 5%)

+H3PO4: Tilsat fosforsyre, 5%.

SP: Semitør proces

TP: Tørproces

*): Akkumuleret udv. mængde efter 3,2 døg.

**): Forsøget afbrudt efter 15 dage p.g.a. prøvelegemet manglende stabilitet.

Tabel 6.3b (fortsat)

Resultater af tankudvaskningsforsøg med prøvelegemer af stabiliserede restprodukter fra røggasrensning på affaldsforbrændingsanlæg.

STØB- NING	RESTPRODUKT	RØGGAS- RENS- NINGS- PROCES	BLANDINGSFORHOLD			HØJDE AF PRØVE- LEGEDE mm	AKKUMULERET Hærdet 14 døg Bly mg/m ²	STOFMÆNGDE EFTER 7,2 DØGN	
			RESTPR.	CEMENT	VAND			Hærdet 28 døg Bly mg/m ²	Klorid g/m ²
			% (w/w)	% (w/w)	% (w/w)				
9	NORD	TP	100	0	40	25	AFBRUDT		
10	NORD (+G)	TP	100	0	37	25	AFBRUDT		
11	NORD	TP	80	20	40	25	1200	240	1200
12	NORD	TP	70	30	30	25	310		
13	NORD	TP	60	40	30	25	140	100	870
14	NORD (+G)	TP	80	20	32	25	1400		
26	NORD	TP	100	0	70	25	AFBRUDT		
30 A	NORD	TP	60	40	65	25		49	650
30 B	NORD	TP	60	40	65	50		100	1200
47	NORD (+VGLS)	TP	80	20	70	50		16	1200
39	NORD/KOLONNE	TP	80	20	117	50		50	2.9
40 A	NORD/KOLONNE	TP	60	40	88	25		15	1.3
40 B	NORD/KOLONNE	TP	60	40	88	50		18	1.3
18	REFA	TP	100	0	40	25	AFBRUDT		
19	REFA	TP	80	20	40	25	280	230	730
35	REFA	TP	80	20	70	25		190	580
36	REFA/KOLONNE	TP	80	20	80	50		130	2.1
37	REFA/KOLONNE	TP	80	20	85	50		130	2.9
38 A	REFA/KOLONNE	TP	60	40	80	25		35	1.3
38 B	REFA/KOLONNE	TP	60	40	80	50		41	1.3
15	CEMENT	-	0	100	23	25	IKKE MÅLELIG		

KFA: Kulflyveaske

TASP: Semitørt røggasafsvovlingsprodukt fra kraftværk

+G: Tilsat GEODUR (2% af opløsning)

+VGLS: Tilsat vandglas (natriummetasilikat, 5%)

+H3PO4: Tilsat fosforsyre, 5%.

SP: Semitør proces

TP: Tørproces

Ved store fluxværdier bør der bruges store prøvelegemer

Prøvelegemernes størrelse

Af tabel B7.1 i Bilag 7 fremgår det af et dobbeltforsøg med et lille (højde = 25 mm) og et stor (højde = 50 mm) prøvelegeme fremstillet efter samme recept (støbning 30 A og 30 B), at størrelsen af prøvelegemerne spiller en betydelig rolle ved høje fluxværdier, idet udvaskningen af både bly og klorid er ca. dobbelt så stor fra det store prøvelegeme som fra det lille. For små fluxværdier (40 A og B og 38 A og B) spiller størrelsen ingen rolle. Dette betyder, at der ved store fluxværdier skal udvises forsigtighed ved indbyrdes sammenligning af resultater for små prøvelegemer og specielt ved sammenligning mellem resultater for små og store prøvelegemer.

Længere hærdningstid giver bedre resultater

Hærdningstiden

Af tallene for blyudvaskningen fra en række prøvelegemer, som er blevet underkastet tankudvaskning efter hhv. 14 og 28 døgns hærdning ved 20 °C, fremgår det (tabel B7.2 i Bilag 7), at der generelt opnås bedre resultater (mindre blyudvaskning) efter 28 dages hærdning end efter 14 dages hærdning. Reduktionen i blyudvaskningen som følge af længere hærdning varierer mellem 10 og 80 %.

Restprodukttypen

Tabel B7.3 i Bilag 7 giver ikke noget éntydigt billede af stabiliseringseffektivitetens afhængighed af restprodukttypen. Ved 20 % (w/w) cementindhold efter 28 dages hærdning ses den laveste blyudvaskning fra NORD og REFA, mens den for 40 % (w/w) cement er væsentligt lavere for AF end for NORD. For kolonnematerialet er blyudvaskningen både ved 20 og 40 % (w/w) cementindhold mindre fra NORD end fra de øvrige. Kloridudvaskningen varierer mindre end blyudvaskningen og er generelt stor, undtagen for prøvelegemerne fremstillet af udvasket kolonnemateriale, hvor den er meget lille.

Mængden af tilsat cement

Jo mere cement, jo mindre udvaskning

Mængden af tilsat cement spiller som det fremgår af tabel B7.4 i Bilag 7 en betydelig rolle for mængden af udvasket bly og en mere begrænset rolle for udvaskningen af klorid (som ved høje kloridindhold foregår relativt uhindret på grund af den store kildestyrke). Ved forsøgene efter 14 dages hærdning var den relative blyudvaskning for restprodukterne som følger ved hhv. 20, 30 og 40 % cement (og "lavt" vandindhold): AF = 31:4:1 og NORD = 43:11:5. Da alle prøvelegemer, som kun var stabiliseret med vand, med undtagelse af KARA hurtigt faldt fra hinanden, da de anbragtes i vand, findes der kun denne ene referenceværdi for bly- og kloridudvaskning ved 0 % cement. Af tankforsøget med KARA efter 28 dages hærdning fremgår det, at blyudvaskningen kan reduceres med 98 % ved stabilisering med 20 % (w/w) cement. Kloridudvaskningen (som formentlig er stærkt påvirket af prøvelegemets størrelse) reduceres ved samme behandling kun med 20 %. Ved "små" vandindhold er de relative stofudvaskninger ved 20 og 40 % (w/w) cement for forsøgene efter 28 dages hærdning: AF = 49:1, NORD = 15:6. For materiale fra kolonneforsøgene er de tilsvarende tal: AF = 6:3,

KARA = 8:3,7, NORD = 3:1 og REFA = 8:2,6. Kloridudvaskningen, som er meget lille fra de stabiliserede kolonnematerialer, bliver ca. halveret ved forøgelse af cementmængden fra 20 til 40 % (w/w).

Mængden af tilsat vand

Af tabel B7.5 i Bilag 7 fremgår det, at en forøgelse af den tilsatte vandmængde generelt reducerer blyudvaskningen med ca. 20 - 60 %, (AF 20 % (w/w) cement, AF 30 % (w/w) cement, KARA 20 % (w/w) cement, NORD 40 % (w/w) cement, REFA 20 % (w/w) cement), dog fordobles blyudvaskningen for AF 40 % (w/w) cement ved en forøgelse af vandmængden på blot 25 %. Op til ca. 25 % af reduktionen af blyudvaskningen kan skyldes den reduktion af tørrumvægten, som det øgede vandindhold medfører. Ændringerne i tilsat vandmængde medfører ikke væsentlige ændringer i kloridudvaskningen.

Tilsætning af natriummetasilikat og fosforsyre

Som det fremgår af tabel B7.6 i Bilag 7 er der opnået særdeles gode resultater m.h.t. reduktion af blyudvaskningen fra AF, AF/KOLONNE og NORD stabiliseret med 20 % (w/w) cement ved tilsætning af natriummetasilikat og fosforsyre. For AF og NORD er reduktionen ca. 93 % og for AF/KOLONNE ca. 79 % ved tilsætning af 5 % (w/w) natriummetasilikat, mens den for AF er ca. 97 % ved tilsætning af 5 % (w/w) fosforsyre. De absolutte værdier af blyudvaskningen hører til de laveste fundne. Desværre gik det fosforsyrestabiliserede prøvelegeme på et senere tidspunkt i stykker, så forsøget måtte afbrydes. I forbindelse med en deponering er det dog ikke noget krav, at restproduktet skal være monolitisk, og da udvaskningen af andre sporelementer (Cd, Cu og Zn) fra det fosforsyrestabiliserede materiale også er meget lav (se Bilag 5), kunne metoden måske anvendes som kemisk stabilisering af et granuleret/pulverformigt materiale.

Af Bilag 5 fremgår det også, at udvaskningen af Cd, Cu og Zn fra AF stabiliseret med 20 % (w/w) cement, 60 % (w/w) vand og 5 % (w/w) natriummetasilikat er meget lav. Kloridudvaskningen synes ikke i væsentligt omfang påvirket af tilsætningen af natriummetasilikat eller fosforsyre.

Det kan ikke umiddelbart vurderes, om de reduktioner i udvaskningen af sporelementer, som er opnået ved tilsætning af fosforsyre og natriummetasilikat, vil kunne fastholdes også på langt sigt.

Tilsætning af kulflyveaske, TASP og affaldsforbrændingsslagger
Ved tilsætning af 30 % (w/w) kulflyveaske og 10 % (w/w) cement til AF opnås en blyudvaskning, som er en del højere end for AF stabiliseret med 40 % (w/w) cement, men kun det halve af blyudvaskningen fra fra AF stabiliseret med 20 % (w/w) cement, se tabel B7.7 i Bilag 7. Trykstyrken er forholdsvis ringe, og uden tilsats af cement, opnås ingen trykstyrke i materialet, se tabel 6.2. Blyudvaskningsresultaterne for AF stabiliseret med 40 % TASP og 20 %

Reduceret udvaskning af bly

Ringes effekt

cement samt 40 % forbrændingsslagger og 15 % (w/w) cement er lidt bedre end for den kulflyveaskestabiliserede prøve. Blyudvaskningen er dog for stor til, at disse stabiliseringsmetoder umiddelbart virker interessante. Kloridudvaskningen påvirkes ikke i nævneværdig grad i forhold til en ren cementstabilisering med 20 % (w/w) cement.

Ingen effekt

Tilsætning af Geodur

Af tabel B7.8 i Bilag 7 synes det at fremgå, at tilsætning af Geodur (2 % (w/w) af en udleveret 1 % opløsning) ikke har nogen signifikant indflydelse på udvaskningen af bly og klorid fra de stabiliserede prøvelegemer.

*Reduceret
udvaskning*

Anvendelse af kolonnemateriale

Stabilisering af kolonnemateriale, som er udvasket med vand ved et L/S-forhold på 2, medfører en drastisk reduktion af udvaskningen af klorid med op til 99,9 %, se tabel B7.9 i Bilag 7. For AF og KARA ses ved stabilisering med 20 % (w/w) cement en reduktion i blyudvaskningen på 60 - 70 % og for NORD ca. 80 %. Ved anvendelse af 40 % (w/w) cement kan blyudvaskningen fra NORD/KOLONNE bringes helt ned på samme niveau som blev opnået med tilsætning af natriummetasilikat.

7. Økotoksikologiske undersøgelser

For at muliggøre en vurdering af nogle af de potentielle skadevirkninger af perkolat fra deponerede røggasrensningsprodukter i forskellige situationer, er der gennemført økotoksikologiske undersøgelser af nogle af de perkolatfraktioner, som blev opsamlet under udførelsen af kolonneudvaskningsforsøgene.

Marin mikroalge

Indledningsvis er den første perkolatfraktion ($L/S = 0,0 - 0,2$) fra kolonneforsøgene med hvert af de fem restprodukter blevet underkastet en fotosyntesehæmningstest med den marine mikroalge, *Skeletonema costatum*. De første perkolatfraktioner valgtes, fordi de forventes at være de mest toksiske (se tabel 4.7), således at de opnåede resultater kan forventes at beskrive en slags "worst case" situation. Testen med *Skeletonema costatum* benyttes til at sammenligne de 5 prøvers toksicitet indbyrdes og er i øvrigt relevant for en situation, hvor perkolatet spredes i havvand.

Idet EC_{10} og EC_{50} betegner de koncentrationer af perkolat (fortyndet i vand), hvor fotosyntesen hæmmes henholdsvis 10 % (signifikansgrænse) og 50 %, er der opnået de i tabel 7.1 viste resultater (middelværdier og 95 % konfidensintervaller). Det fremgår heraf, at alle perkolaterne fra de semitørre og tørre produkter udviser signifikant hæmning ved koncentrationer på under 1 ml/l, svarende til fortyndinger på over 1000 gange. Af disse er perkolatet fra kolonneudvaskningen af tørproduktet fra Nordforbrænding (kolonne C) klart det mest toksiske med $EC_{10} = 0,020$ ml/l og $EC_{50} = 0,30$ ml/l. Vurderet på grundlag af EC_{50} -værdierne ses det, at perkolatet fra begge de tørre produkter er mere toksiske end perkolatet fra de semitørre. Toksiciteten af perkolatet fra REFA er dog af samme størrelsesorden som toksiciteten af perkolatet fra KARA. Mindst toksisk er perkolatet fra udvaskningen af vådproduktet (kolonne A), hvor $EC_{10} = 1-2$ ml/l og $EC_{50} = 50 - 100$ ml/l.

Tabel 7.1

Resultater af fotosyntesehæmningstests med perkolat fra kolonneudvaskningsforsøgene ($L/S = 0,0 - 0,2$ l/kg). Tallene angiver middelværdier og 95 % konfidensintervaller.

PRØVE	PROCES	EC_{10}	(ml prøve/l)	EC_{50}	(ml prøve/l)
AF	Semitør	0,9	(0,4 - 1,7)	26	(18 - 39)
KARA	Semitør	0,25	(0,13 - 0,44)	9,2	(6,6 - 13)
NORD	Tør	0,020	(0,008 - 0,040)	0,3	(0,22 - 0,42)
REFA	Tør	0,67	(0,55 - 0,80)	4,2	(3,9 - 4,5)
GRAAB	Våd		1 - 2		50 - 100

Perkolatprøven fra kolonneforsøget med NORD, som udviste den største hæmning af fotosyntesen hos mikroalgerne, blev derefter underkastet en slamhæmningstest og en akut toksicitetstest overfor endnu en marin organisme, den planktoniske vandloppe *Acartia tonsa*. Denne prøve blev valgt i et fortsat forsøg på at få beskrevet de mindst gunstige forhold.

Slamhæmning

Ved slamhæmningstesten, som er udført i henhold til DS 298 med aktivt slam fra Rungsted Rensningsanlæg, bestemmes hæmningen af slammets respiration og dermed dets evne til at fungere i et spildevandsrensingsanlæg ved eksponering overfor perkolatet. Ved denne test er signifikansgrænsen 20 % hæmning, og der foretages derfor bestemmelse af EC_{20} og EC_{50} . Resultaterne kan indgå i en vurdering af, hvor meget perkolatet bør fortyndes, hvis det eventuelt tilledes et biologisk spildevandsrensingsanlæg.

Efter 30 minutters eksponering fandtes $EC_{20} = 2,2$ ml/l (460 ganges fortynding) og $EC_{50} = 36$ ml/l (28 ganges fortynding). Efter 3 timers eksponering fandtes $EC_{20} = 3,2$ ml/l (310 ganges fortynding) og $EC_{50} = 49$ ml/l (20 ganges fortynding). Dette er et tegn på, at prøvens hæmmende effekt er momentan og ikke øges ved længere tids eksponering af slammet. En tilsvarende hæmningstest på en ren vandprøve tilsat NaCl viste hæmninger, der var næsten lige så store som dem der var forårsaget af perkolatprøven. Det må derfor antages, at den primære årsag til perkolatprøvens slamhæmmende virkning er det store saltindhold.

Marint plankton

Testen overfor *Acartia tonsa* kan ligesom fotosyntesehæmningstesten benyttes til at vurdere perkolatets potentielle toksicitet og eventuelle krav til fortyndingsforholdene i marine omgivelser. Det er en akut toksicitetstest, hvor antallet (procentdelen) af døde forsøgsdyr opgøres efter 24 og 48 timers eksponering. Resultatet angives som de koncentrationer (lethal concentration = LC), hvorved henholdsvis 10% (LC_{10} , signifikansgrænsen) og 50% af testorganismerne dør.

Der er fundet følgende resultater (udtrykt i middelværdier og 95% konfidensintervaller):

	24 timer	48 timer
LC_{10} ml/l	0,53 (0,31-0,71)	0,23 (- 0,48)
LC_{50} ml/l	1,1 (0,67-1,5)	0,60 (0,37-1,2)

Fotosyntesetesten med *Skeletonema costatum* er således noget mere følsom overfor det første perkolat fra tørproduktet end testen for akut toksicitet overfor *Acartia tonsa*.

De anvendte undersøgelsesmetoder er beskrevet i /31/ og /32/.

Erfaringstal

Til sammenligning med ovenstående kan det nævnes, at der ved økotoxikologisk testning af en række spildevandsstrømme fra et olieaffinaderi er fundet EC_{10} -værdier for *Skeletonema costatum* på 2-50 ml/l (svarende til nødvendige fortyndinger på 20-500 gange) og LC_{10} -værdier for *Acartia tonsa* på 80-500 ml/l (svarende til nødvendige fortyndinger på 2-13 gange). For spildevand fra en maskinfabrik / elektronikindustri er der fundet EC_{10} -værdier for *Skeletonema costatum* på 20-60 ml/l (nødvendig fortynding = 17-50 gange) og LC_{10} -værdier for *Acartia tonsa* på 30-300 ml/l (nødvendig fortynding = 3-33 gange). Ved en slamhæmningstest på urensset spildevand fra en medicinalindustri er der fundet en EC_{20} -værdi på 50 ml/l og en EC_{50} -værdi på 150 ml/l, svarende til, at der ved fortyndinger på 20 gange eller derover ikke vil være nogen signifikant hæmning af slammets respiration, /33/.

8. Deponeringsmuligheder for restprodukter

8.1 Omfang og forudsætninger

Scenarier

Med udgangspunkt i resultaterne af de gennemførte undersøgelser er der i det følgende opstillet nogle scenarier og beregningseksempler til belysning af de miljømæssige konsekvenser af at forbehandle og deponere restprodukter fra røggasrensning på forskellige måder. For hvert scenarie foretages en overslagsmæssig beregning af perkolatdannelsen og udvaskningen af klorid og bly.

Beregningerne gennemføres for de i tabel 8.1 viste restprodukter og deponeringsformer. I et af eksemplerne er der foretaget beregninger for deponering af ren flyveaske fra et forbrændingsanlæg, hvor røggasrensningen alene har bestået af partikeludskillelse i et elektrofilter.

Tabel 8.1
Oversigt over beregningseksempler.

Scenarie	Restprodukttype	Deponeringsform
1.	Tørt/semitørt produkt (TP/SP)	Indkapsles på pulverform
2A.	Tørt/semitørt produkt (TP/SP)	Deponeres på befugtet form
2B.	Vådprodukt (VP)	Deponeres iblandet flyveaske
2C.	Ren flyveaske (FA)	Deponeres på befugtet form
3.	Tørt/semitørt produkt (TP/SP)	Deponeres efter vask
4.	Tørt/semitørt produkt (TP/SP)	Deponeres efter stabilisering med 20% cement og 5% vandglas
5.	Tørt/semitørt produkt (TP/SP)	Deponeres efter vask og stabilisering med 40% cement

Det skal understreges, at der er tale om overslagsberegninger, som er behæftet med stor usikkerhed. Denne usikkerhed stammer dels fra selve udvaskningsforsøgene, dels fra de forudsætninger og simplificeringer, som er nødvendige, for at beregningerne kan gennemføres.

Hvor det er muligt, er usikkerheden søgt synliggjort ved angivelse af intervaller i stedet for enkelttal.

Generelle forudsætninger

500.000 t TP/SP

Den fremtidige danske produktion af tørre/semitørre restprodukter forventes at blive af størrelsesordenen 100.000 tons tørvægt pr år. De beregninger, som omhandler deponering af TP/SP, gennemføres for en restproduktmængde svarende til halvdelen af denne årsproduktion, d.v.s. 50.000 t/år over en deponeringsperiode på 10 år. For scenarie 2B (deponering af vådprodukt) foretages beregningen for en mængde vådprodukt (30.000 t/år), som svarer til rensning af røggassen fra forbrænding af nogenlunde samme affaldsmængde, som ville give anledning til produktion af 50.000 t TP/SP pr år. For scenarie 2C (deponering af ren flyveaske) foretages beregningen for en flyveaskemængde på 50.000 t/år deponeret over 10 år, d.v.s. samme totalmængde som i scenarie A.

I praksis ville deponierne sandsynligvis blive opbygget i sektioner, og afhængigt af opbygning og driftsform ville perkolatdannelsen ofte starte i deponeringsperioden. I mange tilfælde vil det eventuelt opsamlede perkolat i deponeringsperioden være fortyndet med overfladeafstrømmet vand og nedbør opsamlet på områder, hvor der endnu ikke er deponeret restprodukt. Ved disse beregninger antages det dog, at perkolatdannelsen først starter efter at deponiet er færdigetableret, d.v.s. efter 10 års forløb. Dette gør det lettere at sammenligne udvaskningsforholdene for de enkelte scenarier. Der regnes, ligeledes af hensyn til sammenligneligheden, med en deponeringshøjde på 10 m for alle scenarier. For samtlige scenarier med undtagelse af scenarie 1 (indkapsling) regnes med en nettoinfiltration = perkolatproduktion på 100 mm pr år. For scenarie 1 regnes med 0 mm/år.

Ekstrapolation af
laboratorieforsøg

Det bør erindres, at alle scenarierne er vurderet på grundlag af ekstrapolation af resultaterne af accelererede laboratorieforsøg, og at der ikke foreligger nogen egentlig viden om de stabiliserede produkters langtidsstabilitet.

Scenarie 1

Indkapsling

Dette scenarie beskriver indkapsling af tørt TP/SP, d.v.s. isolering af restprodukterne fra omgivelserne på en sådan måde, at der ikke kan trænge vand ind i dem og følgelig heller ikke kan dannes noget perkolat. En sådan deponeringsform vil ikke løse de miljømæssige problemer på langt sigt (på et eller andet tidspunkt i fremtiden vil indkapslingen kunne gå i stykker, og udvaskningsforløbet vil fra dette tidspunkt svare til det i scenarie 2A beskrevne). Indkapsling er derfor kun egnet til midlertidig opbevaring af restprodukter. Over en periode på 10 år vil det givetvis være muligt at hindre perkolatdannelse. Det skal bemærkes, at TP/SP er hygroskopisk og derfor muligvis skal beskyttes mod optagelse af vanddamp fra luften for ikke at ændre egenskaber.

*Deponering af
ubehandlet TP/SP*

Scenarie 2A

Dette scenarie beskriver deponering af TP/SP befugtet med 35 % (w/w) vand, svarende til et gennemsnitligt optimalt vandindhold for de undersøgte produkter, d.v.s. der kan opnås en god komprimering. Deponeringen forudsættes udført som "almindelig" deponering med en overdækning som tillader en infiltration af størrelsesordenen 100 mm/år. Udvaskningsforholdene for klorid og bly beskrives på grundlag af kolonneforsøgene med AF (gennemsnit af de tre forsøg) og med NORD, hvilket for blys vedkommende giver et meget bredt interval.

*Deponering af
ubehandlet VP*

Scenarie 2B

Dette scenarie svarer til 2A, blot med den forskel at der her deponeres en blanding af flyveaske og slam fra rensning af spildevandet fra den våde proces. Vandindholdet vil afhænge af effektiviteten af slam-afvandingen, men der er her regnet med godt 50 % (w/w). Stofudvaskningen beskrives som enkeltværdier på grundlag af kolonneforsøget med GRAAB.

*Deponering af
ubehandlet FA*

Scenarie 2C

Dette scenarie svarer ligeledes til 2A, men i dette tilfælde indeholder deponiet ingen restprodukter fra rensning af røggassen for sure luftarter, idet der til sammenligning alene deponeres flyveaske opsamlet i elektrofiltrene på et affaldsforbrændingsanlæg. Der er regnet med et vandindhold på 25 % (w/w) ved deponeringen og en tørrumvægt på 1,00 t/m³. Stofudvaskningen er beskrevet på grundlag af et tidligere udført kolonneudvaskningsforsøg med den i tabel 2.3 viste flyveaske fra Amagerforbrænding, /34/. Ved udvaskningen er der benyttet kunstigt regnvand.

*Deponering af
TP/SP efter vask*

Scenarie 3

Dette scenarie beskriver deponering af TP/SP efter fjernelse af størstedelen af kalciumkloriden og en del af de mobile tungmetaller ved vaskning. Udvaskningsforholdene for klorid er beskrevet på grundlag af kolonneforsøgene (fraktionen L/S = 2 - 5 l/kg) med restprodukterne AF (middelværdi), REFA og NORD, således at henholdsvis største og mindste målte udvaskning er repræsenteret. For bly er udvaskningsforholdene beskrevet på grundlag af kolonneforsøget med NORD, hvorfra blyudvaskningen var størst og mest effektiv, hvilket skønnes mest realistisk at repræsentere en situation, hvor restproduktet ekstraheres med henblik på fjernelse af tungmetaller. Vandindholdet vil afhænge af afvandsprocessen (hverken stofudvaskning eller afvanding har været optimeret i dette projekt), men der regnes her med et vandindhold på 100 % (w/w) efter bortvaskning af 25 % (w/w) af tørstofindholdet. Vaskevandet vil skulle renses/behandles, evt. i forbindelse med indvinding og nyttiggørelse af kalciumkloriden.

Scenarie 4

Dette scenarie beskriver deponering af TP/SP, stabiliseret med 20 % (w/w) sulfatresistent lavalkali cement og 5 % (w/w) natriummetasili-

*Deponering af
TP/SP efter
stabilisering
med vandglas*

kat (vandglas). Der er regnet med tilsætning af 65 % (w/w) vand. Stofudvaskningen er beregnet på grundlag af tankudvaskningsforsøg nr 47 (NORD), hvorfra der for klorid og bly fås en stofflux (angivet i mg/m^2) som funktion af tiden. En overførsel af laboratorieresultaterne til en deponeringssituation nødvendiggør nogle antagelser vedrørende den del af deponiets overfladeareal, som deltager i stoftransporten. Disse antagelser er af afgørende betydning for størrelsen af den beregnede stoftransport (som er ligefrem proportional med det aktive overfladeareal). Der foretages for dette scenarie en beregning af stoftransporten for to arealværdier svarende til henholdsvis én og to gange deponiets overfladeareal, idet det antages, at det stabiliserede restprodukt udstøbes på stedet. Hermed tages der ikke specielt hensyn til et eventuelt forøget overfladeareal som følge af smuldring eller revnedannelse. Til gengæld kompenseres der for det faktum, at kontakten mellem overfladeafstrømmende nedbør og deponioverfladen vil være langt mindre end kontakten mellem prøvelegemer og vand i tankforsøgene. Det bemærkes, at en antagelse af deponering af det stabiliserede restprodukt som 1 m^3 blokke med kontinuerlig kontakt med af- eller gennemstrømmende vand vil føre til beregning af stofudvaskningstal, som er 30 - 60 gange større end de her anførte.

Scenarie 5

*Deponering af
TP/SP efter
vask og ce-
mentstabilis-
ering*

Dette scenarie beskriver deponering af TP/SP med 40 % (w/w) sulfatbestandig lavalkali cement efter fjernelse af ca. 25 % (w/w) af tørstofindholdet (fortrinsvis kalciumklorid) ved vaskning med vand. Beskrivelsen af stofudvaskningen er baseret på resultaterne af tankforsøg nr. 40B (NORD). Ligesom i det undersøgte prøvelegeme er der her regnet med et vandindhold på 88 % (w/w), men dette vil formentlig kunne formindskes noget ved en optimering af afvandingsprocessen. Forudsætningerne for de gennemførte stofudvaskningsberegninger svarer i øvrigt til de under scenarie 4 nævnte.

I tabel 8.2 ses de deponerede restproduktmængder både på tør og våd basis, mens der i tabel 8.3 for hvert scenarie er foretaget beregning af deponeringsvolumen, deponeringsareal (for en deponihøjde på 10 m) samt den årlige perkolatproduktion svarende til en infiltration på 100 mm/år. I Bilag 8 er der vist nogle eksempler på sammenhængen mellem deponeringsgeometri, infiltration, perkolatproduktion og stofudvaskningshastighed for de i dette projekt undersøgte restprodukter.

Tabel 8.2

Deponerede restproduktmængder ved de forskellige scenarier.

Scenarie	Restprodukttype	Deponeringsform	Restproduktmængde		Total depon.	Mængde	Total volumen
			t/år	t(total)	t(tør)	t(våd)	
1	TP/SP	Indkapsling	50000	500000	500000		500000
2A	TP/SP	Alm., befugtet	50000	500000	500000	675000	400000
2B	VP	Alm., iblandet flyveaske	30000	300000	300000	462000	300000
2C	FA	Alm., befugtet	50000	500000	500000	625000	500000
3	TP/SP	Alm., efter vask	37500	375000	375000	750000	375000
4	TP/SP	Stab. m. 20% cem. + 5% vandglas	50000	500000	650000	1116000	656000
5	TP/SP	Stab. m. 40% cem. efter vask	37500	375000	625000	1175000	625000

Tabel 8.3

Deponeringsgeometri og perkolatproduktion (svarende til en infiltration på 100 mm/år) ved de forskellige scenarier.

Scenarie	Restprodukttype	Deponeringsform	Totalvolumen m ³	Dep.Højde m	Dep.Areal m ²	Perkolatmængde m ³ /år
1	TP/SP	Indkapsling	500000	10	50000	0
2A	TP/SP	Alm., befugtet	400000	10	40000	4000
2B	VP	Alm., iblandet flyveaske	300000	10	30000	3000
2C	FA	Alm., befugtet	500000	10	50000	5000
3	TP/SP	Alm., efter vask	375000	10	37500	3750
4	TP/SP	Stab. m. 20% cem. + 5% vandglas	656000	10	65600	6560
5	TP/SP	Stab. m. 40% cem. efter vask	625000	10	62500	6250

8.2 Udvaskede stofmængder

For hvert scenarie er der på det ovenfor beskrevne grundlag foretaget en beregning af de akkumulerede udvaskede mængder af klorid (tabel 8.4) og bly (tabel 8.5) henholdsvis 1, 10 og 100 år efter starten af perkolatdannelsen.

Af tabel 8.4 fremgår det, at der ved alle scenarier med undtagelse af dem, der beskriver deponering af vaskede restprodukter (ustabiliseret eller stabiliseret), sker en meget betydelig udvaskning af klorid. Dette gælder også scenarie 2B, som beskriver deponering af vådprodukt. Ved scenarierne med de vaskede tørre/semitørre produkter (3 og 5) udvaskes der derimod kun meget små mængder klorid.

Ved scenarie 1, som jo er en indkapsling, vil der pr. definition ikke ske nogen stofudvaskning.

Tabel 8.4

Beregnete akkumulerede udvaskede kloridmængder.

Scenarie	Restprodukttype	Deponeringsform	Akkumuleret udvasket kloridmængde (tons)		
			Efter 1 år	Efter 10 år	Efter 100 år
1	TP/SP	Indkapsling	0	0	-
2A	TP/SP	Alm., befugtet	760 - 1200	7600 - 12000	48000 - 86000
2B	VP	Alm., iblandet flyveaske	200	2000	16000
2C	FA	Alm., befugtet	135	1400	13000
3	TP/SP	Alm., efter vask	0,83	8,3	83
4	TP/SP	Stab. m. 20% cem. + 5% vandglas	850 - 1700	2600 - 5200	7900 - 16000
5	TP/SP	Stab. m. 40% cem. efter vask	0,73 - 1,5	2,8 - 5,5	10 - 21

Tabel 8.5

Beregnete akkumulerede udvaskede blymængder.

Scenarie	Restprodukttype	Deponeringsform	Akkumuleret udvasket blymængde (kg)		
			Efter 1 år	Efter 10 år	Efter 100 år
1	TP/SP	Indkapsling	0	0	-
2A	TP/SP	Alm., befugtet	290 - 44000	2900 - 440000	7400 - 1600000
2B	VP	Alm., iblandet flyveaske	0,0057	0,057	0,13
2C	FA	Alm., befugtet	0,045	0,45	19
3	TP/SP	Alm., efter vask	10	100	1000
4	TP/SP	Stab. m. 20% cem. + 5% vandglas	6,5 - 13	16 - 33	41 - 82
5	TP/SP	Stab. m. 40% cem. efter vask	6,1 - 13	16 - 33	43 - 87

Af tabel 8.5 ses det, at udvaskningen af bly fra ubehandlet TP/SP deponeret efter befugtning (scenarie 2A) kan være betydelig og stærkt varierende, afhængig af restprodukt og deponeringsomstændigheder. Udvasnkningen af bly fra deponeret vådprodukt (scenarie 2B) er ubetydelig. Ved en effektiv vask af det tørre/semitørre restprodukt (scenarie 3) vil man formentlig det første år kunne opnå en blyudvaskning af samme størrelsesorden som ved stabilisering med 20% cement og 5 % vandglas på uvasket form (scenarie 4) eller med 40% cement på vasket form. Såfremt forudsætningerne for beregningerne holder, fremgår det dog, at mens udvaskningen af bly fra det ustabiliserede produkt fortsætter med betydelig styrke gennem de næste 10 -100 år, aftager stofudvaskningen fra de stabiliserede produkt kraftigt gennem samme tidsperiode.

Reduceret bly- udvaskning

Over en 100 års periode synes blyudvaskningen fra TP/SP således at kunne reduceres med en faktor 17 - 130 ved cementstabilisering. Det bør dog erindres, at en ændring af beregningsforudsætningerne vedrørende det "aktive" overfladeareal i scenarierne 4 og 5 helt kan ændre billedet.

I tabel 8.6 er der på grundlag af resultaterne i tabellerne 8.3, 8.4 og 8.5 foretaget en overslagsberegning af de gennemsnitlige koncentrationer af klorid og bly i det første års perkolat.

Tabel 8.6

Beregnete gennemsnitlige koncentrationer af klorid og bly i perkolatet produceret det første år.

Scenarie	Restprodukttype	Deponeringsform	Gennemsnitlig koncentration i perkolat 1. år	
			Klorid (g/l)	Bly (mg/l)
1	TP/SP	Indkapsling	0	0
2A	TP/SP	Alm., befugtet	190 - 300	73 - 11000
2B	VP	Alm., iblandet flyveaske	67	0,0019
2C	FA	Alm., befugtet	27	0,009
3	TP/SP	Alm., efter vask	0,22	2,7
4	TP/SP	Stab. m. 20% cem. + 5% vandglas	130 - 260	1,0 - 2,0
5	TP/SP	Stab. m. 40% cem. efter vask	0,12 - 0,24	1,0 - 2,1

Af scenarierne 2A, 2B og 2C i tabellerne 8.4 og 8.5 fremgår det dels, at udvaskningen af klorid fra 500.000 tons flyveaske deponeret i befugtet tilstand er sammenlignelig med kloridudvaskningen fra 300.000 tons vådprodukt iblandet flyveaske, dels at blyudvaskningen fra den deponerede flyveaske er væsentligt mindre end fra de deponerede tørre og semitørre produkter (også hvis de deponeres

efter stabilisering), men samtidig noget større end blyudvaskningen fra det deponerede flyveaskeholdige vådprodukt.

På grund af de mange forudsætninger og usikkerheder må ovenstående betragtes som meget grove skøn over de forventede mængder og koncentrationer under nogle specifikke omstændigheder.

8.3 Placering af deponier og håndtering af perkolat

Potentiel risiko for grundvandsforurening

Perkolatet fra såvel det våde produkt som det tørre/semitørre produkt vil, også selvom sidstnævnte stabiliseres i forbindelse med deponeringen, udgøre en potentiel trussel for eventuelle grundvandsressourcer, såfremt deponeringen finder sted ovenpå eller opstrøms for disse. I en betydelig årrække vil der under de givne forudsætninger årligt blive produceret 3000 - 6500 m³ perkolat, som kan kræve fortyndinger på op til 220.000 gange (semitørt/tørt produkt, bly), 2300 gange (vådprodukt, kalium) og op til 1000 gange (stabiliseret tørt/semitørt produkt, klorid) for at overholde kravene til drikkevand. Hvis de tørre/semitørre produkter vaskes (med eller uden efterfølgende stabilisering) skønnes fortyndingskravet at være ca. 20 - 40 gange (bly). Da der både er risiko for forurening med salte og/eller (for de ustabiliserede og stabiliserede tørre/semitørre produkter) med bly, bør et sådant deponi ikke placeres nær udnyttelige grundvandsressourcer eller følsomme overfladerecipienter. Bly er normalt ikke særlig mobilt i jord og grundvand, men dette gælder ikke nødvendigvis ved massive blyforureninger og ved høje saltindhold.

