

NOVEMBER 2021
BRANCHESAMARBEJDE FOR GENANVENDELSE AF RESTPRODUKTER FRA
AFFALDSENERGIANLÆG I DANMARK

GENANVENDELSE AF FLYVEASKE FRA AFFALDSENERGIANLÆG



NOVEMBER 2021
DANSK RESTPRODUKTHÅNDBLING

GENANVENDELSE AF FLYVEASKE FRA AFFALDSENERGIANLÆG

PROJEKTNR. DOKUMENTNR. A205735
A205735

VERSION	UDGIVELSESDATO	BESKRIVELSE	UDARBEJDET	KONTROLLERET	GODKENDT
01	05-11-2021	Genanvendelse af flyveaske	JPJN	AKER	JPJN

INDHOLD

1	Resumé/Konklusion	6
2	Indledning	8
3	Affaldssammensætnings påvirkning af flyveaske kvaliteten ⁹	
4	Flyveaske	11
4.1	Målekampagner af flyveaske sammensætninger	13
5	Afsætningsmuligheder for flyveasken	21
5.1	Overordnet vurdering af nyttiggørelse af flyveaske fra affaldsenergianlæg i industriprodukter	25
6	Konklusion	36
7	Referencer	38

1 Resumé/Konklusion

Formålet med rapporten er at lave en vurdering af muligheder for genanvendelse af ubehandlet kedelasker fra affaldsenergianlæg baseret på kemisk sammensætning i askerne.

Tidligere analyser af kedelasker fra AffaldPlus og ARGO – fra 2./3. træk igennem kedlen – viser, at koncentrationerne af elementer i kedelasken kan variere med en faktor 2 til 3. Der er ikke ved gennemgang af disse analyser fundet nogen systematisk trend i koncentrationerne af elementer i kedelaskerne mht. røggasttemperaturen undtagen for kviksølv. Det betyder, at muligheden for nyttiggørelse af specifikke kedelaskerfraktioner ikke afviger fra muligheden for nyttiggørelse af aske fra de øvrige kedelaskerfraktioner.

Udvaskningsforsøg ($L/S=2$ l/kg) viser, at krav i Restproduktbekendtgørelsen⁷ ikke vil kunne overholdes for kedelaskerne hvad angår letopløselige alkaliklorider og sulfater, samt for tungmetaller (Cr, Pb, Se og Zn).

Kedelaskerne kan ikke umiddelbart anvendes til produktion af beton og cement pga. manglende opfyldelse af kvalitetskrav til indholdet af alkaliklorider.

Kedel- og filteraske overholder ikke grænseværdier for udvaskning i Deponeringsbekendtgørelsen¹⁶. Askerne nyttiggøres i dag i Norge ved at neutralisere svovlsyre-restproduktet på øen Langøya og derved erstatter kalk. I Tyskland nyttiggøres flyveasken til at hindre sammenstyrtning af nedlagte mineskakter.

Ved procesmæssig behandling af kedel- og filteraske, hvor de letopløselige salte fjernes, kan det ikke udelukkes, at restfraktionen kan nyttiggøres i cement- eller betonproduktion.

Ved procesmæssig behandling af kedel- og filteraske kan det ikke udelukkes, at der vil fremkomme en fast fraktion, der vil kunne overholde grænseværdierne ved udvaskningstest angivet i Restproduktbekendtgørelsen⁷. Om fraktionen kategoriseres som farligt affald bør undersøges nærmere. Restproduktbekendtgørelse omfatter ikke farligt affald. Selv hvis fraktionen ikke er farligt affald, og overholder krav for fast stof og udvaskning, er produktet ikke umiddelbart omfattet af Restproduktbekendtgørelsen⁷.

For at kunne vurdere mulighederne for nyttiggørelse af kedel- og filteraske, bør der gennemføres en miljøkonsekvensvurdering ved nyttiggørelse af procesmæssigt behandlet kedel- og flyveaske i veje og anlæg eller beton- og cementproduktion, hvor de miljøfremmede stoffer spredes til mange lokationer. Desuden kan, i en sådan miljøkonsekvensvurdering, fordele og ulemper belyses for nyttiggørelse af fraktioner af kedel- og flyveaske i forhold til nuværende praksis.