Perkolatbehandling

Indkapsling ikke nogen permanent løsning

Det må derfor forudses, at perkolatet fra deponerede, ikke-stabiliserede tørre/semitørre restprodukter skal opsamles og behandles. Det samme gælder muligvis for vådproduktet, i hvert fald hvis deponiet ikke er anbragt kystnært. Hvis der ikke gøres noget specielt for f.eks. at fremskynde udvaskningsprocessen, vil perkolatet måske skulle opsamles over meget lang tid, måske længere end den forventede levetid af membraner, dræn- og pumpesystemer m.v. Man kunne derfor overveje at foretage en vask af produkterne (de tørre/semitørre) før eller i forbindelse med at de bliver deponeret. Det modsatte, en indkapsling af produktet, kan derimod ikke anbefales som en permanent løsning, idet man derved risikerer at bevare et intakt forureningspotentiale over meget lang tid og måske blot overlader en egentlig løsning af problemet til fremtidige generationer. En indkapsling bør kun komme på tale som en midlertidig opbevaring med henblik på en senere oparbejdning eller behandling. Hvis man ønsker at gemme produkterne med henblik på en senere oparbejdning, kunne man overveje at anvende overjordiske lagre, evt. lette lagerbygninger, i stedet for lossepladsteknologi, som kunne tænkes at besværliggøre genvindingsprocessen.

Af de gennemførte undersøgelser fremgår det, at bl.a. den store saltkoncentration i det første perkolat fra ustabiliseret (og formentlig også stabiliseret) tørprodukt kan nødvendiggøre en fortynding på 500

*Fortynding
nødvendig*

gange, hvis perkolatet (som det er almindeligt brugt) tilledes et biologisk rensningsanlæg. En tilsvarende måske lidt mindre fortynding vil formentlig være nødvendig, hvis det første perkolat fra vådproduktet tilledes et biologisk rensningsanlæg. Det er dog ikke særlig hensigtsmæssigt at lede spildevand med højt saltindhold og eventuelle høje indhold af bly og andre tungmetaller til et biologisk rensningsanlæg. Saltindholdet vil ikke blive påvirket af rensningen, men tungmetallerne kan helt eller delvis blive bundet i slammet, som derved måske ikke kan anvendes til jordbrugsformål.

Kystnær deponering

En kystnær placering af et restproduktdeponi vil sikre, at udvaskningen af salte ikke udgør nogen reel eller potentiel trussel for miljøet, uanset om perkolatet opsamles over en membran eller siver ud som et led i en kontrolleret udvaskningsstrategi (ved kontrolleret udvaskning, som bl.a. er beskrevet i /1/, forstås, at stofudvaskning ikke forhindres, men søges styret/reduceret til et miljømæssigt acceptabelt niveau gennem langtidsstabile tiltag af passiv karakter, det vil sige tiltag, som ikke kræver vedligeholdelse eller tilførsel af energi). Indsatsen kan så koncentreres om at begrænse udvaskningen af tungmetaller, specielt bly. Kontrolleret (kystnær) udvaskning er dog næppe en mulig strategi for ikke-stabiliserede tørre/semitørre produkter, da blykoncentrationerne i den første årrække (ved 100 mm infiltration og 10 m deponihøjde) kan blive så høje, at det i visse tilfælde kan være nødvendigt med initialfortyndinger af det første perkolat på op mod 50.000 gange for at undgå akut toksiske effekter i en marin recipient. For restproduktet fra den våde proces og for tørre/semitørre produkter, som har været underkastet en vask og eventuelt efterfølgende er blevet stabiliseret, synes kontrolleret udsivning i forbindelse med kystnær deponering derimod at være en mulighed (efter at processen er blevet optimeret).

*Kontrolleret udvaskning
eller perkolatopsamling*

9. Sammenfatning og konklusioner

Med henblik på at belyse mulighederne for bortskaffelse af røggasrensningsprodukter fra affaldsforbrændingsanlæg er der gennemført en række laboratorieundersøgelser af to tørprodukter, to semitørre produkter og et flyveaskeblandet vådprodukt. De tørre/semitørre restprodukter stammer fra danske affaldsforbrændingsanlæg, mens vådproduktet stammer fra et svensk anlæg. Desuden er der, især fra udlandet, indsamlet supplerende nyere oplysninger om behandling og deponering af røggasrensningsprodukter. I det følgende gennemgås undersøgelsens væsentligste aktiviteter, resultater og konklusioner.

Kemisk sammensætning af tørre/semitørre restprodukter

De pulverformige tørre og semitørre restprodukter består dels af flyveaske (30 - 60 % (w/w)), dels af mere eller mindre opløselige salte, herunder især klorider, hydroxider (overskudskalk), karbonater, sulfater og sulfider. Den altdominerende kation er calcium, men også kalium og natrium findes i betydelige mængder i saltdelen. Den uopløselige del af flyveasken består primært af oxider af silicium, aluminium, jern og mangan. Blandt tungmetallerne findes især zink, men også bly og kobber i væsentlige koncentrationer i restprodukterne. En række andre sporelementer/tungmetaller er til stede i mindre mængder, herunder bl.a. tin, kadmium, krom, arsen og kviksølv. Restprodukterne reagerer stærkt alkalisk i fortyndede vandige opslemninger. Analyser foretaget ved XRD synes at indikere, at calcium og klorid fortrinsvis skulle være tilstede som et dobbeltsalt, $\text{CaCl}_2\text{Ca}(\text{OH})_2\text{H}_2\text{O}$. Om dette har væsentlig betydning for produkternes egenskaber vides ikke. De tørre og semitørre restprodukter har indhold af PCDD og PCDF svarende til 2,3,7,8 TCDD-ækvivalentindhold på 1 - 2 $\mu\text{g/kg}$.

Når det tages i betragtning, at de 4 semitørre og tørre restprodukter alle stammer fra forskellige forbrændingsanlæg, som brænder affald, der ikke kan forventes at være ens, og som er udstyret med forskellige typer røggasrensningsudstyr, må de betegnes som forholdsvis ensartede i sammensætning. Dog havde de tørre produkter, specielt det ene, et klart større indhold af overskudskalk end de semitørre.

Kemisk sammensætning af vådprodukt

Vådproduktet, som består af flyveaske (formentlig 90 % (w/w) eller derover på tørvægtsbasis) og slam fra spildevandsrensningen på et ét-trins vådanlæg, har generelt et indhold af opløselige salte, som er mindre end indholdet i de tørre/semitørre produkter (størstedelen af saltindholdet udledes ved vådprocessen med det rensede spildevand), mens indholdet af sporelementer/tungmetaller er lidt større. Indholdet af kviksølv er mindre end forventet (3-4 gange større end i de andre produkter). Vådproduktet indeholder stort set ikke fri kalk og reagerer mindre alkalisk med vand i fortyndede opslemninger end de tørre/semitørre produkter. Indholdet af PCDD og PCDF er på 2,3,7,8, TCDD-ækvivalentbasis af samme størrelsesorden som for de tørre/semitørre produkter (2,8 $\mu\text{g/kg}$).

De tørre og semitørre produkter kan ved optimalt vandindhold (30 - 40 % (w/w)) indbygges til tørrumvægte på 1,22 - 1,43 t/m³.

*Udvaskning af
salte og tungmetal-
ler fra TP/SP*

Udvaskningsforholdene for de ikke-stabiliserede restprodukter er undersøgt ved kombinerede kolonneforsøg (L/S = 0 - 2) og batchforsøg (L/S = 2 - 25). For de tørre/semitørre restprodukters vedkommende kan 21 - 35 % (w/w) af tørstofindholdet umiddelbart udvaskes på opløst form, størstedelen allerede i L/S-intervallet 0 - 2. Det er især klorider og hydroxider af calcium, natrium og kalium, som udvaskes. Af sporelementerne udvaskes især bly (2,3 - 65 % (w/w) af totalindholdet) og molybdæn (9 - 19 % (w/w) af totalindholdet), mens der af ingen af de øvrige sporelementer udvaskes mere end 4 % (w/w) af totalindholdet (og for de fleste langt under 1 % (w/w)). Der kunne ikke observeres nogen udvaskning af kviksølv, nikkel og tin fra noget af restprodukterne, inklusive det våde. Koncentrationen af opløst stof var meget høj i de første perkolatfraktioner fra de tørre/semitørre produkter (op til 11 g Pb/l, 360 g Cl/l og 520 g opløst tørstof/l i fraktionen L/S = 0.0 - 0.2), men faldt til meget lave værdier i de senere fraktioner. Der var meget betydelige forskelle mellem udvaskningsforløbene for de samme sporelementer for forskellige tørre/semitørre produkter. Forskellene mellem de tørre produkter indbyrdes var større end forskellene mellem semitørre og tørre produkter. Resultaterne af et tredobbelt udvaskningsforsøg med et semitørt røggasrensingsprodukt viser, at udvaskningen af visse stoffer, især bly, men også kobber og kadmium, kan være følsomme overfor forhold som redoxpotentiale og/eller karbonatdannelse. Disse forhold bør, selv om det kan være svært, i videst muligt omfang søges kontrolleret ved kolonneudvaskningsforsøg med røggasrensingsprodukter.

*Udvaskning af
salte fra VP*

Fra vådproduktet kunne 11% (w/w) af tørstofindholdet umiddelbart udvaskes. De dominerende ioner i det første perkolat fra vådproduktet er klorid, natrium, kalium og i mindre grad calcium samt sulfat, som er tilstede i væsentligt større koncentrationer her end ved de tørre/semitørre produkter. Med molybdæn som eneste undtagelse ligger alle sporelementkoncentrationerne meget lavt gennem hele udvaskningsforløbet, hvilket blandt andet skyldes indholdet af den organiske sulfidforbindelse TMT-15. Udvaskningsforholdene på langt sigt kan afhænge af stabiliteten af TMT-15, som ikke kendes.

*Ingen udvaskning
af PCDD og PCDF*

Der er udført et specielt udvaskningsforsøg med kunstigt regnvand på et tørprodukt, et semitørt produkt og det våde produkt til undersøgelse af udvaskningen af PCDD og PCDF. Der kunne ikke påvises PCDD eller PCDF i nogen af perkolaterne, og dioxiner og furaner vurderes på grund af deres lille vandopløselighed ikke at udgøre noget vandforureningsproblem (på opløst form) i forbindelse med deponering af røggasrensingsprodukter.

Det stærkest forurenede perkolat fra kolonneforsøgene, d.v.s. de første perkolatfraktioner fra hvert forsøg, er blevet underkastet nogle

Økotoksikologiske undersøgelser

Økotoksikologiske undersøgelser. Perkolaterne fra alle restprodukterne udviste signifikant hæmning af fotosyntesen hos en marin kiselalge, *Skeletonema costatum*, for fortyndinger på op til 1000 til 50000 gange. Effekten af perkolatet fra det våde produkt var dog lidt mindre end effekten af de øvrige perkolattyper. Initialperkolatet fra et af tørprodukterne, som udviste størst hæmning overfor algerne fotosyntese, havde desuden en hæmmende virkning på respirationen af slam fra et rensningsanlæg i fortyndinger på indtil 500 gange, fortrinsvis på grund af det høje saltindhold. Endelig havde samme prøve en akut lethal effekt ved 48 timers eksponering overfor det marine krebsdyr *Acartia tonsa* i fortyndinger på op til 4500 gange.

Udvaskning af bly og klorider er hovedproblemet

For de tørre og semitørre produkter vurderes udvaskningen af bly og i mange tilfælde også af klorid (og andre salte) at være det helt dominerende potentielle miljøproblem i forbindelse med deponering (eller nyttiggørelse). For det flyveaskeblandede vådprodukt synes de potentielle problemerne at være mindre og muligvis begrænse sig til et forhøjet saltindhold i initialperkolatet samt et forholdsvis højt indhold af det ikke specielt giftige molybdæn. Initialperkolatet fra det våde produkt har dog en betydelig toksicitet overfor ovennævnte kiselalge.

Stabiliseringsforsøg

Med henblik på at vurdere mulighederne for at skabe nogle mere deponeringssegne røggasrensingsprodukter er der på de semitørre og tørre restprodukter gennemført en række stabiliseringsforsøg med tilsætning af lavalkali sulfatbestandig cement og en række tilsætningsstoffer og additiver. Følgende materialer er blevet afprøvet, alene eller sammen med cement: Kulflyveaske, afsvovlingsprodukt fra kulfyret kraftværk (TASP), forbrændingsslagge, natriummetasilikat, fosforsyre og additivet Geodur. Desuden er der udført stabiliseringsforsøg på udvasket materiale fra kolonneforsøgene. Der er i laboratoriet blevet fremstillet prøvelegemer af de forskellige blandinger. Prøvelegemerne er efter 28 dages hærdning ved 20 °C (og i nogle tilfælde også efter 14 dages hærdning) blevet underkastet tankudvaskningsforsøg til undersøgelse af stabiliseringens evne til at reducere den hastighed, hvormed klorid og bly udvaskes. For enkelte prøvelegemer er også udvaskningen af kadmium, kobber og zink vurderet. Prøvelegemer af udvalgte blandinger er blevet testet for enakset trykstyrke.

For stabiliseringsforsøgene, som for de flestes vedkommende blev gennemført med tilsætning af 20, 30 eller 40% (w/w) cement, fandtes generelt, at jo mere cement, der tilsattes, jo mere blev stofudvaskningen reduceret, ligesom resultaterne efter 28 dages hærdning generelt var bedre end efter 14 dages hærdning. Der var ikke nogen éntydig sammenhæng mellem restprodukttypen og stabiliseringens effektivitet. Tilsætning af kulflyveaske, TASP og forbrændingsslagge sammen med cement havde en mindre, reducerende effekt på blyudvaskningen, men effekten var ikke tilstrækkelig stor til at være interessant. Det skal understreges, at der er tale om grove sammenligninger, og de enkelte recepter er ikke

optimeret i nogen væsentlig grad. Tilsætningsstoffet Geodur havde ingen effekt på stabiliseringen.

Stabilisering med cement og fosforsyre eller vandglas reducerer tungmetal-udvaskningen

De bedste resultater med hensyn til reduktion af blyudvaskningen blev opnået ved tilsætning af 5 % (w/w) fosforsyre sammen med 20 % (w/w) cement til 80 % (w/w) restprodukt sammen med 60 % (w/w) vand. Et større cementindhold ville muligvis give et endnu bedre resultat. Prøven, som fra starten havde en rimelig styrke, revnede under tankforsøget, muligvis p.g.a. apatitdannelse. Fosforsyre kan måske alligevel benyttes til immobilisering af bly under forhold, hvor der ikke stilles store krav til materialets styrke (f.eks. i et deponi). Udvaskningen af Cd, Cu og Zn fra den fosforsyrestabiliserede prøve var meget lav. Et firma i USA har patentanmeldt en metode til fosfatstabilisering af restprodukter. Næsten lige så gode resultater opnåedes ved tilsætning af 5 % (w/w) natriummetasilikat (vandglas) til restprodukt tilsat 20 % (w/w) cement, og i dette tilfælde bevarede prøvelegemet sin integritet. Også her må det gode resultat, som også omfattede Cd, Cu og Zn, forventes at kunne forbedres ved tilsætning af mere cement.

Cementstabilisering hindrer ikke klorid-udvaskning

Det viste sig at være meget vanskeligt at reducere udvaskningen af klorid ved stabiliseringen. Væsentlige reduktioner er faktisk kun opnået ved stabilisering af udvasket kolonnemateriale, som næsten ikke indeholder mere klorid. En tilsvarende reduktion af blyudvaskningen fra det stabiliserede kolonnemateriale ses næsten ikke og synes at kræve tilsætning af f.eks. vandglas samt muligvis en optimering af vandindholdet. Det kunne også tænkes, at en mindre tilsætning af kalk sammen med cementen kunne forbedre stabiliseringen af de udvaskede produkter, som næppe indeholder nogen væsentlig rest af frit kalk. Dette er ikke forsøgt i denne sammenhæng.

Thaumasitdannelse ?

Fra udlandet rapporteres om varierende resultater af forsøg i større eller mindre skala med cementstabilisering, og nogle hævder, at cementstabilisering ikke kan anvendes, fordi det stabiliserede materiale, især p.g.a. kloridindholdet ikke er holdbart på længere sigt. I Sverige stabiliseres tørt restprodukt med 40 % af et ikke-cementisk uorganisk bindemiddel udviklet af Cementa. I Schweiz er man ved at opføre nogle behandlingsanlæg til vask og efterfølgende cementstabilisering af flyveaske. I forbindelse med nærværende undersøgelse er der på nogle af de cementstabiliserede restprodukter blevet udført røntgendiffractionsanalyser. Disse analyser antyder, at der måske sker en dannelse af mineralet thaumasit, som får cement til at smuldre. Hvis det er tilfældet, understøtter det udsagnene om, at det ikke er hensigtsmæssigt at cementstabilisere ubehandlede tørre/semitørre røggasrensningsprodukter.

Direkte cementstabilisering tvivlsom

Undersøgelsen har ikke klarlagt, om cementstabiliseringen vil være effektiv på længere sigt, men nyere forsøg udført i andre lande tyder på, at langtidsstabiliteten er et alvorligt problem. Det må derfor anses for yderst tvivlsomt, om direkte cementstabilisering af tørre/semitørre røggasrensningsprodukter er en holdbar løsning.

Kystnær deponering

En vurdering af nogle deponeringsalternativer under anvendelse af nogle af undersøgelsens resultater viser, at en kystnær placering af et restproduktdeponi stort set altid vil være det miljømæssigt mest sikre, uanset om perkolatet opsamles og behandles, eller om der sker en kontrolleret udsivning. Udvaskning af bl.a. meget store klorid-mængder og betydelige mængder bly fra de tørre/semitørre restprodukter vil sandsynligvis kun kunne undgås, hvis produkterne underkastes en forholdsvis vidtgående behandling som f.eks. vask og stabilisering, eventuelt blot en meget effektiv stabilisering (og da muligvis ikke med cement).

Vask og stabilisering

Opsamling og behandling af perkolat

Hvis de tørre/semitørre restprodukter deponeres ubehandlet, vil det over en lang årrække være nødvendigt at opsamle og behandle perkolatet for i hvert fald bly. Ved tilledning af perkolatet, som eventuelt kan være forrenset, til et kommunalt rensningsanlæg, bør man være opmærksom på, at perkolatet (specielt det første), hvis det ikke fortyndes tilstrækkeligt, kan give anledning til hæmning af det aktive slams respiration, hvilket nedsætter rensningsanlæggets funktionsevne. Endvidere kan bly og andre tungmetaller akkumuleres i slammet og eventuelt forhindre, at det kan anvendes til jordforbedrende formål. Det må i øvrigt formodes, at også det første perkolat fra deponeret vådprodukt på grund af saltindholdet vil kunne have en vis hæmmende virkning på slammet i et biologisk rensningsanlæg.

Indkapsling kun som midlertidig foranstaltning

En deponeringsform, som svarer til en indkapsling af ubehandlet tørt/semitørt restprodukt, kan kun anbefales som en kortvarig, midlertidig foranstaltning, eventuelt i en periode hvor man afventer udvikling af en effektiv metode til oparbejdning/nyttiggørelse og/eller behandling af restproduktet.

En deponeringsmetode svarende til kontrolleret (kystnær) udvaskning som beskrevet ovenfor vil næppe kunne anbefales for ikke-behandlede semitørre/tørre restprodukter, mens det synes at være en mere realistisk mulighed for restproduktet fra den våde proces (evt. efter en vis stabilisering) og for tørre/semitørre produkter, hvorfra den potentielle udvaskning af bly og andre tungmetaller og måske også klorid gennem en eller anden form for behandling, f.eks. en vask og eventuelt en efterfølgende stabilisering, er blevet reduceret effektivt.

10. Referencer

- /1/ Hjelmar, O., H. Thomassen & H. Højmark (1990): Restprodukter fra røggasrensning ved affaldsforbrænding I, Udredning, Miljøprojekt nr. 146, Miljøstyrelsen.
- /2/ Kullberg, S., A.-M. Fällman & A. Höjlund (1989): Stabilisering och deponering av rökgasreningsprodukter från sopförbränning, Bränsleteknik 370, Stiftelsen för värmeteknisk forskning, Stockholm.
- /3/ Miljøstyrelsen (1989): Dioxinemission ved affaldsforbrænding. En undersøgelse af emissionen fra danske forbrændingsanlæg. Miljøprojekt nr. 117.
- /4/ Linke, W.F. (1958): Solubilities. Inorganic and metal-organic compounds. A compilation of solubility data from the periodical literature. Volume I, Fourth Edition, American Chemical Society, Washington D.C.
- /5/ Jeppesen, K.G., Institut for Mineralindustri, DTH (1990 & 1991): Notater vedrørende XRD-analyser af ustabiliserede og stabiliserede røggasrensningsprodukter.
- /6/ Faxe Kalk A/S, Lamina-Filter & Vandkvalitetsinstituttet (1990): Genanvendelse af restproduktet fra affaldsforbrændingsanlæg med kalkbaseret røggasrensning. Projektansøgning til Miljøstyrelsens Genanvendelseskontor og EFP.
- /7/ Eriksson, T. & K. Warman (1991): Bestämning av polyklorerede dibensodioxiner (PCDD) och polyklorerade dibenzofuraner (PCDF) i vattenprov. Teknisk rapport fra Miljökon-sulterna i Studsvik AB.
- /8/ Tseng, S.C. & C.B. Sedman (1991): Emissions control of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and polychlorinated dibenzofurans at municipal waste combustors.
- /9/ Concept Dutch pre-standard NVN 5432. Edition: March 1991.
- /10/ Van der Sloot, H.A., O. Piepers & A. Kok (1984): A standard leaching test for combustion residues, BEOP-31, ECN, Petten, Nederland.
- /11/ Van der Sloot, H.A., G.J.de Groot & J. Wijkstra (1989): Leaching Characteristics of construction materials and stabilization products containing waste materials. In: Côté, P. & M. Gilliam (Eds.), Environmental Aspects of Stabilization and

- /12/ Neubert, W. & R. Engelhardt (1990): Schmelzbehandlung beim KWU-Schwelbrennverfahren, Beiheft zu Müll und Abfall, 29 Reststoffe aus der Rauchgasreinigung, p. 107.
- /13/ Jochum, J., H. Jodeit & Ch. Wieckert (1990): Elektroschmelzverfahren der ABB, Beiheft zu Müll und Abfall, 29 Reststoffe aus der Rauchgasreinigung, p. 112.
- /14/ Piper, H., H. Zschocher, G. Mayer-Schwinning & H. Merlet (1990): SOLUR-Glasschmelzverfahren, Beiheft zu Müll und Abfall, 29 Reststoffe aus der Rauchgasreinigung, p. 116.
- /15/ Klein, H. (1990): Plasmatechnik der KRUPP Mak., Beiheft zu Müll und Abfall, 29 Reststoffe aus der Rauchgasreinigung, p. 119.
- /16/ Tobler, H.P. (1989): Konzepte zur Reststoffentsorgung in der Schweiz. I: VDI Berichte 753, VDI-Gesellschaft Energietechnik: Reststoffe aus der thermischen Abfallbehandlung, Verlag Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.
- /17/ Roeder, A. (1990): Die sicker- und abwasserfreie Deponierung verfestigter Rückstände auf zwei Monodeponien; ein Vorhaben im technischen Massstab der Rheinische Kalksteinwerke GmbH, Wülfrath, Beiheft zu Müll und Abfall, 29 Reststoffe aus der Rauchgasreinigung, p. 83.
- /18/ Roeder, A., H.P. Hennecke, J. Stradtman & G. Radermacher (1987): Die Deponierung verfestigter Rückstände aus Rauchgasreinigungsanlagen auf zwei Monodeponien. Teil I: Auswahl und Beschreibung der Rückstände und der durchgeführten Untersuchungen, Müll und Abfall (7), p.277.
- /19/ Roeder, A., R. Schäfer, W. Liebetrau & F.-W. Wenzel (1988): Die Deponierung verfestigter Rückstände aus Rauchgasreinigungsanlagen auf zwei Monodeponien. Teil II: Technische Details zu den Monodeponien, Müll und Abfall (2), p.46.
- /20/ Reimann, D.O. (1989): Residues and residue treatment from flue gas cleaning plants. VGB Kraftwerkstechnik 69 (2), p. 193.
- /21/ Dietler, U. (1990): Auslaugverfahren mit nachgeschalteter Verfestigung gemäss TVA-Schweiz, Beiheft zu Müll und Abfall, 29 Reststoffe aus der Rauchgasreinigung, p. 88.
- /22/ Kullberg, S., SGI, Linköping, Sverige (1991): Personlig kommunikation.

- /23/ Tutti, K., Cementa AB, Växjö, Sverige (1991): Personlig kommunikation.
- /24/ Entron (1991): Ikke-offentliggjort rapport til VEABRIN/NOVEM, Holland.
- /25/ Dijkink, J.H., R & E Consult, Utrecht, Holland (1991): Personlig kommunikation.
- /26/ Vehlow, J. (1990): Management of residues from MSWI in the FRG. Paper presented at the 3rd International Conference on Ash Utilization and Stabilization (ASH III), November 13-14, 1990, Stouffer Concourse Hotel, Arlington, Virginia, U.S.A.
- /27/ Wewer, H. & P.-G. Maurer (1990): Zementadditiv-Verfahren nach NUKEM, Beiheft zu Müll und Abfall, 29 Reststoffe aus der Rauchgasreinigung, p. 74.
- /28/ O'Hara, M.J. & M. Surgi (1989): Immobilization of lead and cadmium in solid residues from the combustion of refuse using lime and phosphate. U.S. Patent 4,737,356, April 12, 1988.
- /29/ Vandkvalitetsinstituttet, ATV (1990): Ikke-publicerede data.
- /30/ Donnelly, J.R. & E. Jøns (1988): MSW incinerator flue gas cleaning waste solidification studies. Presented at the APCA Annual Meeting, June 1988, Dallas, Texas.
- /31/ Dansk Standardiseringsråd (1984): Vandundersøgelse. Hæmningsundersøgelse ved bestemmelse af aktiveret slams respirationshastighed, DS 298.
- /32/ Kusk, O.K. & G. Petersen (1990): Metodeforskrift for: Økotoksikologisk testning med mikroalger. Væksttest og fotosyntesetest. Revideret udgave. Vandkvalitetsinstituttet, ATV.
- /33/ Vandkvalitetsinstituttet, ATV (1991): Erfaringstal.
- /34/ Vandkvalitetsinstituttet, ATV (1986): Kolonneforsøg til bestemmelse af stofudvaskningen fra slagge og flyveaske fra affaldsforbrændingsanlæg. Rapport til I/S Amagerforbrænding og I/S Vestforbrænding. VKI-sagsnr.: 65.711.

Bilagsdel

Kemiske analysemetoder

ANVENDTE KEMISKE ANALYSEMETODER (FASTSTOFPRØVER)

SPORELEMENTER I FASTSTOFPRØVER

<u>ELEMENT</u>	<u>DESTRUKTIONSMETODE</u>	<u>ANALYSEMETODE</u>
Ag	A	1
As	A	1
Ba	A	1
Cd	A	3
Co	A	1
Cr	A	1
Cu	A	3
Hg	A	2
Mo	A	1
Ni	A	3
Pb	A	3
Se	A	4
Sn	A	1
V	A	1
Zn	A	3

A : Bombe-destruktion med flussyre/kongevand.

0,25 g prøve er tilsat 2 ml kongevand (HCl, HNO₃ - 3:1) og 2 ml HF. Prøveblandingen er opvarmet i destruktionsbombe (Berghof) til 110 °C i 1-2 timer. Efter nedkøling åbnes bomben, og 15 ml mættet borsyre tilsættes hver prøve, hvorefter prøverne henstår i 30 minutter.

1 : Atomabsorptionsspektrofotometri med grafitovnsteknik.

Der er anvendt baggrundskorrektion, standardadditionsteknik, og der er foretaget dobbeltbestemmelse.

2 : Atomabsorptionsspektrofotometri med cold vapour teknik.

Der er anvendt baggrundskorrektion, standardadditionsteknik, amalgamopkoncentreringsteknik og der er foretaget dobbeltbestemmelse.

- 3 : Atomabsorptionsspektrofotometri med flammeteknik.
Der er anvendt baggrundskorrektion, og der er foretaget dobbeltbestemmelse. Måling er foretaget ved brug af en kalibreringskurve.
- 4: Atomabsorptionsspektrofotometri med hydridteknik efter reduktion af selen med saltsyre. Analyseret direkte med hydridteknik under anvendelse af natriumborhydrid. Der er anvendt baggrundskorrektion, standardadditionsteknik, og der er foretaget dobbeltbestemmelse.

TOTALT ORGANISK KULSTOF (TOC) I FASTSTOFFPRØVER

Prøverne neddeles i morter og suspenderes i vand. Uorganisk kulstof fjernes ved syretilsætning, hvorefter repræsentative delportioner analyseres for TOC: Prøvens indhold af organiske forbindelser oxideres ved 800°C, det dannede CO₂ reduceres katalytisk til methan, der bestemmes med flammeionisationsdetektor. Der benyttes et Dohrmann DC-52 apparat ved analysen.

TØRSTOF OG GLØDETAB

Tørstofindholdet bestemmes ved at en kendt prøvemængde tørres ved 105°C, og den tilbageværende rest vejes. Gløderesten bestemmes ved, at prøvens tørstof glødes ved 550°C, og den tilbageværende rest vejes.

pH

En prøvemængde svarende til 0,5 g tørstof opslemmes i 50 ml vand henstår tildækket i 1/2 time med magnetomrøring, hvorefter pH aflæses iht. DS 287.

ALKALINITET

En stofmængde svarende til 0,5 g tørstof afvejes og koges 1 time i overskud af saltsyre. Der tilbagetitreres potentiometrisk med NaOH. Prøvens alkalinitet defineres som prøvens kvantitative kapacitet til at reagere med hydrogenioner. Metoden er valgt således, at prøvens indhold af stoffer, som omdannes til flygtige syrer, som sulfider, carbonater og hydrogencarbonater bidrager til alkaliniteten. Herudover vil andre basiske forbindelser, som optager hydrogenioner ved titrering ned til $\text{pH} = 7$, som fosfater og hydroxider, bidrage.

BESTEMMELSE AF HOVEDKOMPONENTER

Faststofprøvernes indhold af elementerne Si, Al, Fe, Ca, Mg, Ti, P, K, Na og Sr blev fastlagt af F.L. Smidth & Co. A/S ved røntgenfluorescensanalyse.

Indholdet af S blev bestemt ved titrering efter forbrænding.

Indholdet af Cl blev målt ved spektrofotometri efter alkali-smeltning og ekstraktion med syre.

ANVENDTE KEMISKE ANALYSEMETODER (PERKOLATPRØVER)

SPORELEMENTER I VANDIGE PRØVER

<u>ELEMENT</u>	<u>FORBEHANDLING #</u>	<u>ANALYSEMETODE *</u>
As	A	6
Ca	A	4 + 7
Cd	A + C	1 + 4
Cr	A	2
Cu	A + C	1 + 4
Hg	B	3
K	A	5
Mo	A	2
Na	A	5
Ni	A	2
Pb	A + C	1 + 4
Sn	A	2
Zn	A	4

#: For visse elementer er anvendt flere forskellige forbehandlingsmetoder. Dette beror på forskelle i prøvematrix.

*: For visse elementer er anvendt to forskellige analysemetoder. Dette beror på forskelle i koncentrationsniveau.

Alle vandige prøver er konserveret med kvartsdestilleret salpetersyre til pH < 2 og opbevaret ved stuetemperatur.

A : Prøven er målt direkte.

B : Destruktion efter Dansk Standard DS 259.

40 ml prøve er afmålt i glasflasker. 10 ml koncentreret salpetersyre er tilsat. Prøveblandingen er opvarmet i en autoklave til 120 °C (200 kPa) i 30 minutter.

C: Måling på ekstraheret delp prøve.

Forud for måling er en delp prøve tilsat natriumacetat buffer, rensat ammonium pyrrolidin dithiocarbamat og rystet. Methyl isobutyl keton tilsættes ovenstående opløsning, som herefter rystes igen. Efter separation anvendes den organiske fase til bestemmelse af metaller.

1 : Atomabsorptionsspektrofotometri med grafitovnsteknik.

Der er anvendt baggrundskorrektion, standardadditionsteknik, og der er foretaget dobbeltbestemmelse.

2: Atomabsorptionsspektrofotometri med grafitovnsteknik.

Der er anvendt baggrundskorrektion og der er foretaget dobbeltbestemmelse. Måling er foretaget ved brug af en kalibreringskurve. Analysen er udført af Miljø- og Levnedsmiddelkontrollen i Helsingør.

3 : Atomabsorptionsspektrofotometri med cold vapour teknik.

Der er anvendt baggrundskorrektion, standardadditionsteknik, amalgamopkoncentreringsteknik og der er foretaget dobbeltbestemmelse.

4 : Atomabsorptionsspektrofotometri med flammeteknik.

Der er anvendt baggrundskorrektion, og der er foretaget dobbeltbestemmelse. Måling er foretaget ved brug af en kalibreringskurve.

5 : Flamme-atomemissionsspektrofotometri.

Måling er foretaget ved brug af en kalibreringskurve, og der er foretaget dobbeltbestemmelse.

6: Atomabsorptionsspektrofotometri med hydridteknik efter reduktion af arsen med kaliumiodid og saltsyre. Analyseret direkte med hydridteknik under anvendelse af natriumborhydrid. Der er anvendt baggrundskorrektion, standardadditionsteknik, og der er foretaget dobbeltbestemmelse.

7: Prøvens indhold af calcium er bestemt efter DS 248 ved titrering med EDTA, hvor ækvivalentpunktet bestemmes ved farveomslag med calconcarbonsyre.

IKKE-FLYGTIGT ORGANISK KULSTOF (NVOC) I VANDPRØVER

Prøven tilsættes syre til pH = 2, hvorefter prøven blæses fri for CO₂ og flygtige organiske forbindelser med N₂. Prøvens indhold af organiske forbindelser oxideres med peroxodisulfat under UV-belysning, og dannet CO₂ kvantificeres ved IR-spektrofotometri. Der benyttes et Dohrmann DC-80 apparat ved analysen.

ALKALINITET

Bestemmelsen af alkaliniteten foretages ved en potentiometrisk titrering med saltsyre. Prøvens alkalinitet defineres som det antal mmol hydrogenioner, der forbruges pr. liter for at nå ækvivalenspunktet for omdannelse af hydrogencarbonat til carbon-dioxid, dvs. til pH 4 - 5.

KLORID (Cl)

Prøvens indhold af klorid bestemmes efter DS 239 ved titrering med sølvnitrat, hvor ækvivalentpunktet bestemmes ved måling af en sølvelektrodes potentiale.

KONDUKTIVITET

Prøvens konduktivitet bestemmes elektrometrisk efter DS 288, idet konduktiviteten ved den aktuelle måletemperatur omregnes til konduktiviteten ved referencetemperaturen 25 °C.

Ph

pH bestemmes ved potentiometrisk måling efter DS 287.

SULFAT

Indholdet af sulfat bestemmes turbidimetrisk efter Standard Methods 426 C. Prøvens indhold af sulfat reagerer med et overskud af bariumchlorid, og den dannede mængde bariumsulfat måles turbidimetrisk.

TØRSTOF

Tørstofindholdet bestemmes ved at en kendt prøvemængde tørres ved 105°C, og den tilbageværende rest vejes (DS 204).

TOTAL NITROGEN

Prøvens indhold af nitrogen bestemmes ved oxidation med kaliumperoxodisulfat til nitrat og bestemmelse af den dannede nitrat. Dette sker ved reduktion til nitrit, diazotering af sulfanilamid og kobling til N-(1-naphthyl)-ethylendiamin. Det dannede azofarvestof bestemmes spektrofotometrisk ved 545 nm (DS 221).

TOTAL-FOSFOR

Prøvens indhold af total-fosfor bestemmes ved oxidation af fosforforbindelser til ortho-fosfat. Den dannede ortho-fosfat bestemmes ved reaktion med ammoniummolybdat, der under katalytisk indvirkning af kaliumantimonyltartrat reduceres af ascorbinsyre til molybdænblåt, hvis absorbans måles ved 880 nm (DS 292).

**Analyser udført af
Niro Atomizer A/S**

Ole Hjelmar
VKI

Your ref.

Our ref.

Date

R&D-KKN/DN 1990.10.15

Efter aftale med EJ er udført partikelstørrelsesanalyse på de 4 nedenfor nævnte pulvere samt på materialet mærket GRAAB.

De tørre prøver er først sigtet på en rystesigter ved hjælp af free-flowing agent og gummiklodser. I den fine fraktion er dernæst bestemt partikelstørrelsesfordeling ved brug af Malvern 2600 C. Pulveret blev doseret tørt.

Prøven mærket GRAAB blev suspenderet i isopropanol ved brug af ultralyd og partikelstørrelsesfordelingen bestemt med Malvern. Der er lavet en dobbeltbestemmelse og den viser meget varierende resultater.

En mikroskopisk undersøgelse af pulveret viser, at det er meget uensartet og da der tages små mængder i brug, kan spredningen godt forklares ved usikkerhed i prøveudtagningen. GRAAB-prøven bør analyseres på anden måde, enten mikroskopisk eller efter tørring på samme måde som de andre pulvere.

Partikelstørrelsesfordeling - sigteanalyse

	Refa	Kara	Amager	Nordforbr.
% > 710 μ m	0,2	0,7	0,3	0,1
% > 500 μ m	0,4	1,3	0,4	0,6
% > 355 μ m	1,0	2,5	1,2	2,4
% > 250 μ m	4,2	6,4	3,3	47,3
% > 180 μ m	17,9	16,3	7,9	61,1
% > 125 μ m	57,5	36,4	14,2	76,6
% > 90 μ m	96,6	61,0	27,1	87,7
% < 125 μ m	42,5	63,6	85,8	23,4

Partikelstørrelsesfordelingen for fraktionen mindre end 125 μ m fremgår af vedlagte kurver.

Kirsten Kragh Nielsen

Kirsten Kragh Nielsen

NIRO

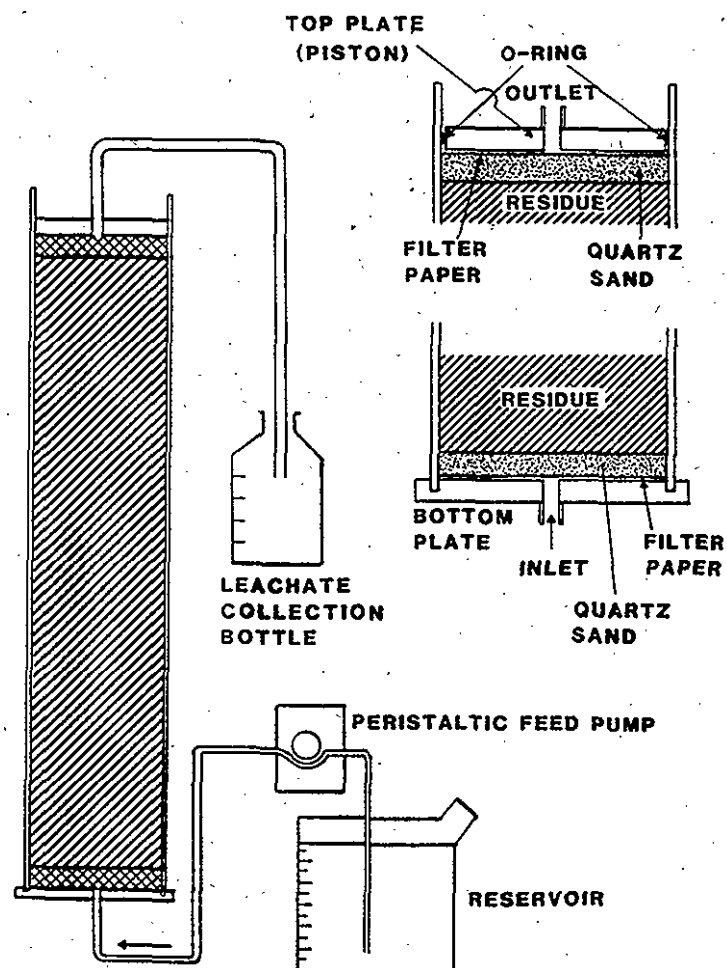
analyse nr.	specie	GRAAB	REFA (som modtaget.---)	KARA	AMAGER	NORD	enhed	metode
a	sulfit	0.5	2.0	1.5	3.4	1.3	%	jodometrisk titrering
b	total sulfat	6.2	7.0	8.3	9.9	9.5	%	ionkromatografi efter oxidering af sulf
c	tiig. kalk	0.4	33.1	12.6	8.8	18.4	%	ASTM
d	kuldioxid	0.7	2.0	2.2	2.4	1.2	%	opsamling i base efter sulfitoxidation.
e	klorid	3.2	11.7	12.9	14.3	19.0	%	titrering med indikator
f	vand v. 85 gr C	48.9	0.6	0.7	1.0	0.3	%	varmeskab i 3 timer.
			(paa toerstoffbasis.---)					
g	sulfit	0.9	2.0	1.5	3.5	1.3	%	som SO3--
h	sulfat	11.0	4.6	6.6	5.9	8.0	%	som SO4--
i	tiig. kalk	0.9	33.3	12.7	8.9	18.5	%	som Ca(OH)2
j	kuldioxid	1.4	2.0	2.2	2.4	1.2	%	som CO2
k	klorid	6.3	11.8	13.0	14.5	19.0	%	som Cl-
			(som kemisk forbindelse.---)					
l	CaSO3*0.5 H2O	1	3	2	6	2	%	
m	CaSO4*2 H2O	20	8	12	11	14	%	tvivlsom hydratiseringsgrad
n	Ca(OH)2	1	33	13	9	18	%	
o	CaCO3	3	5	5	6	3	%	
p	CaCl2	10	18	20	23	30	%	tvivlsom hydratiseringsgrad
q	Salte ialt	35	68	52	53	67	%	
	SiO2	26	15	21	20	12	%	atomabsorption efter flussyreaabning
	Al2O3	13	4	7	9	5	%	atomabsorption efter flussyreaabning
	Fe2O3	2	2	3	1	1	%	atomabsorption efter flussyreaabning
	MgO	4	1	2	2	2	%	atomabsorption efter flussyreaabning
	K2O	4	4	4	3	4	%	atomabsorption efter flussyreaabning
	Na2O	4	2	2	3	2	%	atomabsorption efter flussyreaabning
	Flyveaske ialt	53	28	38	37	25	%	Ti, P, Pb, Zn + andre mangler.
	Analysesum	88	96	90	91	93	%	
	CaO analyse	15	35	27	27	32	%	atomabsorption
	CaO calc	14	41	28	27	36	%	beregnet fra anionanalyserne
	Kontrolanalyse							

Kolonne- og Batchudvaskningsforsøg

Kolonneforsøgene er udført i acrylplastkolonner ($\varnothing=14,5$ cm, upflow, se figur 1) med demineraliseret vand indstillet til pH = 4 med Suprapur HNO_3 . Vandtilførslen til kolonnerne (ca. 300 ml/døgn, svarende til 17-18 mm/døgn over kolonnernes tværsnitsareal) blev afbrudt, da kolonnematerialet var vandmættet, og først genoptaget efter ca. 1 måneds henstand for at give eventuelle hærdningsreaktioner mulighed for at forløbe inden perkolatopsamlingen påbegyndtes. Der noteredes en betydelig varmeudvikling i kolonnerne med tørt og semitørt produkt. Materialet i kolonnerne E, F og G (AF) ekspanderede betydeligt, for kolonne F's vedkommende så meget, at stempellåget i toppen blev skubbet af, og det var efter opsamlingen af første perkolatfraktion nødvendigt at fjerne materiale svarende til 0,7 kg tørstof.

De opsamlede perkolatfraktioner blev efter måling af pH og ledningsevne straks filtreret gennem et $0,5 \mu\text{m}$ filter og analyseret/konserveret til senere analysering eller testning. Der opsamledes perkolatfraktioner svarende til $\text{L/S} = 0,0-0,2$, $\text{L/S} = 0,2-0,5$, $\text{L/S} = 0,5-1,0$ og $\text{L/S} = 1,0-2,0$. Herefter blev forsøgene afbrudt, og kolonnematerialet anbragt i lufttæt emballage efter grundig blanding. I tabel 1 ses en oversigt over kolonneforsøgene.

Delprøver af materialet fra batchforsøgene blev herefter i lukkede polypropylenbeholdere, som bragtes til at rotere omkring deres tværakse 10 gange/min, udvasket i 2 gange 23 timer med demineraliseret vand indstillet til pH = 4 med Suprapur HNO_3 , først ved $\text{L/S} = 3$ (2 - 5) og dernæst $\text{L/S} = 20$ (5 - 25). Perkolatfraktionerne (ekstrakterne) filtreredes og behandledes på samme måde som perkolatet fra kolonneforsøgene.



Figur 1
Principskitse af kolonneforsøg.

Tabel 1
Oversigt over kolonneforsøg.

KOLONNE	RESTPRODUKTTYPE	RESTPRODUKTMÆNGDE kg (tørvægt)
A	GRAAB (vådproces + FA)	9,7
B	KARA (semitørt)	12,6
C	NORD (tørt)	9,0
D	REFA (tørt)	10,8
E	AF (semitørt)	9,7
F	AF (semitørt)	9,4*
G	AF (semitørt)	9,8

* 8,7 kg efter opsamling af første fraktion.

UDVASKNINGSFORSØG A: KOLONNE: L/S = 0 - 2, BATCH: L/S = 2 - 25
 FLYVEASKEHOLDIGT VADPRODUKT FRA GRAAB I GÖTEBORG
 TØRVEGT AF MATERIALE: 9.7 KG (48 % TØRSTOF)
 KOLONNEDIAMETER: 0.145 M
 UDVASKET MED: KUNSTIGT REGNVAND I UPFLOW (pH = 4.0)

Perkolatets sammensætning:

PARAMETER	ENHED	L/S	L/S	L/S	L/S	L/S	L/S
		0.0 - 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	2.0 - 5.0	5.0 - 25
pH	-	9.0	9.0	9.8	10.2	10.6	10.6
Ledningsevne	mS/m	15000	15000	11000	800	320	170
Opløst tørstof	mg/l	116000	117000	82000	6000		1600
Alkalinitet	mækv/l	0.96	2.2	1.3	1.1	2.4	2.0
Sulfat	mg/l	2100	2200	2700	2500	1700	1100
Klorid	mg/l	65000	65000	44000	1500	36	2.8
Ca	mg/l	5800	5800	4900	620	540	460
Na	mg/l	23000	24000	15000	600	220	15
K	mg/l	23000	24000	15000	760	210	19
Cd	mg/l	0.0006	0.0009	< 0.00004	< 0.00004	0.00003	< 0.00002
Cu	mg/l	0.00091	0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0005	< 0.0005
Hg	mg/l	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005		
Pb	mg/l	0.0019	0.00011	0.00007	0.00010	< 0.0001	< 0.0001
Zn	mg/l	0.02	0.020	< 0.01	< 0.01	< 0.02	< 0.02
NVOC	mg/l	8	9	6	3.5	3.6	2.8
Akkumuleret L/S		0.2	0.5	1.0	2.0	5.0	25
Gnsntl. L/S for fraktion		0.1	0.35	0.75	1.5	3.5	15

Akkumulerede udvaskede
 stofmængder:

Opløst tørstof	mg/kg	23200	58300	99300	105300	105300	110100
Alkalinitet	mækv/kg	0.19	0.85	1.5	2.6	9.8	16
Sulfat	mg/kg	420	1080	2430	4930	10030	13330
Klorid	mg/kg	13000	32500	54500	56000	56108	56116
Ca	mg/kg	1160	2900	5350	5970	7590	8970
Na	mg/kg	4600	11800	19300	19900	20560	20605
K	mg/kg	4600	11800	19300	20060	20690	20747
Cd	mg/kg	0.00012	0.00039	< 0.00041	< 0.00045	< 0.00054	< 0.0006
Cu	mg/kg	0.00018	0.00021	< 0.00026	< 0.00036	< 0.0019	< 0.0034
Hg	mg/kg	< 0.0001	< 0.0003	< 0.0005	< 0.001		
Pb	mg/kg	0.00038	0.00041	0.00045	0.00055	< 0.0008	< 0.0011
Zn	mg/kg	0.004	0.01	< 0.02	< 0.03	< 0.09	< 0.15
NVOC	mg/kg	1.6	4.3	7.3	11	22	30

UDVASKNINGSFORSØG B: KOLONNE: L/S = 0 - 2, BATCH: L/S = 2 - 25
 RESTPRODUKT: SEMITØRT RESTPRODUKT FRA I/S KARA
 TØRVÆGT AF MATERIALE: 12.6 KG
 KOLONNEDIAMETER: 0.145 M
 UDVASKET MED: KUNSTIGT REGNVAND I UPFLOW (pH = 4.0)

Perkolatets sammensætning:

PARAMETER	ENHED	L/S 0.0 - 0.2	L/S 0.2 - 0.5	L/S 0.5 - 1.0	L/S 1.0 - 2.0	L/S 2.0 - 5.0	L/S 5.0 - 25
pH	-	10.2	11.1	11.5		12.6	12.3
Ledningsevne	mS/m	21000	21000	13000	3100	910	510
Opløst tørstof	mg/l	400000	240000	150000	21000	2500	1700
Alkalinitet	mækv/l	190	47	41	42	46	26
Sulfat	mg/l	160	380	900	47	11	8.2
Klorid	mg/l	250000	140000	65000	9600	150	20
Ca	mg/l	110000	54000	28000	4800	600	530
Na	mg/l	19000	16000	6000	1700	260	9
K	mg/l	37000	30000	11000	1600	380	14
Cd	mg/l	1.9	0.11	0.0052	0.00067	< 0.00002	0.00003
Cu	mg/l	18	0.48	0.83	0.25	0.035	0.020
Hg	mg/l	< 0.003	< 0.003	< 0.0005	< 0.0005		
Pb	mg/l	750	61	9.0		27	11
Zn	mg/l		75	25	4.6	1.4	0.90
NVOC	mg/l	35	20	13	7	4.2	1.6
Akkumuleret L/S		0.2	0.5	1.0	2.0	5.0	25
Gnsntl. L/S for fraktion		0.1	0.35	0.75	1.5	3.5	15

Akkumulerede udvaskede
 stofmængder:

Opløst tørstof	mg/kg	80000	152000	227000	248000	255500	260600
Alkalinitet	mækv/kg	38	52	73	115	253	331
Sulfat	mg/kg	32	146	596	643	676	701
Klorid	mg/kg	50000	92000	124500	134100	134550	134610
Ca	mg/kg	22000	38200	52200	57000	58800	60390
Na	mg/kg	3800	8600	11600	13300	14080	14107
K	mg/kg	7400	16400	21900	23500	24640	24682
Cd	mg/kg	0.38	0.41	0.42	0.42	0.42	0.42
Cu	mg/kg	3.6	3.7	4.2	4.4	4.5	4.6
Hg	mg/kg	< 0.0006	< 0.0015	< 0.0018	< 0.0023		
Pb	mg/kg	150	168	173		> 250	> 287
Zn	mg/kg		23	35	40	44	47
NVOC	mg/kg	7	13	20	27	39	44

UDVASKNINGSFORSØG C: KOLONNE: L/S = 0 - 2, BATCH: L/S = 2 - 25
 RESTPRODUKT: TØRT RESTPRODUKT FRA I/S NORDFORBRÆNDING
 TØRVÆGT AF MATERIALE: 9.0 KG
 KOLONNEDIAMETER: 0.145 M
 UDVASKET MED: KUNSTIGT REGNVAND I UPFLOW (pH = 4.0)

Perkolatets sammensætning:

PARAMETER	ENHED	L/S 0.0 - 0.2	L/S 0.2 - 0.5	L/S 0.5 - 1.0	L/S 1.0 - 2.0	L/S 2.0 - 5.0	L/S 5.0 - 25
pH	-	9.7	10.2	11.4	12.3	12.7	12.5
Ledningsevne	mS/m	15000	20000	19000	1600	990	760
Opløst tørstof	mg/l	520000	450000	190000	9000		1900
Alkalinitet	mækv/l	540	250	64	44	48	41
Sulfat	mg/l	270	39	2500	1700	< 5	2.5
Klorid	mg/l	310000	260000	110000	3200	220	36
Ca	mg/l	160000	120000	42000	2400	400	810
Na	mg/l	7500	16000	18000	310	420	24
K	mg/l	22000	29000	18000	500	680	41
Cd	mg/l	0.91	0.64	0.12	0.0012	< 0.00002	0.00006
Cu	mg/l	37	40	4.9	0.47	0.0006	0.0020
Hg	mg/l	< 0.003	< 0.003	< 0.0005	< 0.0005		
Pb	mg/l	11000	3000	510	3.4	1.9	2.7
Zn	mg/l	550	500	83	5.7	0.87	1.5
NVOC	mg/l	45	35	19	12	6.2	1.9
Akkumuleret L/S		0.2	0.5	1.0	2.0	5.0	25
Gnsntl. L/S for fraktion		0.1	0.35	0.75	1.5	3.5	15

Akkumulerede udvaskede
 stofmængder:

Opløst tørstof	mg/kg	104000	239000	334000	343000	343000	348700
Alkalinitet	mækv/kg	108	183	215	259	403	526
Sulfat	mg/kg	54	66	1316	3016	3016	3023
Klorid	mg/kg	62000	140000	195000	198200	198860	198968
Ca	mg/kg	32000	68000	89000	91400	92600	95030
Na	mg/l	1500	6300	15300	15610	16870	16942
K	mg/l	4400	13100	22100	22600	24640	24763
Cd	mg/kg	0.18	0.37	0.43	0.44	0.44	0.44
Cu	mg/kg	7.4	19	22	22	22	22
Hg	mg/kg	< 0.0006	< 0.0015	< 0.0018	< 0.0023		
Pb	mg/kg	2200	3100	3355	3358	3364	3372
Zn	mg/kg	110	260	302	307	310	314
NVOC	mg/kg	9	20	29	41	60	65

UDVASKNINGSFORSØG D: KOLONNE: L/S = 0 - 2, BATCH: L/S = 2 - 25
 RESTPRODUKT: TØRT RESTPRODUKT FRA I/S REFA
 TØRVÆGT AF MATERIALE: 10.8 KG
 KOLONNEDIAMETER: 0.145 M
 UDVASKET MED: KUNSTIGT REGNVAND I UPFLOW (pH = 4.0)

Perkolatets sammensætning:

PARAMETER	ENHED	L/S 0.0 - 0.2	L/S 0.2 - 0.5	L/S 0.5 - 1.0	L/S 1.0 - 2.0	L/S 2.0 - 5.0	L/S 5.0 - 25
pH	-	10.8	11.4	11.6	12.2	12.6	12.5
Ledningsevne	mS/m	27000	22000	12000	2200	900	790
Opløst tørstof	mg/l	340000	230000	110000	14000	2500	
Alkalinitet	mækv/l	87	62	55	40	45	42
Sulfat	mg/l	430	540	200	32	< 5	4.4
Klorid	mg/l	190000	130000	64000	6400	120	25
Ca	mg/l	48000	49000	40000	3900	600	840
Na	mg/l	37000	9500	1000	340	190	8
K	mg/l	66000	41000	2800	630	340	14
Cd	mg/l	0.23	0.023	0.00029	0.00015	< 0.00002	0.00002
Cu	mg/l	3.4	1.5	1.0	0.26	< 0.0005	0.0053
Hg	mg/l	< 0.003	< 0.003	< 0.0005	< 0.0005		
Pb	mg/l	1800	840	180	6.1	3.8	4.3
Zn	mg/l	38	39	19	1.4	0.49	0.69
NVOC	mg/l	24	17	11	9	4.6	3.5
Akkumuleret L/S		0.2	0.5	1.0	2.0	5.0	25
Gsnthl. L/S for fraktion		0.1	0.35	0.75	1.5	3.5	15

Akkumulerede udvaskede
stofmængder:

Opløst tørstof	mg/kg	68000	137000	192000	206000	213500	
Alkalinitet	mækv/kg	17	36	64	104	239	365
Sulfat	mg/kg	86	248	348	380	380	393
Klorid	mg/kg	38000	77000	109000	115400	115760	115835
Ca	mg/kg	9600	24300	44300	48200	50000	52520
Na	mg/kg	7400	10250	10750	11090	11660	11684
K	mg/kg	13200	25500	26900	27530	28550	28592
Cd	mg/kg	0.046	0.053	0.053	0.053	0.053	0.053
Cu	mg/kg	0.68	1.1	1.6	1.9	1.9	1.9
Hg	mg/kg	< 0.0006	< 0.0015	< 0.0018	< 0.0023		
Pb	mg/kg	360	612	702	708	720	732
Zn	mg/kg	8	19	29	30	32	34
NVOC	mg/kg	4.8	9.9	15	24	38	49

UDVASKNINGSFORSØG E: KOLONNE: L/S = 0 - 2; BATCH: L/S = 2 - 25
 RESTPRODUKT: SEMITØRT RESTPRODUKT FRA I/S AMAGERFORBRÆNDING
 TØRVÆGT AF MATERIALE: 9.7 KG
 KOLONNEDIAMETER: 0.145 M
 UDVASKET MED: KUNSTIGT REGNVAND I UPFLOW (pH = 4.0)

Perkolatets sammensætning:

PARAMETER	ENHED	L/S 0.0 - 0.2	L/S 0.2 - 0.5	L/S 0.5 - 1.0	L/S 1.0 - 2.0	L/S 2.0 - 5.0	L/S 5.0 - 25
pH	-	9.8	10.9	11.6	12.3	12.6	12.2
Ledningsevne	mS/m	18000	22000	12000	1600	870	370
Opløst tørstof	mg/l	490000	300000	120000	7700	2500	970
Alkalinitet	mækv/l	200	73	48	39	43	19
Sulfat	mg/l	150	35	110	41	10	40
Klorid	mg/l	270000	170000	57000	3700	170	21
Ca	mg/l	140000	61000	27000	2200	550	380
Na	mg/l	16000	22000	3400	370	290	12
K	mg/l	28000	26000	9300	450	290	12
Cd	mg/l	1.5	0.26	0.005	< 0.00004	< 0.00002	0.00003
Cu	mg/l	0.95	0.14	0.014	0.002	0.013	0.0055
Hg	mg/l	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005		
Pb	mg/l	200	3.3	0.80	0.0078	26	7.7
Zn	mg/l	630	210	22	3.0	1.6	0.71
NVOC	mg/l	450	440	350	80	43	4.0
Akkumuleret L/S		0.2	0.5	1.0	2.0	5.0	25
Gnsntl. L/S for fraktion		0.1	0.35	0.75	1.5	3.5	15

Akkumulerede udvaskede
 stofmængder:

Opløst tørstof	mg/kg	98000	188000	248000	255700	263200	266110
Alkalinitet	mækv/kg	40	61.9	85.9	125	254	311
Sulfat	mg/kg	30	41	96	137	167	287
Klorid	mg/kg	54000	105000	133500	137200	137710	137773
Ca	mg/kg	28000	46300	59800	62000	63650	64790
Na	mg/kg	3200	9800	11500	11870	12740	12776
K	mg/kg	5600	13400	18050	18500	19370	19406
Cd	mg/kg	0.30	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38
Cu	mg/kg	0.19	0.23	0.24	0.24	0.28	0.30
Hg	mg/kg	< 0.0001	< 0.0003	< 0.0005	< 0.001		
Pb	mg/kg	40	41	41	41	119	142
Zn	mg/kg	126	189	200	203	208	210
NVOC	mg/kg	90	222	397	477	606	618

UDVASKNINGSFORSØG F: KOLONNE: L/S = 0 - 2, BATCH: L/S = 2 - 25
 RESTPRODUKT: SEMITØRT RESTPRODUKT FRA I/S AMAGERFORBRÆNDING
 TØRVEGT AF MATERIALE: 9.4 KG (8.7 KG EFTER OPSAMLING AF 1. FRAKTION)
 KOLONNEDIAMETER: 0.145 M
 UDVASKET MED: KUNSTIGT REGNVAND I UPFLOW (pH = 4.0)

Perkolatets sammensætning:

PARAMETER	ENHED	L/S	L/S	L/S	L/S	L/S	L/S
		0.0 - 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	2.0 - 5.0	5.0 - 25
pH	-	10.0	11.0	11.7	12.4	12.6	12.1
Ledningsevne	mS/m	20000	21000	9000	1100	900	270
Opløst tørstof	mg/l	430000	280000	93000	4600		770
Alkalinitet	mækv/l	140	71	41	40	45	13
Sulfat	mg/l	160	150	180	70	5.4	24
Klorid	mg/l	270000	160000	39000	1500	120	23
Ca	mg/l	120000	58000	21000	2100	540	290
Na	mg/l	22000	20000	7500	230	300	12
K	mg/l	31000	24000	4400	220	300	12
Cd	mg/l	0.29	0.07	< 0.00004	< 0.00004	< 0.00002	< 0.00002
Cu	mg/l	0.17	0.050	0.0013	< 0.0001	0.013	0.0025
Hg	mg/l	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005		
Pb	mg/l	18	1.0	0.025	0.0005	35	5.4
Zn	mg/l	390	170	13	2.6	1.5	0.48
NVOC	mg/l	640	640	340	65	47	4.0
Akkumuleret L/S		0.2	0.5	1.0	2.0	5.0	25
Gnsntl. L/S for fraktion		0.1	0.35	0.75	1.5	3.5	15

Akkumulerede udvaskede
stofmængder:

Opløst tørstof	mg/kg	86000	170000	216500	221100		> 223410
Alkalinitet	mækv/kg	28	49	70	110	245	284
Sulfat	mg/kg	32	77	167	237	253	325
Klorid	mg/kg	54000	102000	121500	123000	123360	123429
Ca	mg/kg	24000	41400	51900	54000	55620	56490
Na	mg/kg	4400	10400	14150	14380	15280	15316
K	mg/kg	6200	13400	15600	15820	16720	16756
Cd	mg/kg	0.058	0.079	0.079	0.079	0.079	0.079
Cu	mg/kg	0.034	0.049	0.050	0.050	0.089	0.096
Hg	mg/kg	< 0.0001	< 0.0003	< 0.0005	< 0.001		
Pb	mg/kg	3.6	3.9	3.9	3.9	109	125
Zn	mg/kg	78	129	136	138	143	144
NVOC	mg/kg	128	320	490	555	696	708

UDVASKNINGSFORSØG G: KOLONNE: L/S = 0 - 2, BATCH: L/S = 2 - 25
 RESTPRODUKT: SEMITØRT RESTPRODUKT FRA I/S AMAGERFORBRÆNDING
 TØRVÆGT AF MATERIALE: 9.8 KG
 KOLONNEDIAMETER: 0.145 M
 UDVASKET MED: KUNSTIGT REGNVAND I UPFLOW (pH = 4.0)

Perkolatets sammensætning:

PARAMETER	ENHED	L/S 0.0 - 0.2	L/S 0.2 - 0.5	L/S 0.5 - 1.0	L/S 1.0 - 2.0	L/S 2.0 - 5.0	L/S 5.0 - 25
pH	-	9.8	11.0	11.6	12.4	12.6	12.2
Ledningsevne	mS/m	16000	22000	11000	1300	840	350
Opløst tørstof	mg/l	512000	310000	110000	10000	3200	970
Alkalinitet	mækv/l	240	78	45	42	44	42
Sulfat	mg/l	160	54	240	51	26	22
Klorid	mg/l	300000	180000	50000	2000	97	21
Ca	mg/l	160000	60000	13000	1600	540	390
Na	mg/l	8000	26000	6600	230	260	11
K	mg/l	19000	29000	8400	230	250	10
Cd	mg/l	0.099	0.015	0.00060	< 0.00004	< 0.00002	0.00003
Cu	mg/l	0.21	0.050	0.0027	0.0016	0.024	0.0068
Hg	mg/l	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005		
Pb	mg/l	2.2	0.18	0.031	0.00083	29	8.6
Zn	mg/l	730	150	37	3.0	1.5	0.77
NVOC	mg/l	300	350	230	65	32	3.3
Akkumuleret L/S		0.2	0.5	1.0	2.0	5.0	25
Gnsntl. L/S for fraktion		0.1	0.35	0.75	1.5	3.5	15

Akkumulerede udvaskede
 stofmængder:

Opløst tørstof	mg/kg	102400	195400	250400	260400	270000	272910
Alkalinitet	mækv/kg	48	71	94	136	268	394
Sulfat	mg/kg	32	48	168	219	297	363
Klorid	mg/kg	60000	114000	139000	141000	141291	141354
Ca	mg/kg	32000	50000	56500	58100	59720	60890
Na	mg/kg	1600	9400	12700	12930	13710	13743
K	mg/kg	3800	12500	16700	16930	17680	17710
Cd	mg/kg	0.020	0.024	0.025	0.025	0.025	0.025
Cu	mg/kg	0.042	0.057	0.058	0.060	0.13	0.15
Hg	mg/kg	< 0.0001	< 0.0003	< 0.0005	< 0.001		
Pb	mg/kg	0.44	0.49	0.51	0.51	88	113
Zn	mg/kg	146	191	210	213	217	219
NVOC	mg/kg	60	165	280	345	441	451

UDVASKNINGSFORSØG E/F/G: KOLONNE: L/S = 0 - 2, BATCH: L/S = 2 - 25
 RESTPRODUKT: SEMITØRT RESTPRODUKT FRA I/S AMAGERFORBRENDING
 TØRVÆGT AF MATERIALE: 9.7 KG/9.4 KG/9.8 KG
 KOLONNEDIAMETER: 0.145 M
 UDVASKET MED: KUNSTIGT REGNVAND I UPFLOW (pH = 4.0)

Perkolatets sammensætning:

PARAMETER	ENHED	L/S 0.0 - 0.2	L/S 0.2 - 0.5	L/S 0.5 - 1.0	L/S 1.0 - 2.0	L/S 2.0 - 5.0	L/S 5.0 - 25
pH	-	9.8-10.0	10.9-11.0	11.6-11.7	12.3-12.4	12.4-12.6	12.1-12.2
Ledningsevne	mS/m	18000	22000	11000	1300	870	330
Opløst tørstof	mg/l	480000	300000	110000	7400	1900	900
Alkalinitet	mekv/l	190	74	45	40	44	25
Sulfat	mg/l	160	80	180	54	14	29
Klorid	mg/l	280000	170000	49000	2400	130	22
Ca	mg/l	140000	60000	20000	2000	540	350
Na	mg/l	15000	23000	5800	280	280	12
K	mg/l	26000	26000	7400	300	280	11
Cd	mg/l	0.63	0.12	0.0019	0.00004	< 0.00002	0.00003
Cu	mg/l	0.44	0.080	0.006	< 0.0012	0.017	0.005
Hg	mg/l	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005		
Pb	mg/l	73	1.5	0.29	0.003	30	7.2
Zn	mg/l	580	180	24	2.9	1.5	0.65
NVOC	mg/l	470	480	310	70	41	3.8
Akkumuleret L/S		0.2	0.5	1.0	2.0	5.0	25
Gnsntl. L/S for fraktion		0.1	0.35	0.75	1.5	3.5	15

Akkumulerede udvaskede
stofmængder:

Opløst tørstof	mg/kg	95467	184467	238300	245733	251433	254143
Alkalinitet	mekv/kg	39	61	83	124	256	330
Sulfat	mg/kg	31	55	144	198	239	325
Klorid	mg/kg	56000	107000	131333	133733	134120	134185
Ca	mg/kg	28000	45900	56067	58033	59663	60723
Na	mg/kg	3067	9867	12783	13060	13910	13945
K	mg/kg	5200	13100	16783	17083	17923	17957
Cd	mg/kg	0.13	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Cu	mg/kg	0.089	0.11	0.12	0.12	0.17	0.18
Hg	mg/kg	< 0.0001	< 0.0003	< 0.0005	< 0.001		
Pb	mg/kg	15	15	15	15	105	127
Zn	mg/kg	117	170	182	185	189	191
NVOC	mg/kg	93	236	389	459	581	592

ANALYSER AF KOMBINEREDE PERKOLATFRAKTIONER

UDVASKNINGSFORSØG A: KOLONNE: L/S = 0 - 2; BATCH: L/S = 2 - 25
 FLYVEASKEHOLDIGT VÅDPRODUKT FRA GRAAB I GÖTEBORG
 TØRVÆGT AF MATERIALE: 9.7 KG (48 % TØRSTOF)
 KOLONNEDIAMETER: 0.145 M
 UDVASKET MED: KUNSTIGT REGNVAND I UPFLOW (pH = 4.0)

Perkolatets sammensætning:

PARAMETER	ENHED	L/S	L/S	L/S
		0.0 - 1.0	1.0 - 5.0	5.0 - 25
As	mg/l	0.019	0.011	0.011
Cr	mg/l	< 0.003	0.013	0.023
Mo	mg/l	7.9	0.83	0.027
Ni	mg/l	< 0.05	< 0.004	< 0.004
Sn	mg/l	< 0.1	< 0.05	< 0.1
Akkumuleret L/S		1.0	5.0	25
Gnsntl. L/S for fraktion		0.5	3.0	15

Akkumulerede udvaskede stofmængder:

As	mg/kg	0.019	0.063	0.283
Cr	mg/kg	< 0.003	0.052	0.51
Mo	mg/kg	7.9	11	12
Ni	mg/kg	< 0.05	< 0.066	< 0.15
Sn	mg/kg	< 0.1	< 0.3	< 2.3

ANALYSER AF KOMBINEREDE PERKOLATFRAKTIONER

UDVASKNINGSFORSØG B: KOLONNE: L/S = 0 - 2, BATCH: L/S = 2 - 25
 RESTPRODUKT: SEMITØRT RESTPRODUKT FRA I/S KARA
 TØRVÆGT AF MATERIALE: 12.6 KG
 KOLONNEDIAMETER: 0.145 M
 UDVASKET MED: KUNSTIGT REGNVAND I UPFLOW (pH = 4.0)

Perkolatets sammensætning:

PARAMETER	ENHED	L/S	L/S	L/S
		0.0 - 1.0	1.0 - 5.0	5.0 - 25
As	mg/l	0.015	0.0008	0.0009
Cr	mg/l	1.1	< 0.003	0.004
Mo	mg/l	0.51	0.083	0.029
Ni	mg/l	< 0.05	< 0.004	< 0.004
Sn	mg/l	< 0.1	< 0.004	< 0.004
Akkumuleret L/S		1.0	5.0	25
Gnsntl. L/S for fraktion		0.5	3.0	15

Akkumulerede udvaskede stofmængder:

As	mg/kg	0.015	0.018	0.036
Cr	mg/kg	1.1	1.1	1.2
Mo	mg/kg	0.51	0.84	1.4
Ni	mg/kg	< 0.05	< 0.066	< 0.15
Sn	mg/kg	< 0.1	< 0.12	< 0.2

ANALYSER AF KOMBINEREDE PERKOLATFRAKTIONER

UDVASKNINGSFORSØG C: KOLONNE: L/S = 0 - 2, BATCH: L/S = 2 - 25
 RESTPRODUKT: TØRT RESTPRODUKT FRA I/S NORDFORBRÆNDING
 TØRVÆGT AF MATERIALE: 9.0 KG
 KOLONNEDIAMETER: 0.145 M
 UDVASKET MED: KUNSTIGT REGNVAND I UPFLOW (pH = 4.0)

Perkolatets sammensætning:

PARAMETER	ENHED	L/S	L/S	L/S
		0.0 - 1.0	1.0 - 5.0	5.0 - 25
As	mg/l	0.021	0.0007	0.0004
Cr	mg/l	2.3	0.004	0.003
Mo	mg/l	0.61	0.072	0.019
Ni	mg/l	< 0.1	< 0.002	< 0.002
Sn	mg/l	< 0.1		< 0.04
Akkumuleret L/S		1.0	5.0	25
Gnsntl. L/S for fraktion		0.5	3.0	15

Akkumulerede udvaskede
 stofmængder:

As	mg/kg	0.021	0.024	0.032
Cr	mg/kg	2.3	2.3	2.4
Mo	mg/kg	0.61	0.90	1.3
Ni	mg/kg	< 0.1	< 0.11	< 0.15
Sn	mg/kg	< 0.1		

ANALYSER AF KOMBINEREDE PERKOLATFRAKTIONER

UDVASKNINGSFORSØG D: KOLONNE: L/S = 0 - 2, BATCH: L/S = 2 - 25
 RESTPRODUKT: TØRT RESTPRODUKT FRA I/S REFA
 TØRVÆGT AF MATERIALE: 10.8 KG
 KOLONNEDIAMETER: 0.145 M
 UDVASKET MED: KUNSTIGT REGNVAND I UPFLOW (pH = 4.0)

Perkolatets sammensætning:

PARAMETER	ENHED	L/S	L/S	L/S
		0.0 - 1.0	1.0 - 5.0	5.0 - 25
As	mg/l	0.0055	< 0.0005	< 0.0005
Cr	mg/l		< 0.003	< 0.003
Mo	mg/l	0.54	0.044	0.017
Ni	mg/l	< 0.05	< 0.004	< 0.002
Sn	mg/l	< 0.1	< 0.02	< 0.004
Akkumuleret L/S		1.0	5.0	25
Gnsntl. L/S for fraktion		0.5	3.0	15

Akkumulerede udvaskede
 stofmængder:

As	mg/kg	0.0055	< 0.008	< 0.02
Cr	mg/kg			
Mo	mg/kg	0.54	0.72	1.1
Ni	mg/kg	< 0.05	< 0.07	< 0.11
Sn	mg/kg	< 0.1	< 0.2	< 0.3

ANALYSER AF KOMBINEREDE PERKOLATFRAKTIONER

UDVASKNINGSFORSØG E: KOLONNE: L/S = 0 - 2, BATCH: L/S = 2 - 25
 RESTPRODUKT: SEMITØRT RESTPRODUKT FRA I/S AMAGERFORBRÆNDING
 TØRVÆGT AF MATERIALE: 9.7 KG
 KOLONNEDIAMETER: 0.145 M
 UDVASKET MED: KUNSTIGT REGNVAND I UPFLOW (pH = 4.0)

Perkolatets sammensætning:

PARAMETER	ENHED	L/S	L/S	L/S
		0.0 - 1.0	1.0 - 5.0	5.0 - 25
As	mg/l	0.0095	< 0.0005	0.0006
Cr	mg/l	0.57	0.005	0.004
Mo	mg/l	0.39	0.20	0.075
Ni	mg/l	< 0.05	< 0.002	< 0.002
Sn	mg/l	< 0.1	< 0.03	< 0.004
Akkumuleret L/S		1.0	5.0	25
Gnsntl. L/S for fraktion		0.5	3.0	15

Akkumulerede udvaskede
 stofmængder:

As	mg/kg	0.0095	< 0.05	< 0.06
Cr	mg/kg	0.57	0.59	0.67
Mo	mg/kg	0.39	1.2	2.7
Ni	mg/kg	< 0.05	< 0.06	< 0.1
Sn	mg/kg	< 0.1	< 0.22	< 0.3

ANALYSER AF KOMBINEREDE PERKOLATFRAKTIONER

UDVASKNINGSFORSØG F: KOLONNE: L/S = 0 - 2, BATCH: L/S = 2 - 25
 RESTPRODUKT: SEMITØRT RESTPRODUKT FRA I/S AMAGERFORBRÆNDING
 TØRVÆGT AF MATERIALE: 9.4 KG (8.7 KG EFTER OPSAMLING AF 1. FRAKTION)
 KOLONNEDIAMETER: 0.145 M
 UDVASKET MED: KUNSTIGT REGNVAND I UPFLOW (pH = 4.0)

Perkolatets sammensætning:

PARAMETER	ENHED	L/S	L/S	L/S
		0.0 - 1.0	1.0 - 5.0	5.0 - 25
As	mg/l	0.0057	0.0005	0.0006
Cr	mg/l	0.48	0.004	< 0.003
Mo	mg/l	0.41	0.29	0.073
Ni	mg/l	< 0.1	< 0.002	< 0.002
Sn	mg/l	< 0.1	0.034	< 0.004
Akkumuleret L/S		1.0	5.0	25
Gnsntl. L/S for fraktion		0.5	3.0	15

Akkumulerede udvaskede stofmængder:

As	mg/kg	0.0057	0.0077	0.020
Cr	mg/kg	0.48	0.50	0.50
Mo	mg/kg	0.41	1.6	3.0
Ni	mg/kg	< 0.1	< 0.11	< 0.15
Sn	mg/kg	< 0.1	< 0.25	< 0.32

ANALYSER AF KOMBINEREDE PERKOLATFRAKTIONER

UDVASKNINGSFORSØG G: KOLONNE: L/S = 0 - 2, BATCH: L/S = 2 - 25
 RESTPRODUKT: SEMITØRT RESTPRODUKT FRA I/S AMAGERFORBRÆNDING
 TØRVÆGT AF MATERIALE: 9.8 KG
 KOLONNEDIAMETER: 0.145 M
 UDVASKET MED: KUNSTIGT REGNVAND I UPFLOW (pH = 4.0)

Perkolatets sammensætning:

PARAMETER	ENHED	L/S	L/S	L/S
		0.0 - 1.0	1.0 - 5.0	5.0 - 25
As	mg/l	0.0074	< 0.0005	0.0006
Cr	mg/l	0.85	< 0.003	< 0.003
Mo	mg/l	0.31	0.13	0.066
Ni	mg/l	< 0.2	< 0.03	< 0.002
Sn	mg/l	< 0.05	0.014	< 0.004
Akkumuleret L/S		1.0	5.0	25
Gnsntl. L/S for fraktion		0.5	3.0	15

Akkumulerede udvaskede
 stofmængder:

As	mg/kg	0.0074	< 0.01	< 0.022
Cr	mg/kg	0.85	< 0.87	< 0.93
Mo	mg/kg	0.31	0.83	2.2
Ni	mg/kg	< 0.2	< 0.4	< 0.4
Sn	mg/kg	< 0.05	0.11	< 0.2

ANALYSER AF KOMBINEREDE PERKOLATFRAKTIONER

UDVASKNINGSFORSØG E/F/G: KOLONNE: L/S = 0 - 2, BATCH: L/S = 2 - 25
 RESTPRODUKT: SEMITØRT RESTPRODUKT FRA I/S AMAGERFORBRÆNDING
 TØRVÆGT AF MATERIALE: 9.8 KG
 KOLONNEDIAMETER: 0.145 M
 UDVASKET MED: KUNSTIGT REGNVAND I UPFLOW (pH = 4.0)

Perkolatets sammensætning:

PARAMETER	ENHED	L/S	L/S	L/S
		0.0 - 1.0	1.0 - 5.0	5.0 - 25
As	mg/l	0.0075	< 0.0005	0.0006
Cr	mg/l	0.63	< 0.004	< 0.004
Mo	mg/l	0.37	0.21	0.071
Ni	mg/l	< 0.2	< 0.02	< 0.002
Sn	mg/l	< 0.1	< 0.03	< 0.004
Akkumuleret L/S		1.0	5.0	25
Gnsntl. L/S for fraktion		0.5	3.0	15

Akkumulerede udvaskede stofmængder:

As	mg/kg	0.0075	< 0.01	< 0.022
Cr	mg/kg	0.63	< 0.65	< 0.73
Mo	mg/kg	0.37	1.2	2.6
Ni	mg/kg	< 0.2	< 0.3	< 0.32
Sn	mg/kg	< 0.1	< 0.22	< 0.3

Resultater af udvaskningsforsøg. Totale udvaskede mængder tørstof fra de fem restprodukter.

OPLØST TØRSTOF

PROCES	PRØVE	FORSØG	UDVASKET STOFMÆNGDE		TOTALINDHOLD mg/kg	UDVASKET STOFMÆNGDE	
			L/S = 0-2 mg/kg	L/S = 0-25 mg/kg		L/S = 0-2 % (w/w)	L/S = 0-25 % (w/w)
SEMITØR	AF	E	256000	266000	1000000	26	27
SEMITØR	AF	F	221000	223000	1000000	22	22
SEMITØR	AF	G	260000	273000	1000000	26	27
SEMITØR	AF	(E+F+G)/3	246000	254000	1000000	25	25
SEMITØR	KARA	B	248000	261000	1000000	25	26
TØR	NORD	C	343000	349000	1000000	34	35
TØR	REFA	D	206000		1000000	21	
VAD	GRAAB	A	105000	110000	1000000	11	11

Resultater af udvaskningsforsøg. Totale udvaskede mængder klorid fra de fem restprodukter.

KLORID

PROCES	PRØVE	FORSØG	UDVASKET STOFMÆNGDE		TOTALINDHOLD mg/kg	UDVASKET STOFMÆNGDE	
			L/S = 0-2 mg/kg	L/S = 0-25 mg/kg		L/S = 0-2 % (w/w)	L/S = 0-25 % (w/w)
SEMITØR	AF	E	137000	138000	150000	91	92
SEMITØR	AF	F	123000	124000	150000	82	83
SEMITØR	AF	G	141000	142000	150000	94	95
SEMITØR	AF	(E+F+G)/3	134000	135000	150000	89	90
SEMITØR	KARA	B	134000	135000	130000	103	104
TØR	NORD	C	198000	200000	220000	90	91
TØR	REFA	D	115000	116000	130000	88	89
VAD	GRAAB	A	56000	56000	71000	79	79

Resultater af udvaskningsforsøg. Totale udvaskede mængder calcium fra de fem restprodukter.

CALCIUM

PROCES	PRØVE	FORSØG	UDVASKET STOFMÆNGDE		TOTALINDHOLD	UDVASKET STOFMÆNGDE	
			L/S = 0-2 mg/kg	L/S = 0-25 mg/kg		L/S = 0-2 % (w/w)	L/S = 0-25 % (w/w)
SEMITØR	AF	E	64100	64800	190000	34	34
SEMITØR	AF	F	55200	56500	190000	29	30
SEMITØR	AF	G	58200	60900	190000	31	32
SEMITØR	AF	(E+F+G)/3	59200	60700	190000	31	32
SEMITØR	KARA	B	57000	60400	190000	30	32
TØR	NORD	C	91400	95000	230000	40	41
TØR	REFA	D	48200	52500	250000	19	21
VAD	GRAAB	A	6000	9000	110000	5	8

Resultater af udvaskningsforsøg. Totale udvaskede mængder bly fra de fem restprodukter.

BLY

PROCES	PRØVE	FORSØG	UDVASKET STOFMÆNGDE		TOTALINDHOLD	UDVASKET STOFMÆNGDE	
			L/S = 0-2 mg/kg	L/S = 0-25 mg/kg		L/S = 0-2 % (w/w)	L/S = 0-25 % (w/w)
SEMITØR	AF	E	41	270	5700	0.72	4.7
SEMITØR	AF	F	1.8	220	5700	0.032	3.9
SEMITØR	AF	G	0.19	260	5700	0.0033	4.6
SEMITØR	AF	(E+F+G)/3	14	250	5700	0.25	4.4
SEMITØR	KARA	B	170	470	6500	2.6	7.2
TØR	NORD	C	3400	3400	5200	65	65
TØR	REFA	D	710	810	4200	17	19
VAD	GRAAB	A	0.00055	0.00055	8300	0.000006	0.000006

Resultater af udvaskningsforsøg. Totale udvaskede mængder cadmium fra de fem restprodukter.

KADMIUM

PROCES	PRØVE	FORSØG	UDVASKET STOFMÆNGDE		TOTALINDHOLD	UDVASKET STOFMÆNGDE	
			L/S = 0-2 mg/kg	L/S = 0-25 mg/kg		L/S = 0-2 % (w/w)	L/S = 0-25 % (w/w)
SEMITØR	AF	E	0.38	0.38	170	0.22	0.22
SEMITØR	AF	F	0.079	0.079	170	0.046	0.046
SEMITØR	AF	G	0.025	0.025	170	0.015	0.015
SEMITØR	AF	(E+F+G)/3	0.16	0.16	170	0.094	0.094
SEMITØR	KARA	B	0.42	0.42	180	0.23	0.23
TØR	NORD	C	0.44	0.44	200	0.22	0.22
TØR	REFA	D	0.053	0.053	140	0.038	0.038
VAD	GRAAB	A	0.00039	< 0.0006	270	0.00014	< 0.00022

XRD - analyser

RØNTGENDIFFRAKTIONSANALYSE AF RESTPRODUKT FRA AMAGERFORBRÆNDING

udført af

Kirsten Gram Jeppesen
Institut for Mineralindustri
Danmarks Tekniske Højskole

Forholdsvis sikkert identificerede forbindelser:

<u>Ubehandlet AF</u>	<u>Cementstabiliseret AF</u>
$\text{CaCl}_2 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	
NaCl	NaCl
KCl	KCl
$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{ H}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{ H}_2\text{O}$
CaSO_4	
	$(\text{CaO})_3(\text{Al}_2\text{O}_3)(\text{CaCl}_2)_3 \cdot 30 \text{ H}_2\text{O}$
	$(\text{CaO})_4(\text{Al}_2\text{O}_3)(\text{SO}_3) \cdot 12 \text{ H}_2\text{O}$
	$\alpha\text{-quartz}$
	CaCO_3
	Cement minerals
	$\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
	$\text{CaCl}_2 \cdot 4 \text{ H}_2\text{O}$

Forbindelser, som måske findes:

<u>Ubehandlet AF</u>	<u>Cementstabiliseret AF</u>
$\text{NaAl}(\text{SO}_4)_2$	
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	$\text{Ca}(\text{OH})_2$
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	
$\text{CaSO}_3 \cdot 0,5 \text{ H}_2\text{O}$	
	$(\text{CaCO}_3)(\text{CaSiO}_3)(\text{CaSO}_4) \cdot 16 \text{ H}_2\text{O}$
	$(\text{CaO})_4(\text{Al}_2\text{O}_3)(\text{CO}_2)_{0,5} \cdot 12 \text{ H}_2\text{O}$
	$(\text{CaO})_3(\text{Al}_2\text{O}_3)(\text{CaCl}_2) \cdot \text{H}_2\text{O}$

**Data vedrørende
Stabilisering / tankudvaskningsforsøg**

Udvaskning efter 4 ugers lagring

TANKUDVASKNINGSFORSØG MED STABILISEREDE RØGGASRENSNINGSPRODUKTER FRA AFFALDSFORBRENDINGSANLÆG

STØBNING NR: 5
STØBEDATO: 13.09.90

SEMITØRT RESTPRODUKT FRA AMAGERFORBRENDING (AF)

BLANDEMETODE: LILLE BLANDEMASKINE, CA. 1 MINUT
STØBEMETODE: STAMPET 8 GANGE MED FALDLOD
LAGRING: 20 GRADER C, 100 % RH

DIAMETER AF PRØVEEMNER (CYLINDRE): 50 mm
OVERFLADEAREAL AF PRØVEEMNER: 0.00785 m²

SAMMENSETNING AF BLANDING: (80/20/40)		
AF	400 g	80 % (w/w)
CEMENT	100 g	20 % (w/w)
VAND	200 g	40 % (w/w)
VAND/CEMENT: 2.00		

EMNE NR	HØJDE (mm)	VOLUMEN (cm ³)	VEGT (g)	TØRDEN- SITET (g/cm ³)	ANVENDELSE
1	25	49.1	84.2	1.23	
2	25	49.1	85.9	1.25	U-2
3	25	49.1	86.5	1.26	XRD
4	25	49.1	86.8	1.27	U-4
5	25	49.1	87.9	1.28	

LAGRINGSPERIODE FØR UDFØRELSE AF TANKUDVASKNINGSFORSØG: 28 DAGE (FORSØG TYPE U-4)
TANKUDVASKNINGSFORSØG MED DEMINERALISERET VAND INDSTILLET TIL pH = 4 MED HNO₃. SAMMENSETNING AF UDSKIFTET VAND:

FRAKTION	DATO	KLOKKE-SLET	TID (døgn)	AKK. TID (døgn)	VOLUMEN (ml)	pH	LEDN.EVNE (mS/m)	KLORID (mg/l)	Pb (mg/l)	Cd (mg/l)	Cu (mg/l)	Zn (mg/l)
START	11.10.90	07:40		0.00								
1	11.10.90	08:10	0.02	0.02	500	11.5	450	1300	1.5	0.00029	<0.0005	0.036
2	11.10.90	13:10	0.21	0.23	500	12.0	1020	3300	4.1	0.0002	<0.0005	0.092
3	14.10.90	13:10	3.00	3.23	500	12.4	2000	7200	5.1	0.0001	0.0007	0.21
4	18.10.90	11:10	3.92	7.15	500	12.4	740	1800	1.6	<0.00005	0.0009	0.12
5	26.10.90	13:10	8.08	15.23	500	12.5	510	650	1.2	<0.00005	0.0005	0.11
6	12.11.90	13:10	17.00	32.23	500	12.5	370	240	0.70	<0.00005	0.0009	0.08
7	19.12.90	11:20	36.92	69.15	500	>12.2	327	110	0.46	<0.00005	0.0008	0.7
8												

BEREGNING AF STOFFLUX OG AKKUMULEREDE UDVASKEDE STOFMENGDER:

FRAKTION	KLORID FLUX mg/m ² /d	KLORID AKK.UDV. mg/m ²	Pb FLUX mg/m ² /d	Pb AKK.UDV. mg/m ²
1	4.0E+06	8.3E+04	4.5E+03	9.4E+01
2	1.0E+06	2.9E+05	1.3E+03	3.6E+02
3	1.5E+05	7.5E+05	1.1E+02	6.8E+02
4	2.9E+04	8.7E+05	2.6E+01	7.8E+02
5	5.1E+03	9.1E+05	9.8E+00	8.6E+02
6	9.0E+02	9.2E+05	2.6E+00	9.0E+02
7	1.9E+02	9.3E+05	7.9E-01	9.3E+02
8				

TANKUDVASKNINGSFORSØG MED STABILISEREDE RØGGASRENSNINGSPRODUKTER FRA AFFALDSFORBRÆNDINGSANLÆG

STØBNING NR: 7
STØBEDATO: 13.09.90

SEMITØRT RESTPRODUKT FRA AMAGERFORBRÆNDING (AF)

BLANDEMETODE: LILLE BLANDEMASKINE, CA. 1 MINUT
STØBEMETODE: STAMPET 8 GANGE MED FALDLØD
LAGRING: 20 GRADER C, 100 % RH

DIAMETER AF PRØVEEMNER (CYLINDRE): 50 mm
OVERFLADEAREAL AF PRØVEEMNER: 0.00785 m²

SAMMENSETNING AF BLANDING: (60/40/40)		
AF	300 g	60 % (w/w)
CEMENT	200 g	40 % (w/w)
VAND	200 g	40 % (w/w)
VAND/CEMENT: 1.00		

EMNE NR	HØJDE (mm)	VOLUMEN (cm ³)	VEGT (g)	TØRDEN- SÆTET (g/cm ³)	ANVENDELSE
1	25	49.1	91.5	1.33	U-4
2	25	49.1	88.5	1.29	XRD
3	25	49.1	90.6	1.32	
4	25	49.1	91.3	1.33	
5	25	49.1	91.6	1.34	U-2

LAGRINGSPERIODE FØR UDFØRELSE AF TANKUDVASKNINGSFORSØG: 28 DAGE (FORSØG TYPE U-4)
TANKUDVASKNINGSFORSØG MED DEMINERALISERET VAND INDSTILLET TIL pH = 4 MED HNO₃. SAMMENSETNING AF UDSKIFTET VAND:

FRAKTION	DATO	KLOKKE- SLET	TID (døgn)	AKK. TID (døgn)	VOLUMEN (ml)	pH	LEDN.EVNE (mS/m)	KLORID (mg/l)	Pb (mg/l)	Cd (mg/l)	Cu (mg/l)	Zn (mg/l)
START	11.10.90	07:40		0.00								
1	11.10.90	08:10	0.02	0.02	500	11.6	230	590	0.018	<0.00005	<0.0005	<0.01
2	11.10.90	13:10	0.21	0.23	500	12.0	580	1700	0.038	<0.00005	<0.0005	0.012
3	14.10.90	13:10	3.00	3.23	500	12.4	1600	4900	0.18	<0.00005	<0.0005	0.045
4	18.10.90	11:10	3.92	7.15	500	12.2	650	1700	0.020	<0.00005	<0.0005	0.021
5	26.10.90	13:10	8.08	15.23	500	12.3	510	1200	0.064	<0.00005	<0.0005	0.023
6	12.11.90	13:10	17.00	32.23	500	12.2	320	590	0.029	<0.00005	<0.0005	0.012
7	19.12.90	11:20	36.92	69.15	500	11.9	204	270		<0.00005	<0.0005	<0.01
8												

BEREGNING AF STOFFLUX OG AKKUMULEREDE UDVASKEDE STOFMÆNGDER:

FRAKTION	KLORID FLUX mg/m ² /d	KLORID AKK.UDV. mg/m ²	Pb FLUX mg/m ² /d	Pb AKK.UDV. mg/m ²
1	1.8E+06	3.8E+04	5.5E+01	1.1E+00
2	5.2E+05	1.5E+05	1.2E+01	3.6E+00
3	1.0E+05	4.6E+05	3.8E+00	1.5E+01
4	2.8E+04	5.7E+05	3.3E-01	1.6E+01
5	9.5E+03	6.4E+05	5.0E-01	2.0E+01
6	2.2E+03	6.8E+05	1.1E-01	2.2E+01
7	4.7E+02	7.0E+05	0.0E+00	2.2E+01
8				

TANKUDVASKNINGSFORSØG MED STABILISEREDE RØGGASRENSNINGSPRODUKTER FRA AFFALDSFORBRÆNDINGSANLÆG

STØBNING NR: 11
STØBEDATO: 14.09.90

TØRT RESTPRODUKT FRA NORDFORBRÆNDING (NORD)

BLANDEMETODE: LILLE BLANDEMASKINE, CA. 1 MINUT
STØBEMETODE: STAMPET 8 GANGE MED FALDLOD
LAGRING: 20 GRADER C, 100 % RH

DIAMETER AF PRØVEEMNER (CYLINDRE): 50 mm
OVERFLADEAREAL AF PRØVEEMNER: 0.00785 m²

SAMMENSETNING AF BLANDING: (80/20/40)		
NORD	400 g	80 % (w/w)
CEMENT	100 g	20 % (w/w)
VAND	200 g	40 % (w/w)
VAND/CEMENT: 2.00		

EMNE NR	HØJDE (mm)	VOLUMEN (cm ³)	VÆGT (g)	TØRDEN- SÆT (g/cm ³)	ANVENDELSE
1	25	49.1	87.1	1.27	
2	25	49.1	85.8	1.25	U-4
3	25	49.1	86.8	1.26	U-2
4	25	49.1	85.8	1.25	
5	25	49.1	87.7	1.28	

LAGRINGSPERIODE FØR UDFØRELSE AF TANKUDVASKNINGSFORSØG: 28 DAGE (FORSØG TYPE U-4)
TANKUDVASKNINGSFORSØG MED DEMINERALISERET VAND INDSTILLET TIL pH = 4 MED HNO₃. SAMMENSETNING AF UDSKIFTET VAND:

FRAKTION	DATO	KLOKKE- SLET	TID (døgn)	AKK. TID (døgn)	VOLUMEN (ml)	pH	LEDN.EVNE (mS/m)	KLORID (mg/l)	Pb (mg/l)	Cd (mg/l)	Cu (mg/l)	Zn (mg/l)
START	12.10.90	07:40		0.00								
1	12.10.90	08:10	0.02	0.02	500	11.8	620	1900	0.21			
2	12.10.90	13:10	0.21	0.23	500	12.2	1300	4200	0.40			
3	13.10.90	13:10	1.00	1.23	500	12.3	1800	6100	1.0			
4	15.10.90	13:10	2.00	3.23	500	12.4	1300	4000	1.0			
5	19.10.90	13:10	4.00	7.23	500	12.6	980	2400	1.2			
6	27.10.90	14:20	8.05	15.28	500	12.8	690	640	1.2			
7	12.11.90	14:20	16.00	31.28	500	12.8	640	200	1.3			
8	19.12.90	11:20	36.88	68.15	500	12.5		85				

BEREGNING AF STOFFLUX OG AKKUMULEREDE UDVASKEDE STOFMÆNGDER:

FRAKTION	KLORID FLUX mg/m ² /d	KLORID AKK.UDV. mg/m ²	Pb FLUX mg/m ² /d	Pb AKK.UDV. mg/m ²
1	5.8E+06	1.2E+05	6.4E+02	1.3E+01
2	1.3E+06	3.9E+05	1.2E+02	3.9E+01
3	3.9E+05	7.8E+05	6.4E+01	1.0E+02
4	1.3E+05	1.0E+06	3.2E+01	1.7E+02
5	3.8E+04	1.2E+06	1.9E+01	2.4E+02
6	5.1E+03	1.2E+06	9.5E+00	3.2E+02
7	8.0E+02	1.2E+06	5.2E+00	4.0E+02
8	1.5E+02	1.2E+06		

TANKUDVASKNINGSFORSØG MED STABILISEREDE RØGGASRENSNINGSPRODUKTER FRA AFFALDSFORBRÆNDINGSANLÆG

STØBNING NR: 13
STØBEDATO: 14.09.90

TØRT RESTPRODUKT FRA NORDFORBRÆNDING (NORD)

BLANDEMETODE: LILLE BLANDEMASKINE, CA. 1 MINUT
STØBEMETODE: STAMPET 8 GANGE MED FALDLOD
LAGRING: 20 GRADER C, 100 % RH

DIAMETER AF PRØVEEMNER (CYLINDRE): 50 mm
OVERFLADEAREAL AF PRØVEEMNER: 0.00785 m²

SAMMENSETNING AF BLANDING: (60/40/30)		
NORD	300 g	60 % (w/w)
CEMENT	200 g	40 % (w/w)
VAND	150 g	30 % (w/w)
VAND/CEMENT: 0.75		

EMNE NR	HØJDE (mm)	VOLUMEN (cm ³)	VEGT (g)	TØRDEN- SITTET (g/cm ³)	ANVENDELSE
1	25	49.1	95.3	1.49	
2	25	49.1	95.2	1.49	U-4
3	25	49.1	94.1	1.47	XRD
4	25	49.1	95.7	1.50	
5	25	49.1	94.9	1.49	U-2

LAGRINGSPERIODE FØR UDFØRELSE AF TANKUDVASKNINGSFORSØG: 28 DAGE (FORSØG TYPE U-4)
TANKUDVASKNINGSFORSØG MED DEMINERALISERET VAND INDSTILLET TIL pH = 4 MED HNO₃. SAMMENSETNING AF UDSKIFTET VAND:

FRAKTION	DATO	KLOKKE- SLET	TID (døgn)	AKK. TID (døgn)	VOLUMEN (ml)	pH	LEDN. EVNE (mS/m)	KLORID (mg/l)	Pb (mg/l)	Cd (mg/l)	Cu (mg/l)	Zn (mg/l)
START	12.10.90	07:40		0.00								
1	12.10.90	08:10	0.02	0.02	500	11.7	390	1100	0.23			
2	12.10.90	13:10	0.21	0.23	500	12.1	810	2400	0.35			
3	13.10.90	13:10	1.00	1.23	500	12.2	1200	3700	0.40			
4	15.10.90	13:10	2.00	3.23	500	12.2	990	3000	0.34			
5	19.10.90	13:10	4.00	7.23	500	12.1	1100	3400	0.28			
6	27.10.90	14:20	8.05	15.28	500	12.2	710	2000	0.12			
7	12.11.90	14:20	16.00	31.28	500	12.3	510	1100	0.17			
8	19.12.90	11:20	36.88	68.15	500	11.9		460				

BEREGNING AF STOFFLUX OG AKKUMULEREDE UDVASKEDE STOFMENGDER:

FRAKTION	KLORID FLUX mg/m ² /d	KLORID AKK.UDV. mg/m ²	Pb FLUX mg/m ² /d	Pb AKK.UDV. mg/m ²
1	3.4E+06	7.0E+04	7.0E+02	1.5E+01
2	7.3E+05	2.2E+05	1.1E+02	3.7E+01
3	2.4E+05	4.6E+05	2.5E+01	6.2E+01
4	9.5E+04	6.5E+05	1.1E+01	8.4E+01
5	5.4E+04	8.7E+05	4.5E+00	1.0E+02
6	1.6E+04	9.9E+05	9.5E-01	1.1E+02
7	4.4E+03	1.1E+06	6.8E-01	1.2E+02
8	7.9E+02	1.1E+06		

TANKUDVASKNINGSFORSØG MED STABILISEREDE RØGGASRENSNINGSPRODUKTER FRA AFFALDSFORBRÆNDINGSANLÆG

STØBNING NR: 16
STØBEDATO: 17.09.90

SEMITØRT RESTPRODUKT FRA I/S KARA, ROSKILDE (KARA)

BLANDEMETODE: LILLE BLANDEMASKINE, CA. 1 MINUT
STØBEMETODE: STAMPET 8 GANGE MED FALDLOD
LAGRING: 20 GRADER C, 100 % RH

DIAMETER AF PRØVEEMNER (CYLINDRE): 50 mm
OVERFLADEAREAL AF PRØVEEMNER: 0.00785 m²

SAMMENSETNING AF BLANDING: (100/0/31)		
KARA	500 g	100 % (w/w)
CEMENT	0 g	0 % (w/w)
VAND	155 g	31 % (w/w)
VAND/CEMENT:		

EMNE NR	HØJDE (mm)	VOLUMEN (cm ³)	VÆGT (g)	TØRDENSITET (g/cm ³)	ANVENDELSE
1	25	49.1	89.0	1.38	
2	25	49.1	89.0	1.38	U-4
3	25	49.1	90.1	1.40	
4	25	49.1	89.6	1.39	U-2
5	25	49.1	90.2	1.40	

LAGRINGSPERIODE FØR UDFØRELSE AF TANKUDVASKNINGSFORSØG: 28 DAGE (FORSØG TYPE U-4)
TANKUDVASKNINGSFORSØG MED DEMINERALISERET VAND INDSTILLET TIL pH = 4 MED HNO₃. SAMMENSETNING AF UDSKIFTET VAND:

FRAKTION	DATO	KLOKKE-SLET	TID (døgn)	AKK. TID (døgn)	VOLUMEN (ml)	pH	LEDN.EVNE (mS/m)	KLORID (mg/l)	Pb (mg/l)	Cd (mg/l)	Cu (mg/l)	Zn (mg/l)
START	15.10.90	08:10		0.00								
1	15.10.90	08:40	0.02	0.02	500	11.7	670	2000	48	0.0004	0.17	0.067
2	15.10.90	13:40	0.21	0.23	500	12.1	1100	3900	91	0.0013	0.36	0.21
3	16.10.90	13:40	1.00	1.23	500	12.3	1700	5800	130	0.0027	0.44	0.31
4	18.10.90	13:40	2.00	3.23	500	12.4	1200	3800	85	0.0021	0.34	0.22
5	22.10.90	13:40	4.00	7.23	500	12.6	790	1600	52	0.0018	0.28	0.15
6	30.10.90	13:35	8.00	15.23	500	12.8	680	360	28	0.0028	0.29	0.11
7	SLUT											
8												

BEREGNING AF STOFFLUX OG AKKUMULEREDE UDVASKEDE STOFMÆNGDER:

FRAKTION	KLORID FLUX (mg/m ² /d)	KLORID AKK.UDV. (mg/m ²)	Pb FLUX (mg/m ² /d)	Pb AKK.UDV. (mg/m ²)	Cd FLUX (mg/m ² /d)	Cd AKK.UDV. (mg/m ²)	Cu FLUX (mg/m ² /d)	Cu AKK.UDV. (mg/m ²)	Zn FLUX (mg/m ² /d)	Zn AKK.UDV. (mg/m ²)
1	6.1E+06	1.3E+05	1.5E+05	3.1E+03	1.2E+00	2.5E-02	15.2E+02	1.1E+01	12.0E+02	4.3E+00
2	1.2E+06	3.8E+05	2.8E+04	8.8E+03	4.0E-01	8.3E-02	1.1E+02	12.3E+01	16.4E+01	1.3E+01
3	3.7E+05	7.4E+05	8.3E+03	1.7E+04	1.7E-01	1.7E-01	2.8E+01	2.8E+01	12.0E+01	2.0E+01
4	1.2E+05	9.9E+05	2.7E+03	2.3E+04	6.7E-02	1.3E-01	1.1E+01	12.2E+01	17.0E+00	1.4E+01
5	2.5E+04	1.1E+06	8.3E+02	2.6E+04	2.9E-02	1.1E-01	4.5E+00	1.8E+01	12.4E+00	9.5E+00
6	2.9E+03	1.1E+06	2.2E+02	2.8E+04	2.2E-02	1.8E-01	2.3E+00	1.8E+01	8.8E-01	7.0E+00
7										
8										

TANKUDVASKNINGSFORSØG MED STABILISEREDE RØGGASRENSNINGSPRODUKTER FRA AFFALDSFORBRENDINGSANLÆG

STØBNING NR: 17
STØBEDATO: 17.09.90

SEMITØRT RESTPRODUKT FRA I/S KARA, ROSKILDE (KARA)

BLANDEMETODE: LILLE BLANDEMASKINE, CA. 1 MINUT
STØBEMETODE: STAMPET 8 GANGE MED FALDLØD
LAGRING: 20 GRADER C, 100 % RH

DIAMETER AF PRØVEEMNER (CYLINDRE): 50 mm
OVERFLADEAREAL AF PRØVEEMNER: 0.00785 m²

SAMMENSETNING AF BLANDING: (80/20/30)		
KARA	400 g	80 % (w/w)
CEMENT	100 g	20 % (w/w)
VAND	150 g	30 % (w/w)
VAND/CEMENT: 1.50		

EMNE NR	HØJDE (mm)	VOLUMEN (cm ³)	VEGT (g)	TØRDER-SITET (g/cm ³)	ANVENDELSE
1	25	49.1	90.2	1.41	
2	25	49.1	92.7	1.45	
3	25	49.1	92.2	1.44	
4	25	49.1	92.6	1.45	U-2
5	25	49.1	96.6	1.51	U-4

LAGRINGSPERIODE FØR UDFØRELSE AF TANKUDVASKNINGSFORSØG: 28 DAGE (FORSØG TYPE U-4)
TANKUDVASKNINGSFORSØG MED DEMINERALISERET VAND INDSTILLET TIL pH = 4 MED HNO₃. SAMMENSETNING AF ODSKIFTET VAND:

FRAKTION	DATO	KLONKE-SLET	TID (døgn)	AKK. TID (døgn)	VOLUMEN (ml)	pH	LEDN.EVNE (mS/m)	KLORID (mg/l)	Pb (mg/l)	Cd (mg/l)	Cu (mg/l)
START	15.10.90	08:10		0.00							
1	15.10.90	08:40	0.02	0.02	500	11.6	450	1300	1.8		
2	15.10.90	13:40	0.21	0.23	500	12.0	800	2500	1.8		
3	16.10.90	13:40	1.00	1.23	500	12.2	1300	4100	2.0		
4	18.10.90	13:40	2.00	3.23	500	12.3	1100	3600	1.6		
5	22.10.90	13:40	4.00	7.23	500	12.3	840	2300	1.3		
6	30.10.90	13:35	8.00	15.23	500	12.4	610	1200	1.5		
7	15.11.90	13:40	16.00	31.23	500	12.5	440	540	1.1		
8	19.12.90	11:20	33.90	65.13	500	>12.1		190			