Slagge fra forbrændingskammeret/risten er omfattet af Restproduktbekendtgørelsen. Hvis aske fra 2./3. træk blandes med slaggen fra risten, er det uklart om dette produkt er omfattet af Restproduktbekendtgørelsen.

Der er vurderet at nyttiggørelse af ubehandlet kedel- og filterasker til veje og anlæg eller cement og betonproduktion er ikke muligt.

Ovennævnte konklusioner peger i retning af at en forbehandling af kedel- og filteraske er påkrævet for genanvendelse/nyttiggørelse af askerne. Det vil være formålstjenligt at iværksætte yderligere aktiviteter vedrørende procesmæssig behandlet kedel- og filteraske:

- > Undersøge mulighed for nyttiggørelse af behandlet kedel-/filterasker til veje og anlæg eller cement- og betonproduktion ved forskellige behandlingsmetoder/-teknologier.
- > Undersøge hvor stor andel af askerne kan nyttiggøres? - og hvor stor mængde på tør og våd basis det er muligt at deponere i Danmark, nyttiggøres på Langøya til erstatning af kalk eller nyttiggøres i tyske mineskakter?
- > Udarbejdelse af en miljøkonsekvensvurdering ved nyttiggørelse af procesmæssigt behandlet kedel- og flyveaske i veje og anlæg samt beton- og cementproduktion, hvor de miljøfremmede stoffer spredes til mange lokationer. Dette kan f.eks. sammenlignes med etablering af deponi for ubehandlet og behandlet flyveaske.

2 Indledning

I dag nyttiggøres flyveaske fra affaldsenergianlæg fra danske anlæg i Norge og Tyskland. Dvs. flyveasken nyttiggøres eller deponeres ikke i Danmark. I Norge nyttiggøres asken til at neutralisere svovlsyre-restprodukt på øen Langøya til erstatning for kalk. I Tyskland nyttiggøres flyveasken til at hindre sammenstyrtning af forladte mineskakter.

Branchesamarbejde for genanvendelse af restprodukter fra affaldsenergianlæg i Danmark har ønsket at undersøge muligheden for nyttiggørelse af kedel- og flyveaske. Fase 1, som denne rapport omhandler, drejer sig om at afdække eksisterende viden vedr. kvalitet af flyveaske og mulige afsætningsmuligheder.

Der er i Fase 1 gennemført en dataindsamling og litteraturundersøgelse mht. kedelaskekvalitet og variation fra 2./3. træks aske og de horisontale askeudtag gennem kedlen.

Påvirkning af kildesortering på affaldssammensætning og flyveaskekvaliteten er beskrevet, samt muligheder for nyttiggørelse i byggeindustrien (veje og anlæg, cement og beton), samt kvalitetskrav for dette.

Endelig er det beskrevet, hvad næste skridt (Fase 2) kunne være for yderligere at belyse tekniske mulighederne for nyttiggørelse af kedel- og filteraske i byggeindustrien, samt at belyse miljøkonsekvenserne ved en sådan nyttiggørelse.

3 Affaldssammensætnings påvirkning af flyveaske kvaliteten

Ifølge EU's bindende målsætninger skal 55 % af alt husholdnings- og husholdningslignende affald genanvendes i 2025. Status i 2019 er vist i nedenstående tabel.

Husholdnings- og husholdningslignende affald	Husholdnings- og husholdningslignende affald total	Husholdningsaffald ekskl. have- og byggeaffald	Haveaffald fra husholdninger	Husholdningslignende affald fra erhverv
Indsamlet til Genanvendelse i 2019	52 %	34 %	93 %	58 %
Reel Genanvendelse i 2019	44 %	30 %	70 %	51 %
Reel genanvendelse: Pejlemærker		50 %		55 %
Reel genanvendelse: EU-mål for 2025	55 %			

Tabel 1 Estimeringer for den reelle genanvendelse af husholdnings- og husholdningslignende affald i 2019⁹.

For at genanvende så stor en mængde affald som muligt, sker der i Danmark en høj grad af kilde-sortering, hvor typisk haveaffald, organisk køkkenaffald, glas, metal, plastic og papir sorteres i separate containere. Herved reduceres mængden af affald, der energiudnyttes i affaldsenergianlæg. Det må forventes, at sammensætningen af affaldet og brændværdi ændres over tid som følge af den øgede kilde-sortering, og dermed også sammensætning af flyveasken i forhold til tidligere undersøgelser af flyveaske sammensætningen.

Undersøgelse fra 2006¹⁰ vedr. "Måling af tungmetaller i dansk dagrenovation og småt brændbart" er der i resuméet angivet følgende konklusioner fra arbejdet¹¹: "For det første at tungmetallerne i dagrenovationen stammer fra de ikke brandbare fraktioner og for det andet, at indsamlingssystemet kan fjerne disse tungmetaller."

I 2020 blev der lavet en politisk aftale¹² "Klimaplan for en grøn affaldssektor og cirkulær økonomi", hvor der blev stillet større krav til sortering af affald og minimering af affald til forbrænding:

"Indsamlingen af danskernes affald strømlines og øges ved at indføre krav til kommunerne om ens indsamling af 10 forskellige slags affald: mad-, papir-, pap-, metal-, glas-, plast-, tekstilaffald samt drikke- og fødevarerkartonner, restaffald og farligt affald. Indsamlingen af affaldet skal foregå husstands-nært, men tage hensyn til forskellige boligtyper, herunder gennem mulighed for kombineret indsamling, så nogle typer affald kan indsamles sammen. Kravet skal gælde fra 1. juli 2021, tekstilaffald dog fra 2022. Eksisterende aftaler kan udløbe, dog skal ordninger med kombineret indsamling af metal-, glas- og plast udfases senest 1. januar 2025. I implementeringen af henteordningen

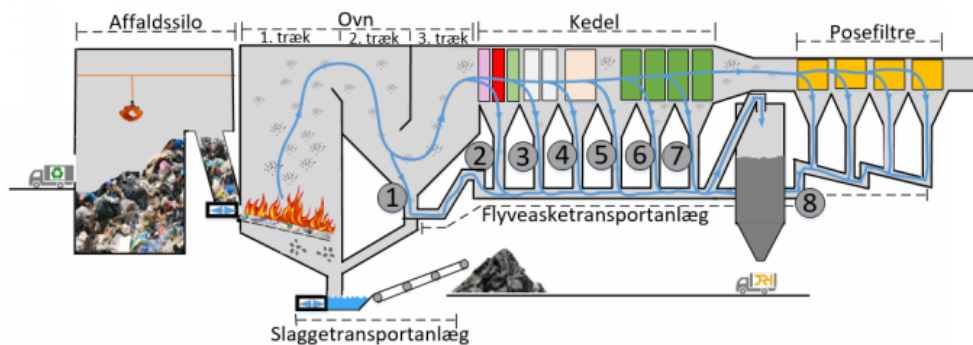
for indsamling af tekstilaffald sikres det, at de frivillige velgørende organisationer får let adgang til tekstiler, der kan genbruges."

"Der fastsættes et kapacitetsloft svarende til udviklingen i danske affaldsmængder, der forventes reduceret med 30 pct. i 2030 set i forhold til i dag. Det betyder, at den samlede danske miljøgodkendte kapacitet til forbrænding af affald (iht. Miljøbeskyttelseslovens kap. 5) skal nedbringes til de nationale affaldsmængder frem mod 2030, som fremskrevet af Miljø- og Fødevareministeriet. (Den aktuelle kapacitet er 3,95 mio. tons, mens de forventede nationale affaldsmængder til forbrænding på de multifyrede og dedikerede affaldsenergianlæg i 2030 er 2,6 mio. tons).".

Når affaldsmængderne reduceres, forventes flyveaskemængderne at reduceres tilsvarende. Der er ikke fundet estimer/prognose for, hvorledes indholdet af tungmetaller eller letopløselige salte i flyveaske vil ændres ved en højere grad af affaldssortering. Dvs. der er ingen indikation af, at affaldssortering vil medføre en markant ændring af flyveaskesammensætningen og dermed at mulige nyttiggørelser vil ændres markant i positiv eller negativ retning.