BEREGNING AF STOFFLUX OG AKKUMULEREDE UDVASKEDE STOFMÆNGDER:

FRAKTION	KLORID FLUX mg/m ² /d	KLORID AKK.UDV. mg/m ²	Pb FLUX mg/m ² /d	Pb AKK.UDV. mg/m ²
1	4.0E+06	8.3E+04	5.5E+03	1.1E+02
2	7.6E+05	2.4E+05	5.5E+02	2.3E+02
3	2.6E+05	5.0E+05	1.3E+02	3.6E+02
4	1.1E+05	7.3E+05	5.1E+01	4.6E+02
5	3.7E+04	8.8E+05	2.1E+01	5.4E+02
6	9.6E+03	9.5E+05	1.2E+01	6.4E+02
7	2.1E+03	9.9E+05	4.4E+00	7.1E+02
8	3.6E+02	1.0E+06		

TANKUDVASKNINGSFORSØG MED STABILISEREDE RØGGASRENSNINGSPRODUKTER FRA AFFALDSFORBRENDINGSANLÆG

STØBNING NR: 18
STØBEDATO: 18.09.90

TØRT RESTPRODUKT FRA I/S REFA I NYKØBING F. (REFA)

BLANDEMETODE: LILLE BLANDEMASKINE, CA. 1 MINUT
STØBEMETODE: STAMPET 8 GANGE MED FALDLOD
LAGRING: 20 GRADER C, 100 % RH

DIAMETER AF PRØVEEMNER (CYLINDRE): 50 mm
OVERFLADEAREAL AF PRØVEEMNER: 0.00785 m²

SAMMENSETNING AF BLANDING: (100/0/40)		
REFA	500 g	100 % (w/w)
CEMENT	0 g	0 % (w/w)
VAND	200 g	40 % (w/w)
VAND/CEMENT:		

EMNE NR	HØJDE (mm)	VOLUMEN (cm ³)	VEGT (g)	TØRDEN- SÆTET (g/cm ³)	ANVENDELSE
1	25	49.1	83.8	1.22	U-2
2	25	49.1	84.5	1.23	U-4
3	25	49.1	85.0	1.24	
4	25	49.1	86.2	1.26	
5	25	49.1	83.0	1.21	

LAGRINGSPERIODE FØR UDFØRELSE AF TANKUDVASKNINGSFORSØG: 28 DAGE (FORSØG TYPE U-4)
TANKUDVASKNINGSFORSØG MED DEMINERALISERET VAND INDSTILLET TIL pH = 4 MED HNO₃. SAMMENSETNING AF UDSKIFTET VAND:

FRAKTION	DATO	KLOKKE-SLET	TID (døgn)	AKK. TID (døgn)	VOLUMEN (ml)	pH	LEDN.EVNE (mS/m)	KLORID (mg/l)	Pb (mg/l)	Cd (mg/l)	Cu (mg/l)
START	16.10.90	08:20		0.00							
1	16.10.90	08:50	0.02	0.02	500						
2	16.10.90	13:50	0.21	0.23	500						
3	17.10.90	13:50	1.00	1.23	500						
4	19.10.90	13:50	2.00	3.23	500						
5	23.10.90	13:50	4.00	7.23	500						
6	31.10.90	13:50	8.00	15.23	500						
7	SLUT										
8											

BEREGNING AF STOFFLUX OG AKKUMULEREDE UDVASKEDE STOFMÆNGDER:

FRAKTION	KLORID FLUX (mg/m ² /d)	KLORID AKK.UDV. (mg/m ²)	Pb FLUX (mg/m ² /d)	Pb AKK.UDV. (mg/m ²)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				

TANKUDVASKNINGSFORSØG MED STABILISEREDE RØGGASRENSNINGSPRODUKTER FRA AFFALDSFORBRÆNDINGSANLÆG

STØBNING NR: 19
STØBEDATO: 18.09.90

TØRT RESTPRODUKT FRA I/S REFA I NYKØBING F. (REFA)

BLANDEMETODE: LILLE BLANDEMASKINE, CA. 1 MINUT
STØBEMETODE: STAMPET 8 GANGE MED FALDLØD
LAGRING: 20 GRADER C, 100 % RH

DIAMETER AF PRØVEEMNER (CYLINDRE): 50 mm
OVERFLADEAREAL AF PRØVEEMNER: 0.00785 m²

SAMMENSETNING AF BLANDING: (80/20/40)		
REFA	400 g	80 % (w/w)
CEMENT	100 g	20 % (w/w)
VAND	200 g	40 % (w/w)
VAND/CEMENT: 2.00		

EMNE NR	HØJDE (mm)	VOLUMEN (cm ³)	VÆGT (g)	TØRDEN-SITET (g/cm ³)	ANVENDELSE
1	25	49.1	84.1	1.23	U-2
2	25	49.1	84.6	1.23	U-4
3	25	49.1	87.0	1.27	
4	25	49.1	88.9	1.30	
5	25	49.1	89.2	1.30	

LAGRINGSPERIODE FØR UDFØRELSE AF TANKUDVASKNINGSFORSØG: 28 DAGE (FORSØG TYPE U-4)
TANKUDVASKNINGSFORSØG MED DEMINERALISERET VAND INDSTILLET TIL pH = 4 MED HNO₃. SAMMENSETNING AF UDSKIFTET VAND:

FRAKTION	DATO	KLOKKE-SLET	TID (døgn)	AKK. TID (døgn)	VOLUMEN (ml)	pH	LEDN.EVNE (mS/m)	KLORID (mg/l)	Pb (mg/l)	Cd (mg/l)	Cu (mg/l)
START	16.10.90	08:20		0.00							
1	16.10.90	08:50	0.02	0.02	500	11.8	520	1400	0.18		
2	16.10.90	13:50	0.21	0.23	500	12.2	870	2500	0.73		
3	17.10.90	13:50	1.00	1.23	500	12.5	1200	3600	1.0		
4	19.10.90	13:50	2.00	3.23	500	12.5	960	2500	0.85		
5	23.10.90	13:50	4.00	7.23	500	12.6	740	1400	0.90		
6	31.10.90	13:50	8.00	15.23	500	12.7	630	470	1.0		
7	16.11.90	13:50	16.00	31.23	500	12.8	640	170	1.2		
8	21.12.90	14:10	35.01	66.24	500	12.6	80				

BEREGNING AF STOFFLUX OG AKKUMULEREDE UDVASKEDE STOFMÆNGDER:

FRAKTION	KLORID FLUX mg/m ² /d	KLORID AKK.UDV. mg/m ²	Pb FLUX mg/m ² /d	Pb AKK.UDV. mg/m ²
1	4.3E+06	8.9E+04	5.5E+02	1.1E+01
2	7.6E+05	2.5E+05	2.2E+02	5.8E+01
3	2.3E+05	4.8E+05	6.4E+01	1.2E+02
4	8.0E+04	6.4E+05	2.7E+01	1.8E+02
5	2.2E+04	7.3E+05	1.4E+01	2.3E+02
6	3.7E+03	7.6E+05	8.0E+00	3.0E+02
7	6.8E+02	7.7E+05	4.8E+00	3.7E+02
8	1.5E+02	7.7E+05		

TANKUDVASKNINGSFORSØG MED STABILISEREDE RØGGASRENSNINGSPRODUKTER FRA AFFALDSFORBRÆNDINGSANLÆG

STØBNING NR: 20
STØBEDATO: 19.09.90

SEMITØRT RESTPRODUKT FRA AMAGERFORBRÆNDING (AF)

BLANDEMETODE: LILLE BLANDEMASKINE, CA. 1 MINUT
STØBEMETODE: HELDT I FORM, LØST STAMPET
LAGRING: 20 GRADER C, 100 % RH

DIAMETER AF PRØVEEMNER (CYLINDRE): 50 mm
OVERFLADEAREAL AF PRØVEEMNER: 0.00785 m²

SAMMENSETNING AF BLANDING: (100/0/60)		
AF	400 g	100 % (w/w)
CEMENT	0 g	0 % (w/w)
VAND	240 g	60 % (w/w)
VAND/CEMENT:		

EMNE NR	HØJDE (mm)	VOLUMEN (cm ³)	VEGT (g)	TØRDEN-SITET (g/cm ³)	ANVENDELSE
1	25	49.1	74.3	0.95	U-2
2	25	49.1	74.0	0.94	U-4
3	25	49.1	73.4	0.93	YRD
4	25	49.1	73.0	0.93	
5	25	49.1	73.7	0.94	

TANKFORSØG IKKE UDFØRT

LAGRINGSPERIODE FØR UDFØRELSE AF TANKUDVASKNINGSFORSØG: 28 DAGE (FORSØG TYPE U-4)

TANKUDVASKNINGSFORSØG MED DEMINERALISERET VAND INDSTILLET TIL pH = 4 MED HNO₃. SAMMENSETNING AF UDSKIFTET VAND:

FRAKTION	DATO	KLOKKE-SLET	TID (døgn)	AKK. TID (døgn)	VOLUMEN (ml)	pH	LEDN.EVNE (mS/m)	KLORID (mg/l)	Pb (mg/l)	Cd (mg/l)	Cu (mg/l)
START	17.10.90	08:00		0.00							
1	17.10.90	08:30	0.02	0.02	500						
2	17.10.90	13:40	0.22	0.24	500						
3	18.10.90	13:30	0.99	1.23	500						
4	20.10.90	12:45	1.97	3.20	500						
5	24.10.90	13:40	4.04	7.24	500						
6	01.11.90	14:05	8.02	15.25	500						
7	17.11.90	14:10	16.00	31.26	500						
8	21.12.90	14:10	34.00	65.26	500						

BEREGNING AF STOPFLUX OG AKKUMULEREDE UDVASKEDE STOFMÆNGDER:

FRAKTION	KLORID FLUX mg/m ² /d	KLORID AKK.UDV. mg/m ²	Pb FLUX mg/m ² /d	Pb AKK.UDV. mg/m ²
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				

TANKUDVASKNINGSFORSØG MED STABILISEREDE RØGGASRENSNINGSPRODUKTER FRA AFFALDSFORBRÆNDINGSANLÆG

STØBNING NR: 22
STØBEDATO: 19.09.90

SEMITØRT RESTPRODUKT FRA AMAGERFORBRÆNDING (AF)

BLANDEMETODE: LILLE BLANDEMASKINE, CA. 1 MINUT
STØBEMETODE: HELDT I FORM, LØST STAMPET
LAGRING: 20 GRADER C, 100 % RH

DIAMETER AF PRØVEEMNER (CYLINDRE): 50 mm
OVERFLADEAREAL AF PRØVEEMNER: 0.00785 m²

SAMMENSETNING AF BLANDING: (80/20/55)		
AF	320 g	80 % (w/w)
CEMENT	80 g	20 % (w/w)
VAND	220 g	55 % (w/w)
VAND/CEMENT: 2.75		

EMNE NR	HØJDE (mm)	VOLUMEN (cm ³)	VEGT (g)	TØRDEN-SITET (g/cm ³)	ANVENDELSE
1	25	49.1	76.0	1.00	U-2
2	25	49.1	75.5	0.99	U-4
3	25	49.1	76.2	1.00	
4	25	49.1	75.3	0.99	IRD
5	25	49.1	74.8	0.98	

LAGRINGSPERIODE FØR UDFØRELSE AF TANKUDVASKNINGSFORSØG: 28 DAGE (FORSØG TYPE U-4)
TANKUDVASKNINGSFORSØG MED DEMINERALISERET VAND INDSTILLET TIL pH = 4 MED HNO₃. SAMMENSETNING AF UDSKIFTET VAND:

FRAKTION	DATE	KLOKKE-SLET	TID (døgn)	AKK. TID (døgn)	VOLUMEN (ml)	pH	LEDN.EVNE (mS/m)	KLORID (mg/l)	Pb (mg/l)	Cd (mg/l)	Cu (mg/l)
START	17.10.90	08:00		0.00							
1	17.10.90	08:30	0.02	0.02	500	11.6	360	1100	0.45		
2	17.10.90	13:40	0.22	0.24	500	12.0	870	3000	1.3		
3	18.10.90	13:30	0.99	1.23	500	12.2	1100	3600	1.0		
4	20.10.90	12:45	1.97	3.20	500	12.3	760	2300	0.77		
5	24.10.90	13:40	4.04	7.24	500	12.4	530	1200	0.71		
6	01.11.90	14:05	8.02	15.25	500	12.5	370	400	0.60		
7	17.11.90	14:10	16.00	31.26	500	12.5	290	160	0.35		
8	21.12.90	14:10	34.00	65.26	500	>12.1		69			

BEREGNING AF STOFFLUX OG AKKUMULEREDE UDVASKEDE STOFMÆNGDER:

FRAKTION	KLORID FLUX mg/m ² /d	KLORID AKK.UDV. mg/m ²	Pb FLUX mg/m ² /d	Pb AKK.UDV. mg/m ²
1	3.4E+06	7.0E+04	1.4E+03	2.9E+01
2	8.9E+05	2.6E+05	3.8E+02	1.1E+02
3	2.3E+05	4.9E+05	6.4E+01	1.8E+02
4	7.4E+04	6.4E+05	2.5E+01	2.2E+02
5	1.9E+04	7.1E+05	1.1E+01	2.7E+02
6	3.2E+03	7.4E+05	4.8E+00	3.1E+02
7	6.4E+02	7.5E+05	1.4E+00	3.3E+02
8	1.3E+02	7.5E+05		

TANKUDVASKNINGSFORSØG MED STABILISEREDE RØGGASRENSNINGSPRODUKTER FRA AFFALDSFORBRÆNDINGSANLÆG

STØBNING NR: 24
STØBEDATO: 20.09.90

SEMITØRT RESTPRODUKT FRA AMAGERFORBRÆNDING (AF)

BLANDEMETODE: LILLE BLANDEMASKINE, CA. 1 MINUT
STØBEMETODE: HELDT I FORM, LØST STAMPET
LAGRING: 20 GRADER C, 100 % RH

DIAMETER AF PRØVEEMNER (CYLINDRE): 50 mm
OVERFLADEAREAL AF PRØVEEMNER: 0.00785 m²

SAMMENSETNING AF BLANDING: (60/40/50)		
AF	240 g	60 % (w/w)
CEMENT	160 g	40 % (w/w)
VAND	200 g	50 % (w/w)
VAND/CEMENT: 1.25		

EMNE NR	HØJDE (mm)	VOLUMEN (cm ³)	VEGT (g)	TØRDENSITET (g/cm ³)	ANVENDELSE
1	25	49.1	82.4	1.12	XRD
2	25	49.1	83.6	1.14	U-2
3	25	49.1	83.0	1.13	U-4
4	25	49.1	84.1	1.14	
5	25	49.1	83.7	1.14	

LAGRINGSPERIODE FØR UDFØRELSE AF TANKUDVASKNINGSFORSØG: 28 DAGE (FORSØG TYPE U-4)
TANKUDVASKNINGSFORSØG MED DEMINERALISERET VAND INDSTILLET TIL pH = 4 MED HNO₃. SAMMENSETNING AF UDSKIFTET VAND:

FRAKTION	DATO	KLOKKE-SLET	TID (døgn)	AKK. TID (døgn)	VOLUMEN (ml)	pH	LEDN.EVNE (mS/m)	KLORID (mg/l)	Pb (mg/l)	Cd (mg/l)	Cu (mg/l)
START	18.10.90	07:30		0.00							
1	18.10.90	08:00	0.02	0.02	500	11.4	220	590	0.020		
2	18.10.90	13:45	0.24	0.26	500	12.0	630	1900	0.11		
3	19.10.90	13:00	0.97	1.23	500	12.1	850	2600	0.11		
4	21.10.90	12:30	1.98	3.21	500	12.2	720	2000	0.15		
5	25.10.90	13:10	4.03	7.24	500	12.3	560	1400	0.12		
6	02.11.90	13:05	8.00	15.23	500	12.4	410	690	0.20		
7	18.11.90	13:10	16.00	31.24	500	12.4	320	330	0.10		
8	21.12.90	14:10	33.04	64.28	500	11.9		140			

BEREGNING AF STOFFLUX OG AKKUMULEREDE UDVASKEDE STOFMÆNGDER:

FRAKTION	KLORID FLUX mg/m ² /d	KLORID AKK.UDV. mg/m ²	Pb FLUX mg/m ² /d	Pb AKK.UDV. mg/m ²
1	1.8E+06	3.8E+04	6.1E+01	1.3E+00
2	5.0E+05	1.6E+05	2.9E+01	8.3E+00
3	1.7E+05	3.2E+05	7.2E+00	1.5E+01
4	6.4E+04	4.5E+05	4.8E+00	2.5E+01
5	2.2E+04	5.4E+05	1.9E+00	3.2E+01
6	5.5E+03	5.8E+05	1.6E+00	4.5E+01
7	1.3E+03	6.1E+05	4.0E-01	5.2E+01
8	2.7E+02	6.1E+05		

TANKUDVASKNINGSFORSØG MED STABILISEREDE RØGGASRENSNINGSPRODUKTER FRA AFFALDSFORBRÆNDINGSANLÆG

STØBNING NR: 30 (A)
STØBEDATO: 25.09.90

TØRT RESTPRODUKT FRA NORDFORBRÆNDING (NORD)

BLANDEMETODE: LILLE BLANDEMASKINE, CA. 1 MINUT
STØBEMETODE: HELDT I FORM, LØST STAMPET
LAGRING: 20 GRADER C, 100 % RH

DIAMETER AF PRØVEEMNER (CYLINDRE): 50 mm
OVERFLADEAREAL AF PRØVEEMNER: 0.00785 m²

SAMMENSETNING AF BLANDING: (60/40/65)		
NORD	240 g	60 % (w/w)
CEMENT	160 g	40 % (w/w)
VAND	260 g	65 % (w/w)
VAND/CEMENT: 1.63		

EMNE NR	HØJDE (mm)	VOLUMEN (cm ³)	VEGT (g)	TØRDEN- SITTET (g/cm ³)	ANVENDELSE
1	25	49.1	76.9	0.95	U-4A
2	25	49.1	77.6	0.96	
3	25	49.1	77.5	0.96	
4	25	49.1	78.0	0.96	
5	25	49.1	77.1	0.95	

LAGRINGSPERIODE FOR UDFØRELSE AF TANKUDVASKNINGSFORSØG: 28 DAGE (FORSØG TYPE U-4)
TANKUDVASKNINGSFORSØG MED DEMINERALISERET VAND INDSTILLET TIL pH = 4 MED HNO₃. SAMMENSETNING AF UDSKIFTET VAND:

FRAKTION	DATO	KLOKKE-SLET	TID (døgn)	AKK. TID (døgn)	VOLUMEN (ml)	pH	LEDN.EVNE (mS/m)	KLORID (mg/l)	Pb (mg/l)	Cd (mg/l)	Cu (mg/l)
START	23.10.90	09:15		0.00							
1	23.10.90	09:45	0.02	0.02	500	11.6	280	750	0.015		
2	23.10.90	14:45	0.21	0.23	500	12.1	770	2300	0.09		
3	24.10.90	14:45	1.00	1.23	500	12.3	1100	3500	0.17		
4	26.10.90	14:45	2.00	3.23	500	12.4	860	2300	0.22		
5	30.10.90	14:45	4.00	7.23	500	12.5	680	1400	0.27		
6	07.11.90	14:45	8.00	15.23	500	12.7	540	570	0.36		
7	23.11.90	14:45	16.00	31.23	500	12.7	500	240	0.40		
8	21.12.90	14:10	27.98	59.20	500			120	0.41		

BEREGNING AF STOFFLUX OG AKKUMULEREDE UDVASKEDE STOPMÆNGDER:

FRAKTION	KLORID FLUX mg/m ² /d	KLORID AKK.UDV. mg/m ²	Pb FLUX mg/m ² /d	Pb AKK.UDV. mg/m ²
1	2.3E+06	4.8E+04	4.6E+01	9.5E-01
2	7.0E+05	1.9E+05	2.8E+01	6.7E+00
3	2.2E+05	4.2E+05	1.1E+01	1.8E+01
4	7.3E+04	5.6E+05	7.0E+00	3.2E+01
5	2.2E+04	6.5E+05	4.3E+00	4.9E+01
6	4.5E+03	6.9E+05	2.9E+00	7.2E+01
7	9.5E+02	7.0E+05	1.6E+00	9.7E+01
8	2.7E+02	7.1E+05	9.3E-01	1.2E+02

TANKUDVASKNINGSFORSØG MED STABILISEREDE RØGGASRENSNINGSPRODUKTER FRA AFFALDSFORBRÆNDINGSANLÆG

STØBNING NR: 30 (B)
STØBEDATO: 25.09.90

TØRT RESTPRODUKT FRA NORDFORBRÆNDING (NORD)

BLANDEMETODE: LILLE BLANDEMASKINE, CA. 1 MINUT
STØBEMETODE: HELDT I FORM, LØST STAMPET
LAGRING: 20 GRADER C, 100 % RH

DIAMETER AF PRØVEEMNER (CYLINDRE): 50 mm
OVERFLADEAREAL AF PRØVEEMNER: 0.00785 m²

SAMMENSETNING AF BLANDING: (60/40/65)		
NORD	240 g	60 % (w/w)
CEMENT	160 g	40 % (w/w)
VAND	260 g	65 % (w/w)
VAND/CEMENT: 1.63		

EMNE NR	HØJDE (mm)	VOLUMEN (cm ³)	VEGT (g)	TØRDENSITET (g/cm ³)	ANVENDELSE
1	25	49.1	76.9	0.95	U-4A
2	25	49.1	77.6	0.96	
3	25	49.1	77.5	0.96	
4	25	49.1	78.0	0.96	
5	25	49.1	77.1	0.95	
6	50	98.2			U-4B

LAGRINGSPERIODE FØR UDFØRELSE AF TANKUDVASKNINGSFORSØG: 28 DAGE (FORSØG TYPE U-4)
TANKUDVASKNINGSFORSØG MED DEMINERALISERET VAND INDSTILLET TIL pH = 4 MED HNO₃. SAMMENSETNING AF UDSKIFTET VAND:

FRAKTION	DATO	KLOKKE-SLET	TID (døgn)	AKK. TID (døgn)	VOLUMEN (ml)	pH	LEDN. EVNE (mS/m)	KLORID (mg/l)	Pb (mg/l)	Cd (mg/l)	Cu (mg/l)
START	23.10.90	09:15		0.00							
1	23.10.90	09:45	0.02	0.02	700	11.6	311	810	0.021		
2	23.10.90	14:45	0.21	0.23	700	12.1	840	2400	0.19		
3	24.10.90	14:45	1.00	1.23	750	12.3	1300	4000	0.33		
4	26.10.90	14:45	2.00	3.23	750	12.3	1000	3000	0.26		
5	30.10.90	14:45	4.00	7.23	750	12.4	900	2400	0.29		
6	07.11.90	14:45	8.00	15.23	750	12.5	710	1500	0.37		
7	23.11.90	14:45	16.00	31.23	750	12.7	580	730	0.41		
8	21.12.90	14:10	27.98	59.20	750			300	0.31		

BEREGNING AF STOFFLUX OG AKKUMULEREDE UDVASKEDE STOFMÆNGDER:

FRAKTION	KLORID FLUX (mg/m ² /d)	KLORID AKK.UDV. (mg/m ²)	Pb FLUX (mg/m ² /d)	Pb AKK.UDV. (mg/m ²)
1	3.5E+06	7.2E+04	9.0E+01	1.9E+00
2	1.0E+06	2.9E+05	8.1E+01	1.9E+01
3	3.8E+05	6.7E+05	3.2E+01	5.0E+01
4	1.4E+05	9.5E+05	1.2E+01	7.5E+01
5	5.7E+04	1.2E+06	6.9E+00	1.0E+02
6	1.8E+04	1.3E+06	4.4E+00	1.4E+02
7	4.4E+03	1.4E+06	2.4E+00	1.8E+02
8	1.0E+03	1.4E+06	1.1E+00	2.1E+02

TANKUDVASKNINGSFORSØG MED STABILISEREDE RØGGASRENSNINGSPRODUKTER FRA AFFALDSFORBRÆNDINGSANLÆG

STØBNING NR: 33
STØBEDATO: 25.09.90

SEMITØRT RESTPRODUKT FRA I/S KARA, ROSKILDE (KARA)

BLANDEMETODE: LILLE BLANDEMASKINE, CA. 1 MINUT
STØBEMETODE: HELDT I FORM, LØST STAMPET
LAGRING: 20 GRADER C, 100 % RH

DIAMETER AF PRØVEEMNER (CYLINDRE): 50 mm
OVERFLADEAREAL AF PRØVEEMNER: 0.00785 m²

SAMMENSETNING AF BLANDING: (80/20/50)		
KARA	320 g	80 % (w/w)
CEMENT	80 g	20 % (w/w)
VAND	200 g	30 % (w/w)
VAND/CEMENT: 2.50		

EMNE NR	HØJDE (mm)	VOLUMEN (cm ³)	VEGT (g)	TØRDEN- SÆTET (g/cm ³)	ANVENDELSE
1	25	49.1	74.6	1.17	U-4
2	25	49.1	74.2	1.16	
3	25	49.1	73.9	1.16	
4	25	49.1	74.4	1.17	
5	25	49.1	74.8	1.17	

LAGRINGSPERIODE FØR UDFØRELSE AF TANKUDVASKNINGSFORSØG: 28 DAGE (FORSØG TYPE U-4)
TANKUDVASKNINGSFORSØG MED DEMINERALISERET VAND INDSTILLET TIL pH = 4 MED HNO₃. SAMMENSETNING AF UDSKIFTET VAND:

FRAKTION	DATO	KLOKKE- SÆT	TID (døgn)	ARK. TID (døgn)	VOLUMEN (ml)	pH	LEDN.EVNE (mS/m)	KLORID (mg/l)	Pb (mg/l)	Cd (mg/l)	Cu (mg/l)
START	23.10.90	09:15		0.00							
1	23.10.90	09:45	0.02	0.02	500	>11.4		790	0.32		
2	23.10.90	14:45	0.21	0.23	500	>11.8		2300	1.1		
3	24.10.90	14:45	1.00	1.23	500	>12.0		3600	1.3		
4	26.10.90	14:45	2.00	3.23	500	>12.1		2280	1.0		
5	30.10.90	14:45	4.00	7.23	500	>12.2		1230	1.1		
6	07.11.90	14:45	8.00	15.23	500	>12.4		420	1.3		
7	23.11.90	14:45	16.00	31.23	500	>12.5		140	1.5		
8	21.12.90	14:10	27.98	59.20	500	>12.4		59			

Beregning af stofflux og akkumulerede udvaskede stofmængder:

FRAKTION	KLORID FLUX (mg/m ² /d)	KLORID AKK.UOV. (mg/m ²)	Pb FLUX (mg/m ² /d)	Pb AKK.UOV. (mg/m ²)
1	2.4E+06	5.0E+04	9.8E+02	2.0E+01
2	7.0E+05	2.0E+05	3.4E+02	9.0E+01
3	2.3E+05	4.3E+05	8.3E+01	1.7E+02
4	7.3E+04	5.7E+05	3.2E+01	2.4E+02
5	2.0E+04	6.5E+05	1.8E+01	3.1E+02
6	3.3E+03	6.8E+05	1.0E+01	3.9E+02
7	5.6E+02	6.9E+05	6.0E+00	4.9E+02
8	1.3E+02	6.9E+05		

TANKUDVASKNINGSFORSØG MED STABILISEREDE RØGGASRENSNINGSPRODUKTER FRA AFFALDSFORBRÆNDINGSANLÆG

STØBNING NR: 35
STØBEDATO: 25.09.90

TØRT RESTPRODUKT FRA I/S REFA I NYKØBING F. (REFA)

BLANDEMETODE: LILLE BLANDEMASKINE, CA. 1 MINUT
STØBEMETODE: HELDT I FORM, LØST STAMPET
LAGRING: 20 GRADER C, 100 % RH

DIAMETER AF PRØVEEMNER (CYLINDRE): 50 mm
OVERFLADEAREAL AF PRØVEEMNER: 0.00785 m²

SAMMENSETNING AF BLANDING: (80/20/65)			EMNE NR	HØJDE (mm)	VOLUMEN (cm ³)	VEGT (g)	TØRDEN- SITTET (g/cm ³)	ANVENDELSE
REFA	320 g	80 % (w/w)	1	25	49.1	77.1	0.95	U-4
CEMENT	80 g	20 % (w/w)	2	25	49.1	77.1	0.95	
VAND	260 g	65 % (w/w)	3	25	49.1	78.6	0.97	
			4	25	49.1	78.6	0.97	
			5	25	49.1	79.0	0.98	
VAND/CEMENT:	3.25							

LAGRINGSPERIODE FØR UDFØRELSE AF TANKUDVASKNINGSFORSØG: 28 DAGE (FORSØG TYPE U-4)
TANKUDVASKNINGSFORSØG MED DEMINERALISERET VAND INDSTILLET TIL pH = 4 MED HNO₃. SAMMENSETNING AF UDSKIFTET VAND:

FRAKTION	DATO	KLOKKE-SLET	TID (døgn)	AKK. TID (døgn)	VOLUMEN (ml)	pH	LEDN.EVNE (mS/m)	KLORID (mg/l)	Pb (mg/l)	Cd (mg/l)	Cu (mg/l)
START	23.10.90	09:15		0.00							
1	23.10.90	09:45	0.02	0.02	500	11.6	410	1100	0.09		
2	23.10.90	14:45	0.21	0.23	500	12.1	900	2400	0.38		
3	24.10.90	14:45	1.00	1.23	500	12.3	1200	3100	0.79		
4	26.10.90	14:45	2.00	3.23	500	12.4	840	1700	0.77		
5	30.10.90	14:45	4.00	7.23	500	12.5	700	760	0.94		
6	07.11.90	14:45	8.00	15.23	500	12.6	640	270	1.1		
7	23.11.90	14:45	16.00	31.23	500	12.6	700	120	1.4		
8	21.12.90	14:10	27.98	59.20	500	12.7	710	66			

BEREGNING AF STOFFLUX OG AKKUMULEREDE UDVASKEDE STOFMÆNGDER:

FRAKTION	KLORID FLUX mg/m ² /d	KLORID AKK.UDV. mg/m ²	Pb FLUX mg/m ² /d	Pb AKK.UDV. mg/m ²
1	3.4E+06	7.0E+04	2.8E+02	5.7E+00
2	7.3E+05	2.2E+05	1.2E+02	3.0E+01
3	2.0E+05	4.2E+05	5.0E+01	8.0E+01
4	5.4E+04	5.3E+05	2.5E+01	1.3E+02
5	1.2E+04	5.8E+05	1.5E+01	1.9E+02
6	2.1E+03	5.9E+05	8.8E+00	2.6E+02
7	4.8E+02	6.0E+05	5.6E+00	3.5E+02
8	1.5E+02	6.1E+05		

TANKUDVASKNINGSFORSØG MED STABILISEREDE RØGGASRENSNINGSPRODUKTER FRA AFFALDSFORBRÆNDINGSANLÆG

STØBNING NR: 36
STØBEDATO: 25.09.90

TØRT RESTPRODUKT FRA I/S REFA I NYKØBING F. (REFA)
MATERIALE UDTAGET AF UDVASKNINGSKOLONNE EFTER FORSØG

BLANDEMETODE: LILLE BLANDEMASKINE, CA. 1 MINUT
STØBEMETODE: HELOT I FORM, LØST STAMPET
LAGRING: 20 GRADER C, 100 % RH

DIAMETER AF PRØVEEMNER (CYLINDRE): 50 mm
OVERFLADEAREAL AF PRØVEEMNER: 0.01178 m²

SAMMENSETNING AF BLANDING: (80/20/80)		
REFA	612 g	80 % (w/w)
CEMENT	153 g	20 % (w/w)
VAND	612 g	80 % (w/w)
VAND/CEMENT: 4.00		

EMNE NR	HØJDE (mm)	VOLUMEN (cm ³)	VEGT (g)	TØRDEN-SITET (g/cm ³)	ANVENDELSE
1	50	98.2	152.9	0.87	U-4
2	50	98.2	150.7	0.85	
3	50	98.2	151.3	0.86	
4	50	98.2	152.0	0.86	
5	50	98.2	153.0	0.87	

LAGRINGSPERIODE FØR UDFØRELSE AF TANKUDVASKNINGSFORSØG: 28 DAGE (FORSØG TYPE U-4)
TANKUDVASKNINGSFORSØG MED DEMINERALISERET VAND INDSTILLET TIL pH = 4 MED HNO₃. SAMMENSETNING AF UDSKIFTET VAND:

FRAKTION	DATO	KLOKKE-SLET	TID (døgn)	AKK. TID (døgn)	VOLUMEN (ml)	pH	LEDN.EVNE (mS/m)	KLORID (mg/l)	Pb (mg/l)	Cd (mg/l)	Cu (mg/l)
START	23.10.90	09:15		0.00							
1	23.10.90	09:45	0.02	0.02	700	>11.7	77	1.6	0.034		
2	23.10.90	14:45	0.21	0.23	700	>12.2	260	4.7	0.21		
3	24.10.90	14:45	1.00	1.23	750	>12.5	480	9.2	0.55		
4	26.10.90	14:45	2.00	3.23	750	>12.5	470	8.6	0.58		
5	30.10.90	14:45	4.00	7.23	750	>12.6	520	9.9	0.75		
6	07.11.90	14:45	8.00	15.23	750	>12.6	530	13	0.77		
7	23.11.90	14:45	16.00	31.23	750	>12.6	600	14	0.90		
8	21.12.90	14:10	27.98	59.20	750	>12.7	680	15			

BEREGNING AF STOPFLUX OG AKKUMLEREDE UDVASKEDE STOFMENGDER:

FRAKTION	KLORID FLUX mg/m ² /d	KLORID AKK.UDV. mg/m ²	Pb FLUX mg/m ² /d	Pb AKK.UDV. mg/m ²
1	4.6E+03	9.5E+01	9.7E+01	2.0E+00
2	1.3E+03	3.7E+02	6.0E+01	1.4E+01
3	5.9E+02	9.6E+02	3.5E+01	5.0E+01
4	2.7E+02	1.5E+03	1.8E+01	8.6E+01
5	1.6E+02	2.1E+03	1.2E+01	1.3E+02
6	1.0E+02	3.0E+03	6.1E+00	1.8E+02
7	5.6E+01	3.9E+03	3.6E+00	2.4E+02
8	3.4E+01	4.8E+03		

TANKUDVASKNINGSFORSØG MED STABILISEREDE RØGGASRENSNINGSPRODUKTER FRA AFFALDSFORBRENDINGSANLÆG

STØBNING NR: 37
STØBEDATO: 26.09.90

TØRT RESTPRODUKT FRA I/S REFA I NYKØBING F. (REFA)
MATERIALE UDTAGET AF UDVASKINGSKOLONNE EFTER FORSØG

BLANDEMETODE: LILLE BLANDEMASKINE, CA. 1 MINUT
STØBEMETODE: HELDT I FORM, LØST STAMPET
LAGRING: 20 GRADER C, 100 % RH

DIAMETER AF PRØVEEMNER (CYLINDRE): 50 mm
OVERFLADEAREAL AF PRØVEEMNER: 0.01178 m²

SAMMENSETNING AF BLANDING: (80/20/85)			
REFA	612 g	80 % (w/w)	
CEMENT	153 g	20 % (w/w)	
VAND	650 g	85 % (w/w)	
VAND/CEMENT: 4.25			

EMNE NR	HØJDE (mm)	VOLUMEN (cm ³)	VEGT (g)	TØRDEN-SITET (g/cm ³)	ANVENDELSE
6	50	98.2	149.4	0.82	U-4
7	50	98.2	149.5	0.82	
8	50	98.2	148.9	0.82	
9	50	98.2	148.9	0.82	
10	50	98.2	150.0	0.83	

LAGRINGSPERIODE FØR UDFØRELSE AF TANKUDVASKNINGSFORSØG: 28 DAGE (FORSØG TYPE U-4)
TANKUDVASKNINGSFORSØG MED DEMINERALISERET VAND INDSTILLET TIL pH = 4 MED HNO₃. SAMMENSETNING AF UDSKIFTET VAND:

FRAKTION	DATO	KLOKKE-SLET	TID (døgn)	AKK. TID (døgn)	VOLUMEN (ml)	pH	LEDN.EVNE (mS/m)	KLORID (mg/l)	Pb (mg/l)	Cd (mg/l)	Cu (mg/l)
START	24.10.90	08:40		0.00							
1	24.10.90	09:10	0.02	0.02	750	>11,5		1.2	0.015		
2	24.10.90	14:10	0.21	0.23	750	>12,2		4.5	0.24		
3	25.10.90	14:10	1.00	1.23	750	>12,5		7.8	0.48		
4	27.10.90	14:20	2.01	3.24	750	>12,6		11	0.65		
5	31.10.90	14:20	4.00	7.24	750	>12,6		21	0.63		
6	08.11.90	14:20	8.00	15.24	750	>12,6		14	0.77		
7	23.11.90	14:20	15.00	30.24	750	>12,7		15	0.90		
8	02.01.91	13:20	39.96	70.19	500	>12,7		18			

BEREGNING AF STOFFLUX OG AKKUMULEREDE UDVASKEDE STØFMÆNGDER:

FRAKTION	KLORID FLUX mg/m ² /d	KLORID AKK.UDV. mg/m ²	Pb FLUX mg/m ² /d	Pb AKK.UDV. mg/m ²
1	3.7E+03	7.6E+01	0.0E+00	0.0E+00
2	1.4E+03	3.6E+02	7.3E+01	1.5E+01
3	5.0E+02	8.6E+02	3.1E+01	4.6E+01
4	3.5E+02	1.6E+03	2.1E+01	8.7E+01
5	3.3E+02	2.9E+03	1.0E+01	1.3E+02
6	1.1E+02	3.8E+03	6.1E+00	1.8E+02
7	6.4E+01	4.7E+03	3.8E+00	2.3E+02
8	1.9E+01	5.5E+03		

TANKUDVASKNINGSFORSØG MED STABILISEREDE RØGGASRENSNINGSPRODUKTER FRA AFFALDSFORBRENDINGSANLÆG

STØBNING NR: 38 (A)
STØBEDATO: 26.09.90

TØRT RESTPRODUKT FRA I/S REFA I NYKØBING F. (REFA)
MATERIALE UDTAGET AF UDVASKNINGSKOLONNE EFTER FORSØG

BLANDEMETODE: LILLE BLANDEMASKINE, CA. 1 MINUT
STØBEMETODE: HELDT I FORM, LØST STAMPET
LAGRING: 20 GRADER C, 100 % RH

DIAMETER AF PRØVEEMNER (CYLINDRE): 50 mm
OVERFLADEAREAL AF PRØVEEMNER: 0.00785 m²

SAMMENSETNING AF BLANDING: (60/40/80)		
REFA	510 g	60 % (w/w)
CEMENT	240 g	40 % (w/w)
VAND	680 g	80 % (w/w)
VAND/CEMENT: 2.83		

EMNE NR	HØJDE (mm)	VOLUMEN (cm ³)	VÆGT (g)	TØRDENSITET (g/cm ³)	ANVENDELSE
1	25	49.1	76.9	0.87	U-4
2	25	49.1	76.9	0.87	
3	25	49.1	77.7	0.88	
4	25	49.1	76.9	0.87	
5	25	49.1	77.1	0.87	

LAGRINGSPERIODE FØR UDFØRELSE AF TANKUDVASKNINGSFORSØG: 28 DAGE (FORSØG TYPE U-4)
TANKUDVASKNINGSFORSØG MED DEMINERALISERET VAND INDSTILLET TIL pH = 4 MED HNO₃. SAMMENSETNING AF UDSKIFTET VAND:

FRAKTION	DATO	KLORKE-SLET	TID (døgn)	AKK. TID (døgn)	VOLUMEN (ml)	pH	LEDN.EVNE (mS/m)	KLORID (mg/l)	Pb (mg/l)	Cd (mg/l)	Cu (mg/l)
START	24.10.90	08:40		0.00							
1	24.10.90	09:10	0.02	0.02	500	11.6	41	0.4	0.004		
2	24.10.90	14:10	0.21	0.23	500	12.0	190	1.8	0.060		
3	25.10.90	14:10	1.00	1.23	500	12.4	390	3.8	0.12		
4	27.10.90	14:20	2.01	3.24	500	12.4	420	4.8	0.16		
5	31.10.90	14:20	4.00	7.24	500	12.4	460	9.5	0.20		
6	08.11.90	14:20	8.00	15.24	500	12.4	510	8.2	0.30		
7	23.11.90	14:20	15.00	30.24	500	12.5	570	9.1	0.40		
8	02.01.91	13:20	39.96	70.19	500	12.4	450	8.7			

BEREGNING AF STOFFLUX OG AKKUMULEREDE UDVASKEDE STOFMÆNGDER:

FRAKTION	KLORID FLUX mg/m ² /d	KLORID AKK.UDV. ng/m ²	Pb FLUX mg/m ² /d	Pb AKK.UDV. ng/m ²
1	1.2E+03	2.5E+01	1.2E+01	2.5E-01
2	5.5E+02	1.4E+02	1.8E+01	4.1E+00
3	2.4E+02	3.8E+02	7.6E+00	1.2E+01
4	1.5E+02	6.9E+02	5.1E+00	2.2E+01
5	1.5E+02	1.3E+03	3.2E+00	3.5E+01
6	6.5E+01	1.8E+03	2.4E+00	5.4E+01
7	3.9E+01	2.4E+03	1.7E+00	7.9E+01
8	1.4E+01	2.9E+03		

TANKUDVASKNINGSFORSØG MED STABILISEREDE RØGGASRENSNINGSPRODUKTER FRA AFFALDSFORBRENDINGSANLÆG

STØBNING NR: 38 (B)
STØBEDATO: 26.09.90

TØRT RESTPRODUKT FRA I/S REFA I NYKØBING F. (REFA)
MATERIALE UDTAGET AF UDVASKINGSKOLONNE EFTER FORSØG

BLANDEMETODE: LILLE BLANDEMASKINE, CA. 1 MINUT
STØBEMETODE: HELDT I FORM, LØST STAMPET
LAGRING: 20 GRADER C, 100 % RH

DIAMETER AF PRØVEEMNER (CYLINDRE): 50 mm
OVERFLADEAREAL AF PRØVEEMNER: 0.01178 m²

SAMMENSETNING AF BLANDING: (60/40/80)		
REFA	510 g	60 % (w/w)
CEMENT	240 g	40 % (w/w)
VAND	680 g	80 % (w/w)
VAND/CEMENT: 2.83		

EMNE NR	HØJDE (mm)	VOLUMEN (cm ³)	VEGT (g)	TØRDEN- SİTET (g/cm ³)	ANVENDELSE
6	50	98.2	154.4	0.87	U-4
7	50	98.2	152.2	0.86	
8	50	98.2	165.4	0.94	
9	50	98.2	152.7	0.86	
10	50	98.2	152.8	0.86	

LAGRINGSPERIODE FØR UDFØRELSE AF TANKUDVASKNINGSFORSØG: 28 DAGE (FORSØG TYPE U-4)
TANKUDVASKNINGSFORSØG MED DEMINERALISERET VAND INDSTILLET TIL pH = 4 MED HNO₃. SAMMENSETNING AF UDSKIFTET VAND:

FRAKTION	DATO	KLØKKE- SİT	TİD (døgn)	AKK. TİD (døgn)	VOLUMEN (ml)	pH	LEDN. EVNE (mS/m)	KLORİD (mg/l)	Pb (mg/l)	Cd (mg/l)	Cu (mg/l)
START	24.10.90	08:40		0.00							
1	24.10.90	09:10	0.02	0.02	750	>11.4	46	0.4	0.004		
2	24.10.90	14:10	0.21	0.23	750	>12.0	200	1.7	0.056		
3	25.10.90	14:10	1.00	1.23	750	>12.2	370	3.5	0.13		
4	27.10.90	14:20	2.01	3.24	750	>12.3	400	4.6	0.20		
5	31.10.90	14:20	4.00	7.24	750	>12.3	450	10	0.25		
6	08.11.90	14:20	8.00	15.24	750	>12.3	490	8.4	0.30		
7	23.11.90	14:20	15.00	30.24	750	>12.3	450	8.9	0.30		
8	02.01.91	13:20	39.96	70.19	750	>12.4	460	8.5			

BEREGNING AF STOFFLUX OG AKKUMULEREDE UDVASKEDE STOFMENGDER:

FRAKTION	KLORİD FLUX mg/m ² /d	KLORİD AKK.UDV. mg/m ²	Pb FLUX mg/m ² /d	Pb AKK.UDV. mg/m ²
1	1.2E+03	2.5E+01	1.2E+01	2.5E-01
2	5.2E+02	1.3E+02	1.7E+01	3.8E+00
3	2.2E+02	3.6E+02	8.3E+00	1.2E+01
4	1.5E+02	6.5E+02	6.3E+00	2.5E+01
5	1.6E+02	1.3E+03	4.0E+00	4.1E+01
6	6.7E+01	1.8E+03	2.4E+00	6.0E+01
7	3.8E+01	2.4E+03	1.3E+00	7.9E+01
8	1.4E+01	2.9E+03		

TANKUVASKNINGSFORSØG MED STABILISEREDE RØGGASRENSNINGSPRODUKTER FRA AFFALDSFORBRÆNDINGSANLÆG

STØBNING NR: 39
STØBEDATO: 27.09.90

TØRT RESTPRODUKT FRA NORDFORBRÆNDING (NORD)
MATERIALE UDTAGET AF UDVASKINGSKOLONNE EFTER FORSØG

BLANDEMETODE: LILLE BLANDEMASKINE, CA. 1 MINUT
STØBEMETODE: HELDT I FORM, LØST STAMPET
LAGRING: 20 GRADER C, 100 % RH

DIAMETER AF PRØVEEMNER (CYLINDRE): 50 mm
OVERFLADEAREAL AF PRØVEEMNER: 0.01178 m²

SAMMENSETNING AF BLANDING: (80/20/117)		
NORD	487 g	80 % (w/w)
CEMENT	122 g	20 % (w/w)
VAND	713 g	117 % (w/w)
VAND/CEMENT: 5.84-		

EMNE NR	HØJDE (mm)	VOLUMEN (cm ³)	VÆGT (g)	TØRDEN-SITET (g/cm ³)	ANVENDELSE
6	50	98.2	138.2	0.65	U-4
7	50	98.2	139.6	0.66	
8	50	98.2	139.5	0.65	
9	50	98.2	149.7	0.70	
10	50	98.2	138.7	0.65	

LAGRINGSPERIODE FØR UDFØRELSE AF TANKUVASKNINGSFORSØG: 28 DAGE (FORSØG TYPE U-4)
TANKUVASKNINGSFORSØG MED DEMINERALISERET VAND INDSTILLET TIL pH = 4 MED HNO₃. SAMMENSETNING AF UDSKIFTET VAND:

FRAKTION	DATO	KLOKKE-SLET	TID (døgn)	AKK. TID (døgn)	VOLUMEN (ml)	pH	LEDN.EVNE (mS/m)	KLORID (mg/l)	Pb (mg/l)	Cd (mg/l)	Cu (mg/l)
START	25.10.90	08:00		0.00							
1	25.10.90	08:30	0.02	0.02	750	>11.2	55	2.0	0.004		
2	25.10.90	14:10	0.24	0.26	750	>12.0	220	6.5	0.066		
3	26.10.90	14:10	1.00	1.26	750	>12.3	390	11	0.23		
4	28.10.90	14:10	2.00	3.26	750	>12.4	420	12	0.22		
5	01.11.90	14:05	4.00	7.25	750	>12.3	400	14	0.26		
6	08.11.90	14:20	7.01	14.26	750	>12.3	430	14	0.40		
7	26.11.90	14:15	18.00	32.26	750	>12.4	480	15	0.43		
8	02.01.91	13:20	36.96	69.22	500	>12.4	540	17			

BEREGNING AF STOFFLUX OG AKKUMULEREDE UDVASKEDE STOFMÆNGDER:

FRAKTION	KLORID FLUX (mg/m ² /d)	KLORID AKK.UDV. (mg/m ²)	Pb FLUX (mg/m ² /d)	Pb AKK.UDV. (mg/m ²)
1	6.1E+03	1.3E+02	1.2E+01	2.5E-01
2	1.8E+03	5.4E+02	1.8E+01	4.5E+00
3	7.0E+02	1.2E+03	1.5E+01	1.9E+01
4	3.8E+02	2.0E+03	7.0E+00	3.3E+01
5	2.2E+02	2.9E+03	4.1E+00	5.0E+01
6	1.3E+02	3.8E+03	3.6E+00	7.5E+01
7	5.3E+01	4.7E+03	1.5E+00	1.0E+02
8	2.0E+01	5.5E+03		

TANKUDVASKNINGSFORSØG MED STABILISEREDE RØGGASRENSNINGSPRODUKTER FRA AFFALDSFORBRÆNDINGSANLÆG

STØBNING-NR: 40 (A)
STØBEDATO: 27.09.90

TØRT RESTPRODUKT FRA NORDFORBRÆNDING (NORD)
MATERIALE UDTAGET AF UDVASNINGSKOLONNE EFTER FORSØG

BLANDEMETODE: LILLE BLANDEMASKINE, CA. 1 MINUT
STØBEMETODE: HÆLDT I FORM, LØST STAMPET
LAGRING: 20 GRADER C, 100 % RH

DIAMETER AF PRØVEEMNER (CYLINDRE): 50 mm
OVERFLADEAREAL AF PRØVEEMNER: 0.00785 m²

SAMMENSETNING AF BLANDING: (60/40/88)			EMNE	HØJDE	VOLUMEN	VÆGT	TØRDEN-	ANVENDELSE
			NR	(mm)	(cm ³)	(g)	SITET (g/cm ³)	
NORD	487 g	60 % (w/w)	1	25	49.1	75.5	0.82	U-4
CEMENT	324 g	40 % (w/w)	2	25	49.1	75.9	0.82	
VAND	713 g	88 % (w/w)	3	25	49.1	75.9	0.82	
			4	25	49.1	75.0	0.81	
			5	25	49.1	75.6	0.82	
VAND/CEMENT:	2.20							

LAGRINGSPERIODE FØR UDFØRELSE AF TANKUDVASKNINGSFORSØG: 28 DAGE (FORSØG TYPE U-4)
TANKUDVASKNINGSFORSØG MED DEMINERALISERET VAND INDSTILLET TIL pH = 4 MED HNO₃. SAMMENSETNING AF UDSKIFTET VAND:

FRAKTION	DATO	KLOKKE-SLET	TID (døgn)	AKK. TID (døgn)	VOLUMEN (ml)	pH	LEDN. EVNE (mS/m)	KLORID (mg/l)	Pb (mg/l)	Cd (mg/l)	Cu (mg/l)
START	25.10.90	08:00		0.00							
1	25.10.90	08:30	0.02	0.02	500	11.4	47	0.6	0.001		
2	25.10.90	14:10	0.24	0.26	500	12	180	2.3	0.017		
3	26.10.90	14:10	1.00	1.26	500	12.2	340	4.4	0.061		
4	28.10.90	14:10	2.00	3.26	500	12.1	350	5.2	0.069		
5	01.11.90	14:05	4.00	7.25	500	12.2	360	7.6	0.084		
6	09.11.90	14:10	8.00	15.26	500	12.2	350	8.4	0.088		
7	26.11.90	14:15	17.00	32.26	500	12.2	360	9.3	0.080		
8	03.01.91	13:20	37.96	70.22	500	12.2	260	8.0	0.047		

BEREGNING AF STOFFLUX OG AKKUMULEREDE UDVASKEDE STOFMÆNGDER:

FRAKTION	KLORID FLUX	KLORID AKK.UDV.	Pb FLUX	Pb AKK.UDV.
	mg/m ² /d	mg/m ²	mg/m ² /d	mg/m ²
1	1.8E+03	3.8E+01	3.1E+00	6.4E-02
2	6.2E+02	1.8E+02	4.6E+00	1.1E+00
3	2.8E+02	4.6E+02	3.9E+00	5.0E+00
4	1.7E+02	8.0E+02	2.2E+00	9.4E+00
5	1.2E+02	1.3E+03	1.3E+00	1.5E+01
6	6.7E+01	1.8E+03	7.0E-01	2.0E+01
7	3.5E+01	2.4E+03	3.0E-01	2.5E+01
8	1.3E+01	2.9E+03		

TANKUDVASKNINGSFORSØG MED STABILISEREDE RØGGASRENSNINGSPRODUKTER FRA AFFALDSFORBRÆNDINGSANLÆG

STØBNING NR: 40 (B)
 STØBEDATO: 27.09.90
 BLENDEMETODE: LILLE BLENDEMASKINE, CA. 1 MINUT
 STØBEMETODE: HELDT I FORM, LØST STAMPET
 LAGRING: 20 GRADER C, 100 % RH

TØRT RESTPRODUKT FRA NORDFORBRÆNDING (NORD)
 MATERIALE UDTAGET AF UDVASKNINGSKOLONNE EFTER FORSØG
 DIAMETER AF PRØVEEMNER (CYLINDRE): 50 mm
 OVERFLADEAREAL AF PRØVEEMNER: 0.01178 m²

SAMMENSETNING AF BLANDING: (60/40/88)		
NORD	487 g	60 % (w/w)
CEMENT	324 g	40 % (w/w)
VAND	713 g	88 % (w/w)
VAND/CEMENT: 2.20		

EMNE NR	HØJDE (mm)	VOLUMEN (cm ³)	VEGT (g)	TØRDEN-SITET (g/cm ³)	ANVENDELSE
6	50	98.2	149.6	0.81	U-4
7	50	98.2	150.3	0.81	
8	50	98.2	149.4	0.81	
9	50	98.2	149.8	0.81	
10	50	98.2	148.3	0.80	

LAGRINGSPERIODE FØR UDFØRELSE AF TANKUDVASKNINGSFORSØG: 28 DAGE (FORSØG TYPE U-4)
 TANKUDVASKNINGSFORSØG MED DEMINERALISERET VAND INDSTILLET TIL pH = 4 MED HNO₃. SAMMENSETNING AF UDSKIFTET VAND:

FRAKTION	DATO	KLOKKE-SLET	TID (døgn)	AKK. TID (døgn)	VOLUMEN (ml)	pH	LEDN.EVNE (mS/m)	KLORID (mg/l)	Pb (mg/l)	Cd (mg/l)	Cu (mg/l)
START	25.10.90	08:00		0.00							
1	25.10.90	08:30	0.02	0.02	750	>11.2	45	0.6	0.0014		
2	25.10.90	14:10	0.24	0.26	750	>11.9	180	2.4	0.020		
3	26.10.90	14:10	1.00	1.26	750	>12.1	330	4.4	0.072		
4	28.10.90	14:10	2.00	3.26	750	>12.2	370	5.3	0.088		
5	01.11.90	14:05	4.00	7.25	750	>12.2	410	7.9	0.10		
6	09.11.90	14:10	8.00	15.26	750	>12.2	410	8.9	0.14		
7	26.11.90	14:15	17.00	32.26	750	>12.4	430	10	0.11		
8	03.01.91	13:20	37.96	70.22	750	>12.3	390	9.6			

BEREGNING AF STOFFLUX OG AKKUMULEREDE UDVASKEDE STOFMÆNGDER:

FRAKTION	KLORID FLUX mg/m ² /d	KLORID AKK.UDV. mg/m ²	Pb FLUX mg/m ² /d	Pb AKK.UDV. mg/m ²
1	1.8E+03	3.8E+01	4.3E+00	8.9E-02
2	6.5E+02	1.9E+02	5.4E+00	1.4E+00
3	2.8E+02	4.7E+02	4.6E+00	5.9E+00
4	1.7E+02	8.1E+02	2.8E+00	1.2E+01
5	1.3E+02	1.3E+03	1.6E+00	1.8E+01
6	7.1E+01	1.9E+03	1.1E+00	2.7E+01
7	3.7E+01	2.5E+03	4.1E-01	3.4E+01
8	1.6E+01	3.1E+03		

TANKUDVASKNINGSFORSØG MED STABILISEREDE RØGGASRENSNINGSPRODUKTER FRA AFFALDSFORBRÆDINGSANLÆG

STØBNING NR: 41
STØBEDATO: 02.10.90

SEMITØRT RESTPRODUKT FRA AMAGERFORBRÆDNING (AF)
MATERIALE UDTAGET AF UDVASKINGSKOLONNE EFTER FORSØG

BLANDEMETODE:
STØBEMETODE: HELDT I FORM, LØST STAMPET
LAGRING: 20 GRADER C, 100 % RH

DIAMETER AF PRØVEEMNER (CYLINDRE): 50 mm
OVERFLADEAREAL AF PRØVEEMNER: 0.01162 m²

SAMMENSETNING AF BLANDING: (80/20/87)		
AF	574 g	80 % (w/w)
CEMENT	143 g	20 % (w/w)
VAND	626 g	87 % (w/w)
VAND/CEMENT: 4.38		

EMNE NR	HØJDE (mm)	VOLUMEN (cm ³)	VÆGT (g)	TØRDEN- SITTET (g/cm ³)	ANVENDELSE
6	49	96.2	148.7	0.83	U-4
7	49	96.2	147.8	0.82	
8	48	94.2	148.2	0.84	
9	48	94.2	148.1	0.84	
10	48	94.2	146.7	0.83	

LAGRINGSPERIODE FØR UDFØRELSE AF TANKUDVASKNINGSFORSØG: 28 DAGE (FORSØG TYPE U-4)
TANKUDVASKNINGSFORSØG MED DEMINERALISERET VAND INDSTILLET TIL pH = 4 MED HNO₃. SAMMENSETNING AF UDSKIFTET VAND:

FRAKTION	DATE	KLOKKE-SLET	TID (døgn)	AKK. TID (døgn)	VOLUMEN (ml)	pH	LEDN.EVNE (mS/m)	KLORID (mg/l)	Pb (mg/l)	Cd (mg/l)	Cu (mg/l)
START	30.10.90	08:40		0.00							
1	30.10.90	09:10	0.02	0.02	750	11.5	390	0.9	0.013		
2	30.10.90	14:10	0.21	0.23	750	12.1	130	2.6	0.10		
3	31.10.90	14:05	1.00	1.23	750	12.5	230	4.8	0.39		
4	02.11.90	14:00	2.00	3.22	750	12.4	250	7.0	0.45		
5	06.11.90	14:10	4.01	7.23	750	12.5	260	7.3	0.50		
6	14.11.90	14:10	8.00	15.23	750	12.5	250	7.6	0.50		
7	29.11.90	14:10	15.00	30.23	750	12.4	200	7.8	0.50		
8	03.01.91	13:20	34.97	65.19	750	12.1	170	7.1			

BEREGNING AF STOFFLUX OG AKKUMULEREDE UDVASKEDE STOFMÆNGDER:

FRAKTION	KLORID FLUX mg/m ² /d	KLORID AKK.UDV. mg/m ²	Pb FLUX mg/m ² /d	Pb AKK.UDV. mg/m ²
1	2.8E+03	5.8E+01	4.0E+01	8.4E-01
2	8.1E+02	2.3E+02	3.1E+01	7.3E+00
3	3.1E+02	5.4E+02	2.5E+01	3.2E+01
4	2.3E+02	9.9E+02	1.5E+01	6.1E+01
5	1.2E+02	1.5E+03	8.1E+00	9.4E+01
6	6.1E+01	1.9E+03	4.0E+00	1.3E+02
7	3.4E+01	2.5E+03	2.2E+00	1.6E+02
8	1.3E+01	2.9E+03		

TANKUDVASKNINGSFORSØG MED STABILISEREDE RØGGASRENSNINGSPRODUKTER FRA AFFALDSFORBRÆNDINGSANLÆG

STØBNING NR: 42
STØBEDATO: 02.10.90

SEMITØRT RESTPRODUKT FRA AMAGERFORBRÆNDING (AF)
MATERIALE UDTAGET AF UDVASNINGSKOLONNE EFTER FORSØG

BLANDEMETODE:
STØBEMETODE: HELDT I FORM, LØST STAMPET
LAGRING: 20 GRADER C, 100 % RH

DIAMETER AF PRØVEEMNER (CYLINDRE): 50 mm
OVERFLADEAREAL AF PRØVEEMNER: 0.01162 m²

SAMMENSETNING AF BLANDING: (60/40/70)		
AF	478 g	60 % (w/w)
CEMENT	319 g	40 % (w/w)
VAND	558 g	70 % (w/w)
VAND/CEMENT: 1.75		

EMNE NR	HØJDE (mm)	VOLUMEN (cm ³)	VEGT (g)	TØRDEN-SITET (g/cm ³)	ANVENDELSE
6	49	96.2	169.9	1.04	U-4
7	49	96.2	159.0	0.97	
8	48	94.2	158.6	0.99	
9	48	94.2	159.8	1.00	
10	48	94.2	158.1	0.99	

LAGRINGSPERIODE FØR UDFØRELSE AF TANKUDVASKNINGSFORSØG: 28 DAGE (FORSØG TYPE U-4)
TANKUDVASKNINGSFORSØG MED DEMINERALISERET VAND INDSTILLET TIL pH = 4 MED HNO₃. SAMMENSETNING AF UDSKIFTET VAND:

FRAKTION	DATO	KLØRKE-SLET	TID (døgn)	AKK. TID (døgn)	VOLUMEN (ml)	pH	LEDN.EVNE (mS/m)	KLORID (mg/l)	Pb (mg/l)	Cd (mg/l)	Cu (mg/l)
START	30.10.90	08:40		0.00							
1	30.10.90	09:10	0.02	0.02	750	>11.0	32	0.3	0.0026		
2	30.10.90	14:10	0.21	0.23	750	>11.7	110	0.8	0.030		
3	31.10.90	14:05	1.00	1.23	750	>12.1	240	1.8	0.12		
4	02.11.90	14:00	2.00	3.22	750	>12.2	260	3.7	0.30		
5	06.11.90	14:10	4.01	7.23	750	>12.2	270	3.9	0.28		
6	14.11.90	14:10	8.00	15.23	750	>12.2	320	4.5	0.30		
7	29.11.90	14:10	15.00	30.23	750	>12.2	250	4.3	0.20		
8	03.01.91	13:20	34.97	65.19	750	>12.2	250	3.3			

BEREGNING AF STOFFLUX OG AKKUMULEREDE UDVASKEDE STOFMÆNGDER:

FRAKTION	KLORID FLUX mg/m ² /d	KLORID AKK.UDV. mg/m ²	Pb FLUX mg/m ² /d	Pb AKK.UDV. mg/m ²
1	9.3E+02	1.9E+01	8.1E+00	1.7E-01
2	2.5E+02	7.1E+01	9.3E+00	2.1E+00
3	1.2E+02	1.9E+02	7.8E+00	9.8E+00
4	1.2E+02	4.3E+02	9.7E+00	2.9E+01
5	6.3E+01	6.8E+02	4.5E+00	4.7E+01
6	3.6E+01	9.7E+02	2.4E+00	6.7E+01
7	1.8E+01	1.2E+03	8.6E-01	8.0E+01
8	6.1E+00	1.5E+03		

TANKUDVASKNINGSFORSØG MED STABILISEREDE RØGGASRENSNINGSPRODUKTER FRA AFFALDSFORBRENDEINGSANLÆG

STØBNING NR: 43
STØBEDATO: 04.10.90

SEMITØRT RESTPRODUKT FRA I/S KARA, ROSKILDE (KARA)
MATERIALE UDTAGET AF UDVASKINGSKOLONNE EFTER FORSØG

BLANDEMETODE:
STØBEMETODE: HELDT I FORM, LØST STAMPET
LAGRING: 20 GRADER C, 100 % RH

DIAMETER AF PRØVEEMNER (CYLINDRE): 50 mm
OVERFLADEAREAL AF PRØVEEMNER: 0.01178 m²

SAMMENSETNING AF BLANDING: (80/20/87)		
KARA	655 g	80 % (w/w)
CEMENT	164 g	20 % (w/w)
VAND	573 g	70 % (w/w)
VAND/CEMENT: 3.49		

EMNE NR	HØJDE (mm)	VOLUMEN (cm ³)	VEGT (g)	TØRDEN- SÆT (g/cm ³)	ANVENDELSE
6	50	98.2	153.8	0.92	U-4
7	50	98.2	156.0	0.93	
8	50	98.2	155.1	0.93	
9	50	98.2	164.1	0.98	
10	50	98.2	153.8	0.92	

LAGRINGSPERIODE FØR UDFØRELSE AF TANKUDVASKNINGSFORSØG: 28 DAGE (FORSØG TYPE U-4)
TANKUDVASKNINGSFORSØG MED DEMINERALISERET VAND INDSTILLET TIL pH = 4 MED HNO₃. SAMMENSETNING AF UDSKIFTET VAND:

FRAKTION	DATO	KLOKKE-SLET	TID (døgn)	AKK. TID (døgn)	VOLUMEN (ml)	pH	LEDN. EVNE (mS/m)	KLORID (mg/l)	Pb (mg/l)	Cd (mg/l)	Cu (mg/l)
START	01.11.90	08:30		0.00							
1	01.11.90	09:00	0.02	0.02	750	>11.0	13	1.9	0.004		
2	01.11.90	14:05	0.21	0.23	750	>11.8	100	3.9	0.10		
3	02.11.90	14:00	1.00	1.23	750	>12.2	250	8.4	0.48		
4	04.11.90	14:00	2.00	3.23	750	>12.2	270	9.2	0.60		
5	08.11.90	14:00	4.00	7.23	750	>12.3	290	11	0.85		
6	16.11.90	14:00	8.00	15.23	750	>12.3	310	12	0.96		
7	03.12.90	13:50	16.99	32.22	750	>12.4	350	13	1.3		
8	03.01.91	13:20	30.98	63.20	750	>12.4	380	13			

BEREGNING AF STOFFLUX OG AKKUMULEREDE UDVASKEDE STOFMÆNGDER:

FRAKTION	KLORID FLUX mg/m ² /d	KLORID AKK. UDV. mg/m ²	Pb FLUX mg/m ² /d	Pb AKK. UDV. mg/m ²
1	5.8E+03	1.2E+02	1.2E+01	2.5E-01
2	1.2E+03	3.7E+02	3.0E+01	6.6E+00
3	5.4E+02	9.0E+02	3.1E+01	3.7E+01
4	2.9E+02	1.5E+03	1.9E+01	7.5E+01
5	1.8E+02	2.2E+03	1.4E+01	1.3E+02
6	9.5E+01	3.0E+03	7.6E+00	1.9E+02
7	4.9E+01	3.8E+03	4.9E+00	2.7E+02
8	2.7E+01	4.6E+03		

TANKUDVASKNINGSFORSØG MED STABILISEREDE RØGGASRENSNINGSPRODUKTER FRA AFFALDSFORBRÆNDINGSANLÆG

STØBNING NR.: 44
STØBEDATO: 04.10.90

SEMITØRT RESTPRODUKT FRA I/S KARA, ROSKILDE (KARA)
MATERIALE UDTAGET AF UDVASNINGSKOLONNE EFTER FORSØG

BLANDEMETODE:
STØBEMETODE: HELDT I FORM, LØST STAMPET
LAGRING: 20 GRADER C, 100 % RH

DIAMETER AF PRØVEHNER (CYLINDRE): 50 mm
OVERFLADEAREAL AF PRØVEHNER: 0.01178 m²

SAMMENSETNING AF BLANDING: (60/40/60)		
KARA	g	60 % (w/w)
CEMENT	g	40 % (w/w)
VAND	g	60 % (w/w)
VAND/CEMENT: 1.50		

EMNE NR	HØJDE (mm)	VOLUMEN (cm ³)	VÆGT (g)	TØRDEN- SITET (g/cm ³)	ANVENDELSE
7	50	98.2	162.0	1.03	U-4
8	50	98.2	163.6	1.04	
9	50	98.2	164.5	1.05	
10	50	98.2	163.2	1.04	

LAGRINGSPERIODE FØR UDFØRELSE AF TANKUDVASKNINGSFORSØG: 28 DAGE (FORSØG TYPE U-4)
TANKUDVASKNINGSFORSØG MED DEMINERALISERET VAND INDSTILLET TIL pH = 4 MED HNO₃. SAMMENSETNING AF UDSKIFTET VAND:

FRAK- TION	DATO	KLOKKE- SLET	TID (døgn)	AKK. TID (døgn)	VOLUMEN (ml)	pH	LEDN.EVNE (mS/m)	KLORID (mg/l)	Pb (mg/l)	Cd (mg/l)	Cu (mg/l)
START	01.11.90	08:30		0.00							
1	01.11.90	09:00	0.02	0.02	750	>11,3	19	1.7	0.002		
2	01.11.90	14:05	0.21	0.23	750	>11,9	87	2.5	0.025		
3	02.11.90	14:00	1.00	1.23	750	>12,1	210	4.1	0.20		
4	04.11.90	14:00	2.00	3.23	750	>12,2	250	4.6	0.25		
5	08.11.90	14:00	4.00	7.23	750	>12,3	290	5.4	0.45		
6	16.11.90	14:00	8.00	15.23	750	>12,3	340	6.3	0.50		
7	03.12.90	13:50	16.99	32.22	750	>12,3	350	7.3	0.50		
8	03.01.91	13:20	30.98	63.20	750	>12,2	230	5.7			

BEREGNING AF STOFFLUX OG AKKUMULEREDE UDVASKEDE STOFMENGDER:

FRAK- TION	KLORID FLUX mg/m ² /d	KLORID AKK.UDV. mg/m ²	Pb FLUX mg/m ² /d	Pb AKK.UDV. mg/m ²
1	5.2E+03	1.1E+02	6.1E+00	1.3E-01
2	7.5E+02	2.7E+02	7.5E+00	1.7E+00
3	2.6E+02	5.3E+02	1.3E+01	1.4E+01
4	1.5E+02	8.2E+02	8.0E+00	3.0E+01
5	8.6E+01	1.2E+03	7.2E+00	5.9E+01
6	5.0E+01	1.6E+03	4.0E+00	9.1E+01
7	2.7E+01	2.0E+03	1.9E+00	1.2E+02
8	1.2E+01	2.4E+03		

TANKUDVASKNINGSFORSØG MED STABILISEREDE RØGGASRENSNINGSPRODUKTER FRA AFFALDSFORBRÆNDINGSANLÆG

STØBNING NR: 46
STØBEDATO: 10.10.90

SEMITØRT RESTPRODUKT FRA AMAGERFORBRÆNDING (AF)
TILSAT SEMITØRT RØGGASRENSNINGSPRODUKT FRA STUDSTRUPVÆRKET. (TASP)

BLANDEMETODE: LILLE BLANDEMASKINE, CA. 1 MINUT
STØBEMETODE: HELDT I FORM, LØST STAMPET
LAGRING: 20 GRADER C; 100 % RH

DIAMETER AF PRØVEEMNER (CYLINDRE): 50 mm
OVERFLADEAREAL AF PRØVEEMNER: 0.01178 m²

SAMMENSETNING AF BLANDING: (40+40/20/55)		
AF	645 g	40 % (w/w)
CEMENT	322 g	20 % (w/w)
VAND	887 g	55 % (w/w)
TASP	645 g	40 % (w/w)
VAND/CEMENT: 2.75		

EMNE NR	HØJDE (mm)	VOLUMEN (cm ³)	VEGT (g)	TØRDENSITET (g/cm ³)	ANVENDELSE
1	50	98.2	161.0	1.06	U-4
2	50	98.2	162.5	1.07	
3	50	98.2	161.2	1.06	
4	50	98.2	172.8	1.14	
5	50	98.2	160.4	1.05	

LAGRINGSPERIODE FØR UDFØRELSE AF TANKUDVASKNINGSFORSØG: 28 DAGE (FORSØG TYPE U-4)
TANKUDVASKNINGSFORSØG MED DEMINERALISERET VAND INDSTILLET TIL pH = 4 MED HNO₃. SAMMENSETNING AF UDSKIFTET VAND:

FRAKTION	DATO	KLOKKE-SLET	TID (døgn)	AKK. TID (døgn)	VOLUMEN (ml)	pH	LEDN.EVNE (mS/m)	KLORID (mg/l)	Pb (mg/l)	Cd (mg/l)	Cu (mg/l)
START	07.11.90	08:40		0.00							
1	07.11.90	09:10	0.02	0.02	750	>11,6	280	750	0.043		
2	07.11.90	14:10	0.21	0.23	750	>11,9	610	1600	0.16		
3	08.11.90	14:10	1.00	1.23	750	>12,1	910	2500	0.30		
4	10.11.90	14:10	2.00	3.23	750	>12,2	730	1200	0.25		
5	14.11.90	14:10	4.00	7.23	750	>12,3	590	1800	0.20		
6	22.11.90	14:10	8.00	15.23	750	>12,3	450	580	0.25		
7	10.12.90	14:10	18.00	33.23	750	>12,4	420	226	0.26		
8	22.01.91	14:30	43.01	76.24	750	>12,3	280	110	0.10		

BEREGNING AF STOFFLUX OG AKKUMULEREDE UDVASKEDE STOFMÆNGDER:

FRAKTION	KLORID FLUX mg/m ² /d	KLORID AKK.UDV. mg/m ²	Pb FLUX mg/m ² /d	Pb AKK.UDV. mg/m ²
1	2.3E+06	4.8E+04	1.3E+02	2.7E+00
2	4.9E+05	1.5E+05	4.9E+01	1.3E+01
3	1.6E+05	3.1E+05	1.9E+01	3.2E+01
4	3.8E+04	3.9E+05	8.0E+00	4.8E+01
5	2.9E+04	5.0E+05	3.2E+00	6.1E+01
6	4.6E+03	5.4E+05	2.0E+00	7.7E+01
7	8.0E+02	5.5E+05	9.2E-01	9.3E+01
8	1.6E+02	5.6E+05	1.5E-01	1.0E+02

TANKUDVASKNINGSFORSØG MED STABILISEREDE RØGGASRENSNINGSPRODUKTER FRA AFFALDSFORBRÆNDINGSANLÆG

STØBNING NR: 47
STØBEDATO: 15.10.90

TØRT RESTPRODUKT FRA NORDFORBRÆNDING (NORD)
TILSAT NATRIUMMETASILIKAT ("VANDGLAS", 30 % OPLØSNING)

BLANDEMETODE: LILLE BLANDEMASKINE, CA. 1 MINUT
STØBEMETODE: HELDT I FORM, LØST STAMPET
LAGRING: 20 GRADER C, 100 % RH

DIAMETER AF PRØVEEMNER (CYLINDRE): 50 mm
OVERFLADEAREAL AF PRØVEEMNER: 0.01178 m²

SAMMENSETNING AF BLANDING: (80/20/65)		
NORD	1164 g	80 % (w/w)
CEMENT	291 g	20 % (w/w)
VAND	945 g	65 % (w/w)
VANDGLAS	73 g	5 % (w/w)
VAND/CEMENT: 3.25		

EMNE NR	HØJDE (mm)	VOLUMEN (cm ³)	VEGT (g)	TØRDENSITET (g/cm ³)	ANVENDELSE
1	50	98.2	159.3	0.98	U-4
2	50	98.2	153.8	0.95	
3	50	98.2	153.6	0.95	
4	50	98.2	153.3	0.95	
5	50	98.2	153.3	0.95	

LAGRINGSPERIODE FØR UDFØRELSE AF TANKUDVASKNINGSFORSØG: 28 DAGE (FORSØG TYPE U-4)
TANKUDVASKNINGSFORSØG MED DEMINERALISERET VAND INDSTILLET TIL pH = 4 MED HNO₃. SAMMENSETNING AF UDSKIFTET VAND:

FRAKTION	DATO	KLORKE-SLET	TID (døgn)	AKK. TID (døgn)	VOLUMEN (ml)	pH	LEDN. EVNE (mS/m)	KLORID (mg/l)	Pb (mg/l)	Cd (mg/l)	Cu (mg/l)
START	12.11.90	08:40		0.00							
1	12.11.90	09:10	0.02	0.02	750	>11,3	540	1700	0.021		
2	12.11.90	14:10	0.21	0.23	750	>11,8	1200	3900	0.057		
3	13.11.90	14:30	1.01	1.24	750	>12,0	1700	6000	0.064		
4	15.11.90	14:30	2.00	3.24	750	>12,0	1200	4000	0.055		
5	19.11.90	14:10	3.99	7.23	750	>12,2	870	2600	0.055		
6	27.11.90	14:10	8.00	15.23	750	>12,2	560	1300	0.057		
7	13.12.90	14:10	16.00	31.23	750	>12,3	400	3100	0.058		
8	22.01.91	14:30	40.01	71.24	750	>12,3	310	230	0.046		

BEREGNING AF STOFFLUX OG AKKUMULEREDE UDVASKEDE STOFMÆNGDER:

FRAKTION	KLORID FLUX mg/m ² /d	KLORID AKK.UDV. mg/m ²	Pb FLUX mg/m ² /d	Pb AKK.UDV. mg/m ²
1	5.2E+06	1.1E+05	6.4E+01	1.3E+00
2	1.2E+06	3.6E+05	1.7E+01	5.0E+00
3	3.8E+05	7.4E+05	4.0E+00	9.0E+00
4	1.3E+05	9.9E+05	1.8E+00	1.3E+01
5	4.2E+04	1.2E+06	8.8E-01	1.6E+01
6	1.0E+04	1.2E+06	4.5E-01	2.0E+01
7	1.2E+04	1.4E+06	2.3E-01	2.3E+01
8	3.7E+02	1.5E+06	7.3E-02	2.6E+01

TANKUDVASKNINGSFORSØG MED STABILISEREDE RØGGASRENSNINGSPRODUKTER FRA AFFALDSFORBRÆNDINGSANLÆG

STØBNING NR: 48
STØBEDATO: 15.10.90

SEMITØRT RESTPRODUKT FRA AMAGERFORBRÆNDING (AF)
TILSAT NATRIUMMETASILIKAT ('VANDGLAS', 30 % OPLØSNING)

BLANDEMETODE: LILLE BLANDEMASKINE, CA. 1 MINUT
STØBEMETODE: HELDT I FORM, LØST STAMPET
LAGRING: 20 GRADER C, 100 % RH

DIAMETER AF PRØVEEMNER (CYLINDRE): 50 mm
OVERFLADEAREAL AF PRØVEEMNER: 0.01178 m²

SAMMENSETNING AF BLANDING: (80/20/60)			EMNE NR	HØJDE (mm)	VOLUMEN (cm ³)	VÆGT (g)	TØRDEN-SITET (g/cm ³)	ANVENDELSE
AF	1164 g	80 % (w/w)	1	50	98.2	157.8	1.00	U-4
CEMENT	291 g	20 % (w/w)	2	50	98.2	155.2	0.99	
VAND	872 g	60 % (w/w)	3	50	98.2	161.1	1.03	
VANDGLAS	73 g	5 % (w/w)	4	50	98.2	171.1	1.09	
			5	50	98.2	156.4	1.00	
VAND/CEMENT:	3.00							

LAGRINGSPERIODE FØR UDFØRELSE AF TANKUDVASKNINGSFORSØG: 28 DAGE (FORSØG TYPE U-4)
TANKUDVASKNINGSFORSØG MED DEMINERALISERET VAND INDSTILLET TIL pH = 4 MED HNO₃. SAMMENSETNING AF UDSKIFTET VAND:

FRAKTION	DATO	KLOKKE-SLET	TID (døgn)	AKK. TID (døgn)	VOLUMEN (ml)	pH	LEDN.EVNE (mS/m)	KLORID (mg/l)	Pb (mg/l)	Cd (mg/l)	Cu (mg/l)	Zn (mg/l)
START	12.11.90	08:40		0.00								
1	12.11.90	09:10	0.02	0.02	750	>10.8	360	1100	0.014	<0.00005	<0.0005	<0.01
2	12.11.90	14:10	0.21	0.23	750	>11.4	830	2800	0.056	<0.00005	<0.0005	<0.01
3	13.11.90	14:30	1.01	1.24	750	>11.6	1200	4100	0.082	<0.00005	<0.0005	0.01
4	15.11.90	14:30	2.00	3.24	750	>11.6	870	3000	0.067	<0.00005	<0.0005	0.01
5	19.11.90	14:10	3.99	7.23	750	>11.6	670	2100	0.056	<0.00005	<0.0005	0.01
6	27.11.90	14:10	8.00	15.23	750	>11.7	450	1300	0.052	<0.00005	<0.0005	0.01
7	13.12.90	14:10	16.00	31.23	750	>11.7	280	640	0.035	<0.00005	0.0006	0.01
8	22.01.91	14:30	40.01	71.24	750	>11.7	180	310	0.023	<0.00005	0.0006	0.01

BEREGNING AF STOFFLUX OG AKKUMULEREDE UDVASKEDE STOFMÆNGDER:

FRAKTION	KLORID FLUX mg/m ² /d	KLORID AKK.UDV. mg/m ²	Pb FLUX mg/m ² /d	Pb AKK.UDV. mg/m ²
1	3.4E+06	7.0E+04	4.3E+01	8.9E-01
2	8.6E+05	2.5E+05	1.7E+01	4.5E+00
3	2.6E+05	5.1E+05	5.1E+00	9.7E+00
4	9.5E+04	7.0E+05	2.1E+00	1.4E+01
5	3.4E+04	8.3E+05	8.9E-01	1.8E+01
6	1.0E+04	9.2E+05	4.1E-01	2.1E+01
7	2.5E+03	9.6E+05	1.4E-01	2.3E+01
8	4.9E+02	9.8E+05	3.7E-02	2.5E+01

TANKUDVASKNINGSFORSØG MED STABILISEREDE RØGGASRENSNINGSPRODUKTER FRA AFFALDSFORBRÆNDINGSANLÆG

STØBNING NR: 49
STØBEDATO: 16.10.90

SEMITØRT RESTPRODUKT FRA AMAGERFORBRÆNDING (AF)
MAT. FRA KOL.FORSØG TILSAT NATIUMMETASILIKAT ("VANDGLAS", 30 % OPL.)

BLANDEMETODE: LILLE BLANDEMASKINE, CA. 1 MINUT
STØBEMETODE: HELDT I FORM, LØST STAMPET
LAGRING: 20 GRADER C, 100 % RH

DIAMETER AF PRØVEEMNER (CYLINDRE): 50 mm
OVERFLADEAREAL AF PRØVEEMNER: 0.01178 m²

SAMMENSETNING AF BLANDING: (80/20/99)		
AF	1027 g	80 % (w/w)
CEMENT	257 g	20 % (w/w)
VAND	1271 g	99 % (w/w)
VANDGLAS	64 g	5 % (w/w)
VAND/CEMENT: 4.95		

EMNE NR	HØJDE (mm)	VOLUMEN (cm ³)	VEGT (g)	TØRDEN-SITET (g/cm ³)	ANVENDELSE
1	50	98.2	147.5	0.75	U-4
2	50	98.2	148.5	0.76	
3	50	98.2	145.3	0.74	
4	50	98.2	146.0	0.75	
5	50	98.2	148.4	0.76	

LAGRINGSPERIODE FØR UDFØRELSE AF TANKUDVASKNINGSFORSØG: 28 DAGE (FORSØG TYPE U-4)
TANKUDVASKNINGSFORSØG MED DEMINERALISERET VAND INDSTILLET TIL pH = 4 MED HNO₃. SAMMENSETNING AF UDSKIFTET VAND:

FRAKTION	DATO	KLOKKE-SLET	TID (døgn)	AKK. TID (døgn)	VOLUMEN (ml)	pH	LEDN.EVNE (mS/m)	KLORID (mg/l)	Pb (mg/l)	Cd (mg/l)	Cu (mg/l)
START	13.11.90	08:50		0.00							
1	13.11.90	09:20	0.02	0.02	750	>10,6	26	2.4	0.013		
2	13.11.90	14:10	0.20	0.22	750	>11,1	69	2.8	0.031		
3	14.11.90	14:10	1.00	1.22	750	>11,7	140	4.7	0.098		
4	16.11.90	14:30	2.01	3.24	750	>11,7	140	5.3	0.077		
5	20.11.90	14:30	4.00	7.24	750	>11,8	150	6.1	0.10		
6	28.11.90	14:10	7.99	15.22	750	>11,7	160	7.3	0.097		
7	15.12.90	12:45	16.94	32.16	750	>11,8	170	8.5	0.099		
8	22.01.91	14:30	38.07	70.24	750	>11,2	98	11	0.0009		

BEREGNING AF STOFFLUX OG AKKUMULEREDE UDVASKEDE STOPMÆNGDER:

FRAKTION	KLORID FLUX (mg/m ² /d)	KLORID AKK.UDV. (mg/m ²)	Pb FLUX (mg/m ² /d)	Pb AKK.UDV. (mg/m ²)
1	7.3E+03	1.5E+02	4.0E+01	8.3E-01
2	8.9E+02	3.3E+02	9.8E+00	2.8E+00
3	3.0E+02	6.3E+02	6.2E+00	9.0E+00
4	1.7E+02	9.7E+02	2.4E+00	1.4E+01
5	9.7E+01	1.4E+03	1.6E+00	2.0E+01
6	5.8E+01	1.8E+03	7.7E-01	2.6E+01
7	3.2E+01	2.4E+03	3.7E-01	3.3E+01
8	1.8E+01	3.1E+03	1.5E-03	3.3E+01

TANKUDVASKNINGSFORSØG MED STABILISEREDE RØGGASRENSNINGSPRODUKTER FRA AFFALDSFORBRÆNDINGSANLÆG

STØBNING NR: 50
STØBEDATO: 17.10.90

SEMITØRT RESTPRODUKT FRA AMAGERFORBRÆNDING (AF)
TILSAT KULFLYVEASKE FRA STUSTRUPVÆRKET

BLANDEMETODE: LILLE BLANDEMASKINE, CA. 1 MINUT
STØBEMETODE: HELDT I FORM, LØST STAMPET
LAGRING: 20 GRADER C, 100 % RH

DIAMETER AF PRØVEEMNER (CYLINDRE): 50 mm
OVERFLADEAREAL AF PRØVEEMNER: 0.01178 m²

SAMMENSETNING AF BLANDING: (60+40/0/50)		
AF	900 g	60 % (w/w)
CEMENT	0 g	0 % (w/w)
VAND	750 g	50 % (w/w)
KULFLYVEASKE	600 g	40 % (w/w)
VAND/CEMENT:		

EMNE NR	HØJDE (mm)	VOLUMEN (cm ³)	VÆGT (g)	TØRDENSITET (g/cm ³)	ANVENDELSE
1	50	98.2	150.9	1.02	U-4
2	50	98.2	150.4	1.02	
3	50	98.2	149.8	1.02	
4	50	98.2	148.6	1.01	
5	50	98.2	161.9	1.10	

LAGRINGSPERIODE FØR UDFØRELSE AF TANKUDVASKNINGSFORSØG: 28 DAGE (FORSØG TYPE U-4)
TANKUDVASKNINGSFORSØG MED DEMINERALISERET VAND INDSTILLET TIL pH = 4 MED HNO₃. SAMMENSETNING AF UDSKIFTET VAND:

FRAKTION	DATO	KLOKKE-SLET	TID (døgn)	AKK. TID (døgn)	VOLUMEN (ml)	pH	LEDN.EVNE (mS/m)	KLORID (mg/l)	Pb (mg/l)	Cd (mg/l)	Cu (mg/l)
START	14.11.90	08:50		0.00							
1	14.11.90	09:20	0.02	0.02	750			6.7			
2	14.11.90	14:20	0.21	0.23	750			20			
3	15.11.90	14:20	1.00	1.23	750			20			
4	17.11.90	14:25	2.00	3.23	750			13			
5	21.11.90	12:45	3.93	7.16	750						
6	29.11.90	14:20	8.07	15.23	750						
7	SLUT										
8											

BEREGNING AF STOFFLUX OG AKKUMULEREDE UDVASKEDE STOFMÆNGDER:

FRAKTION	KLORID FLUX mg/m ² /d	KLORID AKK.UDV. mg/m ²	Pb FLUX mg/m ² /d	Pb AKK.UDV. mg/m ²
1			2.0E+04	4.3E+02
2			6.1E+03	1.7E+03
3			1.3E+03	3.0E+03
4			4.1E+02	3.8E+03
5				
6				
7				
8				

TANKUDVASKNINGSFORSØG MED STABILISEREDE RØGGASRENSNINGSPRODUKTER FRA AFFALDSFORBRÆNDINGSANLÆG

STØBNING NR: 51
STØBEDATO: 17.10.90

SEMITØRT RESTPRODUKT FRA AMAGERFORBRÆNDING (AF)
TILSAT KULFLYVEASKE FRA STUDSTRUPVERKET

BLANDEMETODE: LILLE BLANDEMASKINE, CA. 1 MINUT
STØBEMETODE: HELDT I FORM, LØST STAMPET
LAGRING: 20 GRADER C, 100 % RH

DIAMETER AF PRØVEEMNER (CYLINDRE): 50 mm
OVERFLADEAREAL AF PRØVEEMNER: 0.01178 m²

SAMMENSETNING AF BLANDING: (60+30/10/50)		
AF	900 g	60 % (w/w)
CEMENT	150 g	10 % (w/w)
VAND	750 g	50 % (w/w)
KULFLYVEASKE	450 g	30 % (w/w)
VAND/CEMENT: 5.00		

EMNE NR	HØJDE (mm)	VOLUMEN (cm ³)	VEGT (g)	TØRDE- SITET (g/cm ³)	ANVENDELSE
1	50	98.2	155.4	1.06	U-4
2	50	98.2	158.6	1.08	
3	50	98.2	156.3	1.06	
4	50	98.2	156.7	1.06	
5	50	98.2	155.8	1.06	

LAGRINGSPERIODE FØR UDFØRELSE AF TANKUDVASKNINGSFORSØG: 28 DAGE (FORSØG TYPE U-4)
TANKUDVASKNINGSFORSØG MED DEMINERALISERET VAND INDSTILLET TIL pH = 4 MED HNO₃. SAMMENSETNING AF UDSKIFTET VAND:

FRAKTION	DATO	KLOKKE-SLET	TID (døgn)	AKK. TID (døgn)	VOLUMEN (ml)	pH	LEDN.EVNE (mS/m)	KLORID (mg/l)	Pb (mg/l)	Cd (mg/l)	Cu (mg/l)
START	14.11.90	08:50		0.00							
1	14.11.90	09:20	0.02	0.02	750	>11.4	320	980	0.1		
2	14.11.90	14:20	0.21	0.23	750	>11.8	800	2600	0.40		
3	15.11.90	14:20	1.00	1.23	750	>11.9	1100	3600	0.60		
4	17.11.90	14:25	2.00	3.23	750	>12.0	880	2800	0.46		
5	21.11.90	12:45	3.93	7.16	750	>11.9	650	1900	0.30		
6	29.11.90	14:20	8.07	15.23	750	>12.0	410	870	0.30		
7	15.12.90	12:45	15.93	31.16	750	>11.9	270	430	0.14		
8	22.01.91	14:30	38.07	69.24	750	>11.7	140	17	0.014		

BEREGNING AF STOFFLUX OG AKKUMULEREDE UDVASKEDE STOFMÆNGDER:

FRAKTION	KLORID FLUX (mg/m ² /d)	KLORID AKK.UDV. (mg/m ²)	Pb FLUX (mg/m ² /d)	Pb AKK.UDV. (mg/m ²)
1	3.0E+06	6.2E+04	3.1E+02	6.4E+00
2	7.9E+05	2.3E+05	1.2E+02	3.2E+01
3	2.3E+05	4.6E+05	3.8E+01	7.0E+01
4	8.9E+04	6.4E+05	1.5E+01	9.9E+01
5	3.1E+04	7.6E+05	4.9E+00	1.2E+02
6	6.9E+03	8.1E+05	2.4E+00	1.4E+02
7	1.7E+03	8.4E+05	5.6E-01	1.5E+02
8	2.8E+01	8.4E+05	2.3E-02	1.5E+02

TANKUDVASKNINGSFORSØG MED STABILISEREDE RØGGASRENSNINGSPRODUKTER FRA AFFALDSFORBRÆNDINGSANLÆG

STØBNING NR: 52
STØBEDATO: 18.10.90

SEMITØRT RESTPRODUKT FRA AMAGERFORBRÆNDING (AF)
TILSAT 5 % FOSFORSYRE

BLANDEMETODE: LILLE BLANDEMASKINE, CA. 1 MINUT
STØBEMETODE: HELDT I FORM, LØST STAMPET
LAGRING: 20 GRADER °C, 100 % RH

DIAMETER AF PRØVEEMNER (CYLINDRE): 50 mm
OVERFLADEAREAL AF PRØVEEMNER: 0.01178 m²

SAMMENSETNING AF BLANDING: (80/20/55)		
AF	1280 g	80 % (w/w)
CEMENT	320 g	20 % (w/w)
VAND	880 g	55 % (w/w)
FOSFORSYRE	80 g	5 % (w/w)
VAND/CEMENT: 2.75		

EMNE NR	HØJDE (mm)	VOLUMEN (cm ³)	VÆGT (g)	TØRDEN- SITTET (g/cm ³)	ANVENDELSE
1	50	98.2	162.1	1.07	U-4
2	50	98.2	162.3	1.07	
3	50	98.2	167.5	1.10	
4	50	98.2	161.4	1.06	
5	50	98.2	160.6	1.06	

LAGRINGSPERIODE FOR UDFØRELSE AF TANKUDVASKNINGSFORSØG: 28 DAGE (FORSØG TYPE U-4)
TANKUDVASKNINGSFORSØG MED DEMINERALISERET VAND INDSTILLET TIL pH = 4 MED HNO₃. SAMMENSETNING AF UDSKIFTET VAND:

FRAKTION	DATO	KLOKKE- SLET	TID (døgn)	AKK. TID (døgn)	VOLUMEN (ml)	pH	LEDN. EVNE (mS/m)	KLORID (mg/l)	Pb (mg/l)	Cd (mg/l)	Cu (mg/l)	Zn (mg/l)
START	15.11.90	08:50		0.00								
1	15.11.90	09:20	0.02	0.02	750	>11.1	420		0.009	0.00005	<0.0005	<0.01
2	15.11.90	14:20	0.21	0.23	750	>11.6	980	3400	0.035	0.00005	<0.0005	0.02
3	16.11.90	14:20	1.00	1.23	750	>11.8	1300	4800	0.020	<0.00005	<0.0005	0.04
4	18.11.90	14:25	2.00	3.23	750	>11.8	1000	3500	0.035	<0.00005	<0.0005	0.04
5	22.11.90	12:45	3.93	7.16	750	>11.9	780	2400	0.029	<0.00005	<0.0005	0.04
6	30.11.90	14:20	8.07	15.23	750	>11.9	490	1200	0.036	<0.00005	<0.0005	0.03
7	SLUT											
8												

BEREGNING AF STOFFLUX OG AKKUMULEREDE UDVASKEDE STOFMÆNGDER:

FRAKTION	KLORID FLUX (mg/m ² /d)	KLORID AKK.UDV. (mg/m ²)	Pb FLUX (mg/m ² /d)	Pb AKK.UDV. (mg/m ²)
1		0.0E+00	2.8E+01	5.7E-01
2	1.0E+06	2.2E+05	1.1E+01	2.8E+00
3	3.1E+05	5.2E+05	1.3E+00	4.1E+00
4	1.1E+05	7.4E+05	1.1E+00	6.3E+00
5	3.9E+04	9.0E+05	4.7E-01	8.1E+00
6	9.5E+03	9.7E+05	2.8E-01	1.0E+01
7				
8				

TANKUDVASKNINGSFORSØG MED STABILISEREDE RØGGASRENSNINGSPRODUKTER FRA AFFALDSFORBRÆNDINGSANLÆG

STØBNING NR: 55
STØBEDATO: 14.11.90

SEMITØRT RESTPRODUKT FRA AMAGERFORBRÆNDING (AF)
TILSAT FORBRÆNDINGSSLAGGE

BLANDEMETODE: STOR BLANDMASKINE, 5 MINUTTER
STØBEMETODE: HELDT I FORM, LØST STAMPET
LAGRING: 20 GRADER C, 100 % RH

DIAMETER AF PRØVEEMNER (CYLINDRE): 50 mm
OVERFLADEAREAL AF PRØVEEMNER: 0.01178 m²

SAMMENSETNING AF BLANDING: (45+40/15/30)		
AF	1125 g	45 % (w/w)
CEMENT	375 g	15 % (w/w)
VAND	750 g	30 % (w/w)
FORBR.SLAGGE	1000 g	40 % (w/w)
VAND/CEMENT: 2.00		

EMNE NR	HØJDE (mm)	VOLUMEN (cm ³)	VEGT (g)	TØRDEN-SITET (g/cm ³)	ANVENDELSE
5	50	98.2	185.2	1.45	
6	50	98.2	190.5	1.49	
7	50	98.2	186.9	1.46	
8	50	98.2	189.6	1.49	U-4

LAGRINGSPERIODE FØR UDFØRELSE AF TANKUDVASKNINGSFORSØG: 28 DAGE (FORSØG TYPE U-4)
TANKUDVASKNINGSFORSØG MED DEMINERALISERET VAND INDSTILLET TIL pH = 4 MED HNO₃. SAMMENSETNING AF UDSKIFTET VAND:

FRAKTION	DATO	KLOKKE-SLET	TID (døgn)	AKK. TID (døgn)	VOLUMEN (ml)	pH	LEDN.EVNE (mS/m)	KLORID (mg/l)	Pb (mg/l)	Cd (mg/l)	Cu (mg/l)
START	12.12.90	08:50		0.00							
1	12.12.90	09:20	0.02	0.02	750			900	0.14		
2	12.12.90	14:20	0.21	0.23	750			1900	0.37		
3	13.12.90	14:20	1.00	1.23	750			3100	0.46		
4	15.12.90	12:45	1.93	3.16	750			2500	0.22		
5	19.12.90	13:45	4.04	7.20	750			2100	0.34		
6	27.12.90	13:45	8.00	15.20	750			1300	0.21		
7	11.01.91	11:15	14.90	30.10	750			590	0.18		
8	22.02.91	13:10	42.08	72.18	750						

BEREGNING AF STOFFLUX OG AKKUMULEREDE UDVASKEDE STOFMÆNGDER:

FRAKTION	KLORID FLUX mg/m ² /d	KLORID AKK.UDV. mg/m ²	Pb FLUX mg/m ² /d	Pb AKK.UDV. mg/m ²
1	2.8E+06	5.7E+04	4.3E+02	8.9E+00
2	5.8E+05	1.8E+05	1.1E+02	3.2E+01
3	2.0E+05	3.8E+05	2.9E+01	6.2E+01
4	8.2E+04	5.3E+05	7.2E+00	7.6E+01
5	3.3E+04	6.7E+05	5.4E+00	9.7E+01
6	1.0E+04	7.5E+05	1.7E+00	1.1E+02
7	2.5E+03	7.9E+05	7.7E-01	1.2E+02
8				

TANKUDVASKNINGSFORSØG MED STABILISEREDE RØGGASRENSNINGSPRODUKTER FRA AFFALDSFORBRENDINGSANLÆG

STØBNING NR: 56
STØBEDATO: 14.11.90

SEMITØRT RESTPRODUKT FRA AMAGERFORBRENDING (AF)
TILSAT FORBRENDINGSSLAGGE

BLANDEMETODE: STOR BLANDMASKINE, 5 MINUTTER
STØBEMETODE: HELDT I FORM, LØST STAMPET
LAGRING: 20 GRADER C, 100 % RH

DIAMETER AF PRØVEEMNER (CYLINDRE): 50 mm
OVERFLADEAREAL AF PRØVEEMNER: 0.01178 m²

SAMMENSETNING AF BLANDING: (45+40/15/30)		
AF	1125 g	45 % (w/w)
CEMENT	375 g	15 % (w/w)
VAND	750 g	30 % (w/w)
FORBR.SLAGGE	1000 g	40 % (w/w)
GRÖDUR		0.02 % (w/w)
VAND/CEMENT: 2.00		

EMNE NR	HØJDE (mm)	VOLUMEN (cm ³)	VÆGT (g)	TØRDEN- SITET (g/cm ³)	ANVENDELSE
5	50	98.2	188.7	1.48	U-4
6	50	98.2	204.7	1.60	
7	50	98.2	190.6	1.49	

LAGRINGSPERIODE FØR UDFØRELSE AF TANKUDVASKNINGSFORSØG: 28 DAGE (FORSØG TYPE U-4)
TANKUDVASKNINGSFORSØG MED DEMINERALISERET VAND INDSTILLET TIL pH = 4 MED HNO₃. SAMMENSETNING AF UDSKIFTET VAND:

FRAKTION	DATE	KLØKKE-SLET	TID (døgn)	AKK. TID (døgn)	VOLUMEN (ml)	pH	LEDN.EVNE (mS/m)	KLORID (mg/l)	Pb (mg/l)	Cd (mg/l)	Cu (mg/l)
START	12.12.90	08:50		0.00							
1	12.12.90	09:20	0.02	0.02	750			890	0.13		
2	12.12.90	14:20	0.21	0.23	750			2000	0.42		
3	13.12.90	14:20	1.00	1.23	750			3100	0.52		
4	15.12.90	12:45	1.93	3.16	750			2500	0.35		
5	19.12.90	13:45	4.04	7.20	750			2100	0.26		
6	27.12.90	13:45	8.00	15.20	750			1300	0.24		
7	11.01.91	11:15	14.90	30.10	750			580	0.18		
8	22.02.91	13:10	42.08	72.18	750						

BEREGNING AF STOFFLUX OG AKKUMULEREDE UDVASKEDE STOFMÆNGDER:

FRAKTION	KLORID FLUX mg/m ² /d	KLORID AKK.UOV. mg/m ²	Pb FLUX mg/m ² /d	Pb AKK.UOV. mg/m ²
1	2.7E+06	5.7E+04	4.0E+02	8.3E+00
2	6.1E+05	1.8E+05	1.3E+02	3.5E+01
3	2.0E+05	3.8E+05	3.3E+01	6.8E+01
4	8.2E+04	5.4E+05	1.2E+01	9.0E+01
5	3.3E+04	6.7E+05	4.1E+00	1.1E+02
6	1.0E+04	7.6E+05	1.9E+00	1.2E+02
7	2.5E+03	7.9E+05	7.7E-01	1.3E+02
8				

**Supplerende stabiliseringsforsøg
med kulflyveaske**

NOTAT

R&D-EJ/DN 1991.02.11

Miljøstyrelsens restproduktprojekt Reaktion efter møde nr. 7 (7/2-91)

Stabilisering af røgrensningsprodukterne fra AF, KARA, NORD og REFA

Dette forslag til stabilisering med "kulflyveaske" følger kemiske principper, som tilstræber at justere restproduktets pH-værdi til 9,5-10,5 og sænke klorid-koncentrationen i porevæsken mest muligt. Det anbefales at bruge en flyveaske, som opfylder cementindustriens krav.

- Restproduktets direkte og hurtigt titrerbare alkalinitet til pH = 8,3 måles.
- Resultatet omregnes til % Ca(OH)_2 og der tilsættes 5% flyveaske for hver % Ca(OH)_2 .

	AF	KARA	NORD	REFA
Alkalinitet, meq.	3.1	4.5	6.6	11.8
% Ca(OH)_2 , % w	12	17	24	44
FA tilsætning, g/g RP	60	85	120	220

Afledt blandingsforhold:

RP ≈	60	55	45	30
FA ≈	40	45	55	70

- Ud fra de beregnede RP-FA tilsætninger beregnes kloridkoncentrationen i porevæsken efter en vandtilsætning på 40%.

	AF	KARA	NORD	REFA
Vandtilsætning, g/g RP	0.67	0.73	0.89	1.33
Klorid, g/g RP	0.143	0.130	0.190	0.117
Kloridkoncentration, mg/g vand	213	178	213	88

- Kloridkoncentrationerne skal være klart under 200 mg/g vand. Blandingsforholdene justeres derfor for AF og NORD:

Recepter:	AF	KARA	NORD	REFA
RP	50	50	40	30
FA	50	50	60	70
Vand	40	40	40	40
FA/Ca(OH) ₂ (>5)	8.3	5.9	6.3	5.3
Cl mg/g varfd (<200)	180	165	190	90

- Når resultaterne af stabiliseringsforsøgene skal registreres, skal det først kontrolleres, at den kemiske stabilisering er indtruffet. Dvs.: tankforsøg må ikke påbegyndes, før pH-værdien i porevæsken er faldet. Hvis den ikke falder til under 10,5, som forventet, er stabiliseringen ikke lykkedes. Tankforsøget skal naturligvis først iværksættes, når pH-faldet er indtruffet. Dette kan fremskyndes ved lagring ved forhøjet temperatur, dog ikke højere end 40°C, idet strukturdannelsen så kan afvige fra, hvad der opnås ved lavere temperaturer.

Des lavere FA/Ca(OH)₂ og des lavere Cl-koncentration, des længere lagringstid må forventes.

- Den praktiske gennemførelse af forsøgene kan være således:
 - Prøvelegemerne udstøbes, så der er nogle at tage af til porevæskekontrol.
 - Prøvelegemerne lagres i plastikposer for at undgå udtørring og karbonatisering.
 - Lagringstemperatur 40°C. Forbered 6 prøver til porevæskekontrol.
 - To gange om ugen udtages en prøve til pH-måling.
 - Når to på hinanden følgende prøver viser pH < 10,5, iværksættes tankforsøgene.
 - Hvis pH-sænkningen ikke er indtruffet efter 3 ugers lagring ved 40°C, erklæres stabiliseringen for mislykket.

Ebbe Jøns
Ebbe Jøns

UNDERSØGELSE AF UDVIKLINGEN I pH PÅ UDVALGTE STØBNINGER AF
RESTPRODUKT/FLYVEASKE.

UNDERSØGTE STØBNINGER:

- STØBNING NR. 57 -SEMITØRT RESTPRODUKT FRA AMAGER
FORBRÆNDINGEN (AF)
-FLYVEASKE FRA STUDSTRUPVÆRKET (FA)
(AF / FA / VAND) = (50% / 50% / 40%)
- STØBNING NR. 58 -TØRT RESTPRODUKT FRA NORDFORBRÆNDINGEN
(NORD)
-FLYVEASKE FRA STUDSTRUPVÆRKET (FA)
(NORD / FA / VAND) = (50% / 50% / 40%)
- STØBNING NR. 59 -SEMITØRT RESTPRODUKT FRA I/S KARA (KARA)
-FLYVEASKE FRA STUDSTRUPVÆRKET (FA)
(KARA / FA / VAND) = (50% / 50% / 40%)
- STØBNING NR. 60 -TØRT RESTPRODUKT FRA I/S REFA NYKØBING F.
(REFA)
-FLYVEASKE FRA STUDSTRUPVÆRKET (FA)
(REFA / FA / VAND) = (30% / 70% / 40%)
- STØBNING NR. 61 -TØRT RESTPRODUKT FRA NORDFORBRÆNDINGEN
(NORD)
-FLYVEASKE FRA STUDSTRUPVÆRKET (FA)
(NORD / FA / VAND) = (40% / 60% / 40%)

UDSTØBNING:

Restprodukt og flyveaske blandes tørt i stor blandemaskine,
hvorefter vandet langsomt tilsættes.

Blandingen hældes i formene og stemples let.

De støbte emner fjernes fra formen når de har opnået tilstræk-
kelig stabilitet (ca. 2-3 timer).

OPBEVARING:

Halvdelen af de støbte emner opbevares ved 20°C og 100% RH, den anden halvdel opbevares ved 37°C og 100 % RH.

ANALYSERING:

Fra hvert støbenummer udtages to gange om ugen en del af et emne, som nedknuses (manuelt) og analyseres for pH i en 1 % opløsning efter DS 287.

RESULTATER AF PH-MÅLINGER PÅ STBN-57, -58, -59, -61.

STØBE NR.	57	57	58	58	59	59	61	61
STØBE DATO	20.02	20.02	20.02	20.02	21.02	21.02	22.02	22.02
OPBV. TEMP.	20°C	37°C	20°C	37°C	20°C	37°C	20°C	37°C
pH d. 27.02	11,7	11,6	12,1	11,8				
pH d. 28.02					11,9	11,3		
pH d. 01.03							11,8	11,8
pH d. 04.03	11,9	11,7	12,3	12,1				
pH d. 06.03					11,8	11,7	11,9	11,9
pH d. 08.03	11,6	11,4	11,9	11,8				
pH d. 12.03					11,9	11,5	11,9	11,4
pH d. 13.03	11,7	11,3	12,0	11,8				
pH d. 15.03					12,0	11,3	12,0	11,5

**Sammenligning af faktorer, der påvirker
stofudvaskningen ved tankforsøgene**

TABEL B7.1: STOFUDVASKNINGENS AFHÆNGIGHED AF PRØVELEGEMERNES STØRRELSE (DIAMETER = 50 MM, HØJDE = 25 OG 50 MM)

STØB- NING	RESTPRODUKT	RØGGAS- RENS- NINGS- PROCES	BLANDINGSFORHOLD RESTPR. CEMENT VAND			HØJDE AF PRØVE- LEGENE mm	AKKUMULERET UDVASKET STOFMÆNGDE EFTER 7,2 DØGN		
			%(w/w)	%(w/w)	%(w/w)		Hærdet 14 døg Bly mg/m ²	Hærdet 28 døg Bly mg/m ²	Klorid g/m ²
30 A	NORD	TP	60	40	65	25		49	650
30 B	NORD	TP	60	40	65	50		100	1200
40 A	NORD/KOLONNE	TP	60	40	88	25		15	1.3
40 B	NORD/KOLONNE	TP	60	40	88	50		18	1.3
38 A	REFA/KOLONNE	TP	60	40	80	25		35	1.3
38 B	REFA/KOLONNE	TP	60	40	80	50		41	1.3

KFA: Kulflyveaske
 TASP: Semitært røggasafsvovlingsprodukt fra kraftværk
 +G: Tilsat GEODUR (2% af opløsning)
 +VGLS: Tilsat vandglas (natriummetasilikat, 5%)
 +H3PO4: Tilsat fosforsyre, 5%.

SP: Semitært proces
 TP: Tørproces
 *): Akkumuleret udv. mængde efter 3,2 døg.
 **): Forsøget afbrudt efter 15 dage p.g.a. prøvelegemets manglende stabilitet.

TABEL B7.2: STABILISERINGENS AFHÆNGIGHED AF HÆRDNINGSTIDEN (14 DØGN OG 28 DØGN)

STØB- NING	RESTPRODUKT	RØGGAS- RENS- NINGS- PROCES	BLANDINGSFORHOLD RESTPR. CEMENT VAND			HØJDE AF PRØVE- LEGENE mm	AKKUMULERET UDVASKET STOFMÆNGDE EFTER 7,2 DØGN		
			%(w/w)	%(w/w)	%(w/w)		Hærdet 14 døg Bly mg/m ²	Hærdet 28 døg Bly mg/m ²	Klorid g/m ²
5	AF	SP	80	20	40	25	870	780	870
7	AF	SP	60	40	40	25	28	16	570
22	AF	SP	80	20	55	25	350	270	710
24	AF	SP	60	40	50	25	27 *	32	540
16	KARA	SP	100	0	31	25	AFBRUDT	26000 **	1100 **
17	KARA	SP	80	20	30	25	800	540	880
11	NORD	TP	80	20	40	25	1200	240	1200
13	NORD	TP	60	40	30	25	140	100	870
19	REFA	TP	80	20	40	25	280	230	730

KFA: Kulflyveaske
 TASP: Semitært røggasafsvovlingsprodukt fra kraftværk
 +G: Tilsat GEODUR (2% af opløsning)
 +VGLS: Tilsat vandglas (natriummetasilikat, 5%)
 +H3PO4: Tilsat fosforsyre, 5%.

SP: Semitært proces
 TP: Tørproces
 *): Akkumuleret udv. mængde efter 3,2 døg.
 **): Forsøget afbrudt efter 15 dage p.g.a. prøvelegemets manglende stabilitet.

TABEL B7.3: STOFUDVASKNINGENS AFHÆNGIGHED AF RESTPRODUKTTYPEN

STØB- NING	RESTPRODUKT	RØGGAS- RENS- NINGS- PROCES	BLANDINGSFORHOLD RESTPR. CEMENT VAND			HØJDE AF PRØVE- LEGEME mm	AKKUMULERET UDVASKET STOFMÆNGDE EFTER 7,2 DØGN		
			% (w/w)	% (w/w)	% (w/w)		Hardet 14 døg Bly ng/m ²	Hardet 28 døg Bly ng/m ²	Klorid g/m ²
3	AF	SP	100	0	40	25	AFBRUDT		
16	KARA	SP	100	0	31	25	AFBRUDT	26000 **	1100 **
9	NORD	TP	100	0	40	25	AFBRUDT		
18	REFA	TP	100	0	40	25	AFBRUDT		
5	AF	SP	80	20	40	25	870	780	870
17	KARA	SP	80	20	30	25	800	540	880
11	NORD	TP	80	20	40	25	1200	240	1200
19	REFA	TP	80	20	40	25	280	230	730
6	AF	SP	70	30	40	25	110		
12	NORD	TP	70	30	30	25	310		
7	AF	SP	60	40	40	25	28	16	570
13	NORD	TP	60	40	30	25	140	100	870
22	AF	SP	80	20	55	25	350	270	710
33	KARA	SP	80	20	50	25		310	650
35	REFA	TP	80	20	70	25		190	580
24	AF	SP	60	40	50	25	27 *	32	540
30 A	NORD	TP	60	40	65	25		49	650
41	AF/KOLONNE	SP	80	20	87	49		94	1.5
43	KARA/KOLONNE	SP	80	20	70	50		130	2.2
39	NORD/KOLONNE	TP	80	20	117	50		50	2.9
37	REFA/KOLONNE	TP	80	20	85	50		130	2.9
42	AF/KOLONNE	SP	60	40	70	49		47	0.68
44	KARA/KOLONNE	SP	60	40	60	50		59	1.2
40 B	NORD/KOLONNE	TP	60	40	88	50		18	1.3
38 B	REFA/KOLONNE	TP	60	40	80	50		41	1.3

KFA: Kulflyveaske
 TASP: Semitært røggasafsvovlingsprodukt fra kraftværk
 +G: Tilsat GEODUR (2% af opløsning)
 +VGLS: Tilsat vandglas (natriummetasilikat, 5%)
 +H3PO4: Tilsat fosforsyre, 5%.

SP: Semitært proces
 TP: Tørproces
 *): Akkumuleret udv. mængde efter 3,2 døg.
 **): Forsøget afbrudt efter 15 dage p.g.a. prøvelegemets manglende stabilitet.

TABEL B7.4: STOFUDVASKNINGENS AFHÆNGIGHED AF TILSAT MENGDE CEMENT (0, 20, 30 OG 40 % W/W)

STØB- NING	RESTPRODUKT	RØGGAS- RENS- NINGS- PROCES	BLANDINGSFORHOLD RESTPR. CEMENT VAND			HØJDE AF PRØVE- LEGE mm	AKKUMULERET UDVASKET STOFMENGDE EFTER 7,2 DØGN		
			% (w/w)	% (w/w)	% (w/w)		Hardet 14 døg Bly mg/m ²	Hardet 28 døg Bly mg/m ²	Klorid g/m ²
3.	AF	SP	100	0	40	25	AFBRUDT		
5	AF	SP	80	20	40	25	870	780	870
6	AF	SP	70	30	40	25	110		
7	AF	SP	60	40	40	25	28	16	570
16	KARA	SP	100	0	31	25	AFBRUDT	26000 **	1100 **
17	KARA	SP	80	20	30	25	800	540	880
9	NORD	TP	100	0	40	25	AFBRUDT		
11	NORD	TP	80	20	40	25	1200	240	1200
12	NORD	TP	70	30	30	25	310		
13	NORD	TP	60	40	30	25	140	100	870
20	AF	SP	100	0	60	25	AFBRUDT		
22	AF	SP	80	20	55	25	350	270	710
23	AF	SP	70	30	55	25	89		
24	AF	SP	60	40	50	25	27 *	32	540
41	AF/KOLONNE	SP	80	20	87	49		94	1.5
42	AF/KOLONNE	SP	60	40	70	49		47	0.68
43	KARA/KOLONNE	SP	80	20	70	50		130	2.2
44	KARA/KOLONNE	SP	60	40	60	50		59	1.2
39	NORD/KOLONNE	TP	80	20	117	50		50	2.9
40 B	NORD/KOLONNE	TP	60	40	88	50		18	1.3
36	REFA/KOLONNE	TP	80	20	80	50		130	2.1
38 B	REFA/KOLONNE	TP	60	40	80	50		41	1.3
15	CEMENT	-	0	100	23	25	IKKE MALELIG		

KFA: Kulflyveaske

TASP: Semitært røggasafsvovlingsprodukt fra kraftværk

+G: Tilsat GEODUR (2% af opløsning)

+VGLS: Tilsat vandglas (natriummetasilikat, 5%)

+H3PO4: Tilsat fosforsyre, 5%.

SP: Semitør proces

TP: Tørproces

*): Akkumuleret udv. mængde efter 3,2 døg.

**): Forsøget afbrudt efter 15 dage p.g.a. prøvelegemets manglende stabilitet.

TABEL B7.5: STOFUDVASKNINGENS AFHÆNGIGHED AF DEN TILSATTE VANDMENGDE

STØB- NING	RESTPRODUKT	RØGGAS- RENS- NINGS- PROCES	BLANDINGSFORHOLD			HØJDE AF PRØVE- LEGEDE mm	AKKUMULERET Hærdet 14 døg Bly mg/m ²	STOFMÆNGDE EFTER 7,2 DØGN	
			RESTPR.	CEMENT	VAND			Hærdet 28 døg Bly mg/m ²	Klorid g/m ²
			%(w/w)	%(w/w)	%(w/w)				
5	AF	SP	80	20	40	25	870	780	870
22	AF	SP	80	20	55	25	350	270	710
6	AF	SP	70	30	40	25	110		
23	AF	SP	70	30	55	25	89		
7	AF	SP	60	40	40	25	28	16	570
24	AF	SP	60	40	50	25	27 *	32	540
17	KARA	SP	80	20	30	25	800	540	880
33	KARA	SP	80	20	50	25		310	650
13	NORD	TP	60	40	30	25	140	100	870
30 A	NORD	TP	60	40	65	25		49	650
19	REFA	TP	80	20	40	25	280	230	730
35	REFA	TP	80	20	70	25		190	580

KFA:	Kulflyveaske	SP:	Semitør proces
TASP:	Semitørt røggasafsvovlingsprodukt fra kraftværk	TP:	Tørproces
+G:	Tilsat GEODUR (2% af opløsning)	*):	Akkumuleret udv. mængde efter 3,2 døg.
+VGLS:	Tilsat vandglas (natriummetasilikat, 5%)	**):	Forsøget afbrudt efter 15 dage p.g.a. prøvelegemets manglende stabilitet.
+H3PO4:	Tilsat fosforsyre, 5%.		

TABEL B7.6: STOFUDVASKNINGENS AFHÆNGIGHED AF TILSÆTNING AF NATRIUMMETASILIKAT (VANDGLAS) OG FOSFORSYRE

STØB- NING	RESTPRODUKT	RØGGAS- RENS- NINGS- PROCES	BLANDINGSFORHOLD			HØJDE AF PRØVE- LEGEDE mm	AKKUMULERET UDVASKET STOFMÆNGDE EFTER 7,2 DØGN		
			RESTPR.	CEMENT	VAND		Hardet 14 døg	Hardet 28 døg	
			% (w/w)	% (w/w)	% (w/w)		Bly mg/m ²	Bly mg/m ²	Klorid g/m ²
22	AF	SP	80	20	55	25 *)	350	270	710
48	AF (+VGLS)	SP	80	20	65	50		18	830
41	AF/KOLONNE	SP	80	20	87	49		94	1.5
49	AF/KOL (+VGLS)	SP	80	20	104	50		20	1.4
11	NORD	TP	80	20	40 **)	25 *)	1200	240	1200
47	NORD (+VGLS)	TP	80	20	70	50		16	1200
22	AF	SP	80	20	55	25 *)	350	270	710
52	AF (+H3PO4)	SP	80	20	60	50		8.1	900

KFA: Kulflyveaske

TASP: Semitært røggasafsvovlingsprodukt fra kraftværk

+G: Tilsat GEODUR (2% af opløsning)

+VGLS: Tilsat vandglas (natriummetasilikat, 5%)

+H3PO4: Tilsat fosforsyre, 5%.

*): Sammenligning mellem 25 og 50 mm prøvelegemer (mindsker forskellen)

**): Sammenligning af prøvelegemer med meget forskellige vandindhold

TABEL B7.7: STOFUDVASKNINGENS AFHÆNGIGHED AF TILSÆTNING AF KULFLYVRASKE, TASP OG FORBRÆNDINGSSLAGGER

STØB- NING	RESTPRODUKT	RØGGAS- RENS- NINGS- PROCES	BLANDINGSFORHOLD			HØJDE AF PRØVE- LEGEDE mm	AKKUMULERET UDVASKET STOFMÆNGDE EFTER 7,2 DØGN		
			RESTPR.	CEMENT	VAND		Hardet 14 døg	Hardet 28 døg	
			% (w/w)	% (w/w)	% (w/w)		Bly mg/m ²	Bly mg/m ²	Klorid g/m ²
22	AF	SP	80	20	55	25 **)	350	270	710
24	AF	SP	60	40	50	25 **)	27 *	32	540
50	AF+KFA	SP	60+40	0	50	50		> 38 (AFBR.)	
51	AF+KFA	SP	60+30	10	50	50		120	760
46	AF+TASP	SP	40+40	20	55	50		61	500
55	AF+SLAGGER	SP	45+40	15	30	50		97	670

KFA: Kulflyveaske

TASP: Semitært røggasafsvovlingsprodukt fra kraftværk

+G: Tilsat GEODUR (2% af opløsning)

+VGLS: Tilsat vandglas (natriummetasilikat, 5%)

+H3PO4: Tilsat fosforsyre, 5%.

SP: Semitær proces

TP: Tærproces

*): Akkumuleret udv. mængde efter 3,2 døg.

**): Sammenligning mellem prøvelegemer af forskellig højde

TABEL B7.8: STOFUDVASKNINGENS AFHÆNGIGHED AF TILSETNING AF GEODUR

STØB- NING	RESTPRODUKT	RØGGAS- RENS- NINGS- PROCES	BLANDINGSFORHOLD			HØJDE AF PRØVE- LEGEME mm	AKKUMULERET UDVASKET		STOFMÆNGDE EFTER 7,2 DØGN	
			RESTPR.	CEMENT	VAND		Hardet 14 dagn	Bly	Hardet 28 dagn	Klorid
			%(w/w)	%(w/w)	%(w/w)			mg/m ²	Bly mg/m ²	g/m ²
5	AF	SP	80	20	40	25		870		
8	AF (+G)	SP	80	20	37	25		1200	780	870
20	AF	SP	100	0	60	25	AFBRUDT			
21	AF (+G)	SP	100	0	60	25	AFBRUDT			
22	AF	SP	80	20	55	25		350		
25	AF (+G)	SP	80	20	55	25		290 *	270	710
55	AF+SLAGGER	SP	45+40	15	30	50			97	670
56	AF+SLAGGER (+G)	SP	45+40	15	30	50			110	670
9	NORD	TP	100	0	40	25	AFBRUDT			
10	NORD (+G)	TP	100	0	37	25	AFBRUDT			
11	NORD	TP	80	20	40	25		1200		
14	NORD (+G)	TP	80	20	32	25		1400	240	1200
KFA: Kulflyveaske							SP: Semitør proces			
TASP: Semitørt røggasafsvovlingsprodukt fra kraftværk							TP: Tørproces			
+G: Tilsat GEODUR (2% af opløsning)										
+VGLS: Tilsat vandglas (natriummetasilikat, 5%)							*): Akkumuleret udv. mængde efter 3,2 dagn.			
+H3PO4: Tilsat fosforsyre, 5%.										

TABEL B7.9: STOFUDVASKNINGENS AFHÆNGIGHED AF FORVASK (ANVENDELSE AF KOLONNEUDVASKET RESTPRODUKT)

STØB- NING	RESTPRODUKT	RØGGAS- RENS- NINGS- PROCES	BLANDINGSFORHOLD RESTPR. CEMENT VAND			HØJDE AF PRØVE- LEGE mm	AKKUMULERET UDVASKET STOFMÆNGDE EFTER 7,2 DØGN		Klorid g/m ²
			% (w/w)	% (w/w)	% (w/w)		Hardet 14 døg Bly mg/m ²	Hardet 28 døg Bly mg/m ²	
22	AF	SP	80	20	55	25 **)	350	270	710
41	AF/KOLONNE	SP	80	20	87	49		94	1.5
24	AF	SP	60	40	50	25 **)	27 *	32	540
42	AF/KOLONNE	SP	60	40	70	49		47	0.68
48	AF (+VGLS)	SP	80	20	65	50		18	830
49	AF/KOL (+VGLS)	SP	80	20	104	50		20	1.4
33	KARA	SP	80	20	50	25 **)		310	650
43	KARA/KOLONNE	SP	80	20	70	50		130	2.2
44	KARA/KOLONNE	SP	60	40	60	50		59	1.2
11	NORD	TP	80	20	40	25 **)	1200	240	1200
39	NORD/KOLONNE	TP	80	20	117	50		50	2.9
30 A	NORD	TP	60	40	65	25		49	650
40 A	NORD/KOLONNE	TP	60	40	88	25		15	1.3
30 B	NORD	TP	60	40	65	50		100	1200
40 B	NORD/KOLONNE	TP	60	40	88	50		18	1.3
35	REFA	TP	80	20	70	25 **)		190	580
37	REFA/KOLONNE	TP	80	20	85	50		130	2.9
38 A	REFA/KOLONNE	TP	60	40	80	25 **)		35	1.3
38 B	REFA/KOLONNE	TP	60	40	80	50		41	1.3

KFA: Kulflyveaske

TASP: Semitørt røggasafsvovlingsprodukt fra kraftværk

+G: Tilsat GEODUR (2% af opløsning)

+VGLS: Tilsat vandglas (natriummetasilikat, 5%)

+H3PO4: Tilsat fosforsyre, 5%.

SP: Semitør proces

TP: Tørproces

*): Akkumuleret ndv. mængde efter 3,2 døg.

**): Sammenligning mellem prøvelegemer af forskellig højde

**Perkolatproduktionens afhængighed af
infiltration og deponeringsgeometri**

Deponeret mængde: 500000 t (tørvægt) Betydning af deponeringsgeometri
Deponeringshøjde: 5 m og infiltration af nedbør

For det flyveaskeblandede vådprodukt GRAAB er der regnet med deponering af 300000 t

Restprodukt	Tørrunvægt (ikke-stab.)	Volumen i deponi	Deponeringsareal
AF	1.22 t/m ³	409836 m ³	81967 m ²
KARA	1.43 t/m ³	349650 m ³	69930 m ²
NORD	1.24 t/m ³	403226 m ³	80645 m ²
REFA	1.24 t/m ³	403226 m ³	80645 m ²
GRAAB	1.00 t/m ³	300000 m ³	60000 m ²
FLYVEASKE	1.00 t/m ³	500000 m ³	100000 m ²

Omregning af L/S til tid (år) for hvert restprodukt. Infiltration: 10 mm/år

Restprodukt	L/S 0.0-0.2	L/S 0.2-0.5	L/S 0.5-1.0	L/S 1.0-2.0	L/S 2.0-5.0	L/S 5.0-25	Årlig perkolat- produktion
AF	122	183	305	610	1830	12200	820 m ³
KARA	143	214.5	357.5	715	2145	14300	699 m ³
NORD	124	186	310	620	1860	12400	806 m ³
REFA	124	186	310	620	1860	12400	806 m ³
GRAAB	100	150	250	500	1500	10000	600 m ³
FLYVEASKE	100	150	250	500	1500	10000	1000 m ³

Omregning af L/S til tid (år) for hvert restprodukt. Infiltration: 100 mm/år

Restprodukt	L/S 0.0-0.2	L/S 0.2-0.5	L/S 0.5-1.0	L/S 1.0-2.0	L/S 2.0-5.0	L/S 5.0-25	Årlig perkolat- produktion
AF	12.2	18.3	30.5	61	183	1220	8197 m ³
KARA	14.3	21.45	35.75	71.5	214.5	1430	6993 m ³
NORD	12.4	18.6	31	62	186	1240	8065 m ³
REFA	12.4	18.6	31	62	186	1240	8065 m ³
GRAAB	10	15	25	50	150	1000	6000 m ³
FLYVEASKE	10	15	25	50	150	1000	10000 m ³

Omregning af L/S til tid (år) for hvert restprodukt. Infiltration: 200 mm/år

Restprodukt	L/S 0.0-0.2	L/S 0.2-0.5	L/S 0.5-1.0	L/S 1.0-2.0	L/S 2.0-5.0	L/S 5.0-25	Årlig perkolat- produktion
AF	6.1	9.15	15.25	30.5	91.5	610	16393 m ³
KARA	7.15	10.725	17.875	35.75	107.25	715	13986 m ³
NORD	6.2	9.3	15.5	31	93	620	16129 m ³
REFA	6.2	9.3	15.5	31	93	620	16129 m ³
GRAAB	5	7.5	12.5	25	75	500	12000 m ³
FLYVEASKE	5	7.5	12.5	25	75	500	20000 m ³

Deponeret mængde: 500000 t (tørvægt) Betydning af deponeringsgeometri
Deponeringshøjde: 10 m og infiltration af nedbør

For det flyveaskeblandede vådprodukt GRAAB er der regnet med deponering af 300000 t

Restprodukt	Tørrumvægt (ikke-stab.)	Volumen i deponi	Deponeringsareal
AF	1.22 t/m ³	409836 m ³	40984 m ²
KARA	1.43 t/m ³	349650 m ³	34965 m ²
NORD	1.24 t/m ³	403226 m ³	40323 m ²
REFA	1.24 t/m ³	403226 m ³	40323 m ²
GRAAB	1.00 t/m ³	300000 m ³	30000 m ²
FLYVEASKE	1.00 t/m ³	500000 m ³	50000 m ²

Omregning af L/S til tid (år) for hvert restprodukt. Infiltration: 10 mm/år

Restprodukt	L/S 0.0-0.2	L/S 0.2-0.5	L/S 0.5-1.0	L/S 1.0-2.0	L/S 2.0-5.0	L/S 5.0-25	Årlig perkolat- produktion
AF	244	366	610	1220	3660	24400	410 m ³
KARA	286	429	715	1430	4290	28600	350 m ³
NORD	248	372	620	1240	3720	24800	403 m ³
REFA	248	372	620	1240	3720	24800	403 m ³
GRAAB	200	300	500	1000	3000	20000	300 m ³
FLYVEASKE	200	300	500	1000	3000	20000	500 m ³

Omregning af L/S til tid (år) for hvert restprodukt. Infiltration: 100 mm/år

Restprodukt	L/S 0.0-0.2	L/S 0.2-0.5	L/S 0.5-1.0	L/S 1.0-2.0	L/S 2.0-5.0	L/S 5.0-25	Årlig perkolat- produktion
AF	24.4	36.6	61	122	366	2440	4098 m ³
KARA	28.6	42.9	71.5	143	429	2860	3497 m ³
NORD	24.8	37.2	62	124	372	2480	4032 m ³
REFA	24.8	37.2	62	124	372	2480	4032 m ³
GRAAB	20	30	50	100	300	2000	3000 m ³
FLYVEASKE	20	30	50	100	300	2000	5000 m ³

Omregning af L/S til tid (år) for hvert restprodukt. Infiltration: 200 mm/år

Restprodukt	L/S 0.0-0.2	L/S 0.2-0.5	L/S 0.5-1.0	L/S 1.0-2.0	L/S 2.0-5.0	L/S 5.0-25	Årlig perkolat- produktion
AF	12.2	18.3	30.5	61	183	1220	8197 m ³
KARA	14.3	21.45	35.75	71.5	214.5	1430	6993 m ³
NORD	12.4	18.6	31	62	186	1240	8065 m ³
REFA	12.4	18.6	31	62	186	1240	8065 m ³
GRAAB	10	15	25	50	150	1000	6000 m ³
FLYVEASKE	10	15	25	50	150	1000	10000 m ³

Deponeret mængde: 500000 t (tørvægt) Betydning af deponeringsgeometri
Deponeringshøjde: 20 m og infiltration af nedbør

For det flyveaskeblandede vådprodukt GRAAB er der regnet med deponering af 300000 t

Restprodukt	Tørrunvægt (ikke-stab.)	Volumen i deponi	Deponeringsareal
AF	1.22 t/m ³	409836 m ³	20492 m ²
KARA	1.43 t/m ³	349650 m ³	17483 m ²
NORD	1.24 t/m ³	403226 m ³	20161 m ²
REFA	1.24 t/m ³	403226 m ³	20161 m ²
GRAAB	1.00 t/m ³	300000 m ³	15000 m ²
FLYVEASKE	1.00 t/m ³	500000 m ³	25000 m ²

Omregning af L/S til tid (år) for hvert restprodukt. Infiltration: 10 mm/år

Restprodukt	L/S 0.0-0.2	L/S 0.2-0.5	L/S 0.5-1.0	L/S 1.0-2.0	L/S 2.0-5.0	L/S 5.0-25	Årlig perkolat- produktion
AF	488	732	1220	2440	7320	48800	205 m ³
KARA	572	858	1430	2860	8580	57200	175 m ³
NORD	496	744	1240	2480	7440	49600	202 m ³
REFA	496	744	1240	2480	7440	49600	202 m ³
GRAAB	400	600	1000	2000	6000	40000	150 m ³
FLYVEASKE	400	600	1000	2000	6000	40000	250 m ³

Omregning af L/S til tid (år) for hvert restprodukt. Infiltration: 100 mm/år

Restprodukt	L/S 0.0-0.2	L/S 0.2-0.5	L/S 0.5-1.0	L/S 1.0-2.0	L/S 2.0-5.0	L/S 5.0-25	Årlig perkolat- produktion
AF	48.8	73.2	122	244	732	4880	2049 m ³
KARA	57.2	85.8	143	286	858	5720	1748 m ³
NORD	49.6	74.4	124	248	744	4960	2016 m ³
REFA	49.6	74.4	124	248	744	4960	2016 m ³
GRAAB	40	60	100	200	600	4000	1500 m ³
FLYVEASKE	40	60	100	200	600	4000	2500 m ³

Omregning af L/S til tid (år) for hvert restprodukt. Infiltration: 200 mm/år

Restprodukt	L/S 0.0-0.2	L/S 0.2-0.5	L/S 0.5-1.0	L/S 1.0-2.0	L/S 2.0-5.0	L/S 5.0-25	Årlig perkolat- produktion
AF	24.4	36.6	61	122	366	2440	4098 m ³
KARA	28.6	42.9	71.5	143	429	2860	3497 m ³
NORD	24.8	37.2	62	124	372	2480	4032 m ³
REFA	24.8	37.2	62	124	372	2480	4032 m ³
GRAAB	20	30	50	100	300	2000	3000 m ³
FLYVEASKE	20	30	50	100	300	2000	5000 m ³

Deponeret mængde: 200000 t (tørvægt) Betydning af deponeringsgeometri
Deponeringshøjde: 10 m og infiltration af nedbør

For det flyveaskeblandede vådprodukt GRAAB er der regnet med deponering af 300000 t

Restprodukt Tørrunvægt (ikke-stab.) Volumen i deponi Deponeringsareal

AF	1.22	t/m3	163934	m3	16393	m2
KARA	1.43	t/m3	139860	m3	13986	m2
NORD	1.24	t/m3	161290	m3	16129	m2
REFA	1.24	t/m3	161290	m3	16129	m2
GRAAB	1.00	t/m3	120000	m3	12000	m2
FLYVEASKE	1.00	t/m3	200000	m3	20000	m2

Omregning af L/S til tid (år) for hvert restprodukt. Infiltration: 10 mm/år

Restprodukt	L/S 0.0-0.2	L/S 0.2-0.5	L/S 0.5-1.0	L/S 1.0-2.0	L/S 2.0-5.0	L/S 5.0-25	Årlig perkolat- produktion
AF	244	366	610	1220	3660	24400	164 m3
KARA	286	429	715	1430	4290	28600	140 m3
NORD	248	372	620	1240	3720	24800	161 m3
REFA	248	372	620	1240	3720	24800	161 m3
GRAAB	200	300	500	1000	3000	20000	120 m3
FLYVEASKE	200	300	500	1000	3000	20000	200 m3

Omregning af L/S til tid (år) for hvert restprodukt. Infiltration: 100 mm/år

Restprodukt	L/S 0.0-0.2	L/S 0.2-0.5	L/S 0.5-1.0	L/S 1.0-2.0	L/S 2.0-5.0	L/S 5.0-25	Årlig perkolat- produktion
AF	24.4	36.6	61	122	366	2440	1639 m3
KARA	28.6	42.9	71.5	143	429	2860	1399 m3
NORD	24.8	37.2	62	124	372	2480	1613 m3
REFA	24.8	37.2	62	124	372	2480	1613 m3
GRAAB	20	30	50	100	300	2000	1200 m3
FLYVEASKE	20	30	50	100	300	2000	2000 m3

Omregning af L/S til tid (år) for hvert restprodukt. Infiltration: 200 mm/år

Restprodukt	L/S 0.0-0.2	L/S 0.2-0.5	L/S 0.5-1.0	L/S 1.0-2.0	L/S 2.0-5.0	L/S 5.0-25	Årlig perkolat- produktion
AF	12.2	18.3	30.5	61	183	1220	3279 m3
KARA	14.3	21.45	35.75	71.5	214.5	1430	2797 m3
NORD	12.4	18.6	31	62	186	1240	3226 m3
REFA	12.4	18.6	31	62	186	1240	3226 m3
GRAAB	10	15	25	50	150	1000	2400 m3
FLYVEASKE	10	15	25	50	150	1000	4000 m3

REGISTRERINGSBLAD

Udgiver: Miljøstyrelsen, Strandgade 29, 1401 København K

Serietitel, nr.: Miljøprojekt, 193

Udgivelsesår: 1992

Titel:

Restprodukter fra røggasrensning ved affaldsforbrænding 2

Undertitel:

Eksperimentelle undersøgelser

Forfatter(e):

Hjelmar, Ole

Udførende institution(er):

Vandkvalitetsinstituttet

Resumé:

Rapporten er anden og sidste del af et udrednings- og forskningsprojekt, der skal belyse de miljømæssige konsekvenser ved deponering af restprodukter fra sur røggasrensning ved affaldsforbrænding.

I rapporten gennemgås resultaterne af udførte, eksperimentelle undersøgelser af udvaskning, toksicitet samt udvaskning ved forskellige former for stabilisering.

På baggrund af de opnåede resultater vurderes en række opstillede deponeringsscenarier.

Emneord:

affald; forbrænding; rensning; emissioner; restprodukter; flyveaske; sammensætning; bortskaffelse; deponering

ISBN: 87-503-9728-1

ISSN: 0105-3094

Pris (inkl. moms): 165 kr.

Format: A4

Sideantal: 200

Md./år for redaktionens afslutning: januar 1992

Oplag: 800

Andre oplysninger:

Fase 1 af projektet udgivet 1990 som Miljøprojekt 146

Tryk: Notex-Grafisk Service Center as

Trykt på 100% genbrugspapir **Cyclus**

Miljøprojekt

- Nr. 138: Renere teknologi på energiområdet
- Nr. 139: Afvask af trykpresser med sojaolie
- Nr. 140: Vandige malematerialer til korrosionsbeskyttelse
- Nr. 141: Det grønne affaldssystem i AFAV
- Nr. 142: Det grønne affaldssystem i Høng
- Nr. 143: Katodisk elektrodypemaling
- Nr. 144: Reparationsmaling af automobiler
- Nr. 145: Genanvendelse af nedknust tegl
- Nr. 146: Restprodukter fra røggasrensning ved affaldsforbrænding 1
- Nr. 147: Blåserensningsmetoder
- Nr. 148: Storskraldsordninger med genanvendelse
- Nr. 149: Emissionsundersøgelse for pejs og brændeovne
- Nr. 150: Prognose for bygge- og anlægsaffald - hovedrapport
- Nr. 151: Prognose for bygge- og anlægsaffald - bilagsdel
- Nr. 152: Kemikalier i husholdningen
- Nr. 153: Danmarks udledning af industrielt spildevand
- Nr. 154: Miljømærkning af produkter
- Nr. 155: Spredning af forurening i moræner
- Nr. 156: Drikkevandskvalitet i Danmark
- Nr. 157: Anvendelse af nedknust beton i ny beton
- Nr. 158: Bortskaffelse af havneslam
- Nr. 159: Miljøvenlig affedtning i jernindustrien
- Nr. 160: Genanvendelse af bygge- og anlægsaffald - del 2
- Nr. 161: Arbejdsmiljøforhold ved genanvendelse af affald
- Nr. 162: Renere teknologi i eksisterende galvanovirksomheder
- Nr. 163: Forurening fra pelsdyrfarme
- Nr. 164: Deltagelse i kildesortering af husholdningsaffald
- Nr. 165: Luftforurening fra individuel og kollektiv trafik
- Nr. 166: Overfladeaktive stoffer - spredning og effekter i miljøet
- Nr. 167: Renere teknologi i mejeribranchen
- Nr. 168: Miljømessig vurdering af mælkeemballage
- Nr. 169: Renere teknologi i den grafiske branche
- Nr. 170: Ozonlagsnedbrydende stoffer - forbrug i 1987 - 1989
- Nr. 171: Design af affaldsbeholdere
- Nr. 172: Økonomi i genanvendelse og affaldsbehandling
- Nr. 173: Fyring med halm - en metode til renere forbrænding
- Nr. 174: Spredningsudstyr til optimal udnyttelse af gylle
- Nr. 175: Affald i Danmark - teknisk rapport
- Nr. 176: Opløsningsmiddelfattige serigrafifarver
- Nr. 177: Demonstrationsprojekt "Selektiv nedrivning"
- Nr. 178: Farveseparering af skår
- Nr. 179: Eco-labelling of Paper Products
- Nr. 180: Renere teknologi - bygge- og anlægsaffald
- Nr. 181: Beton med nedknust tegl som tilslag
- Nr. 182: Model til risikoanalyse af værtsmikroorganismer
- Nr. 183: Eksempler på risikoanalyse af værtsmikroorganismer
- Nr. 184: Danske sure og forsuringstruede søer
- Nr. 185: Jernudvaskning fra drænedes pyritholdige arealer
- Nr. 186: Kommunale affaldsplaner
- Nr. 187: Planteplankton - metoder
- Nr. 188: Økotoxikologisk vurdering af industrispildevand
- Nr. 189: Renere teknologi ved fremstilling af støberikærner
- Nr. 190: Ozonlagsnedbrydende stoffer - forbrug i 1990
- Nr. 191: Renere teknologi i jern- og metalstøberier
- Nr. 192: Dimensionering af grødefyldte bassiner til okkerrensning
- Nr. 193: Restprodukter fra røggasrensning ved affaldsforbrænding 2

Restprodukter fra røggasrensning ved affaldsforbrænding II

Rapporten er anden og sidste del af et udrednings- og forskningsprojekt, der skal belyse de miljømæssige konsekvenser ved deponering af restprodukter fra sur røggasrensning ved affaldsforbrænding.

I rapporten gennemgås resultaterne af udførte, eksperimentelle undersøgelser af udvaskning, toksicitet samt udvaskning ved forskellige former for stabilisering.

På baggrund af de opnåede resultater vurderes en række opstillede deponeringsscenarier.

Pris kr. 165,- inkl. 25% moms

ISSN nr. 0105-3094

ISBN nr. 87-503-9728-1

Miljøministeriet **Miljøstyrelsen**

Strandgade 29 · 1401 København K · Tlf 31 57 83 10