4 Flyveaske

Nedenstående figur er en skematisk tegning af ARGO's affaldsenergianlæg, som viser affaldssilo, ovn, kedel og posefiltre. Efterfølgende er der et vådt anlæg til fjernelse af sure gasser i røggassen. I semi-tørre anlæg "fanges" de sure gasser i røggassen i posefilteret, idet hydrat kalk ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) doseres før posefilteret. Da der anvendes overskud af hydratkalk, vil filterasken i semi-tørre anlæg indeholde større mængder calcium samt klorid.



Figur 1 Skematisk diagram af affaldssilo, ovn, kedel og posefiltre.¹

Affaldet tilføres risten, hvor der sker en tørring, pyrolyse, forgasning og koksudbrænding. Ved tilførsel af luft forbrænder de brandbare gasser. For at sikre fuldstændig udbrænding af forbrændingsgasserne og partikler skal røggassen i efterforbrændingskammeret, efter sidste indblæsning af forbrændingsluft, have en temperatur, der i 2 sekunder er på minimum 850 °C målt nær den indre væg eller et andet repræsentativt punkt i forbrændingskammeret.

Slagge er rest efter forbrændingen på risten, samt aske fra 1. træk der falder ned på risten. Som vist på ovenstående figur er det ofte muligt at tilbageføre aske fra 2./3. træk til slaggen eller føre 2./3.- træks aske med de øvrige kedelasker til flyveaskesiloen.

Slaggen udgør ca. 80-90% af asken i brændslet. Kedelasken udgør ca. 2-12 % og filterasken ca. 10-12 %³ af askemængden i brændslet. Data fra ARC viser, at flyveasken kun udgør 1 % af den totale askemængde på dette anlæg³³.

Dette er i overensstemmelse med registreringer på AffaldPlus, der oplyser, at slaggen udgjorde 19 % af affaldsmængden i 2019⁴.

Der tilføres forbrændingsluft under risten og over risten til forbrænding af de frigivne gasser under pyrolysen og koksudbrænding på risten. En del partikler (brændbare og aske) vil medrives og følge røggassen. Partiklerne udbrænder og flyveasken udtages som kedel aske eller i pose-/el-filteret. Andre elementer fordamper helt eller delvist på/over risten og kondenserer når røggassen køles i kedlen, disse elementer kan genfindes i kedel- og filterasken. Pga. flygtigheden af klor (HCl) og

kviksølv (Hg) vil der være højere koncentration af klor og kviksølv i flyveasken end i slaggen. På nogle anlæg tilføres aktivt kul før flyveaskefilteret for at fange kviksølv eller i efterfølgende vådvask af røggassen.

I Miljøprojekt nr. 1654² er der gennemført en identificering af fordelingen af elementer, hvor der blev foretaget litteraturundersøgelser af fordelingskoefficienter for en række tungmetaller mellem slagge/rågas og rågas/emission:

- > 85 % eller mere af tungmetallerne Co, Cu, Cr og Sn forventes at forlade anlægget med slaggen. Resten udskilles med flyveasken og emissionen til luft og vand forventes ikke påvirket af disse metaller.
- > 20-85 % af tungmetallerne As, Pb og Zn udskilles delvist i slaggen. Resten udskilles i stor udstrækning med flyveasken. Resten herfra udskilles i al væsentlighed i anlæg med våd røggasrensning i skrubbersystemet og forlader anlægget med spildevandsslammet, som dannes ved rensning af spildevandet. Emissionen til vand og luft forventes heller ikke påvirket af disse metaller.
- > 0-20 % af tungmetallet Cd udskilles i slaggen. Cd udskilles i væsentlig grad med flyveasken. Resten heraf udskilles i al væsentlighed i skrubbersystemet. Emissionen til luft og vand forventes heller ikke påvirket af Cd.²

I "Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Incineration"¹³ er der angivet følgende eksempel på fordelingen af udvalgte elementer imellem forskellige output-strømme fra et affaldsenergianlæg. Tabel 2 angiver at en stor del af kviksølv genfindes i slam fra spildevandsrensningen.

Substance	Cleaned flue-gas discharge	ESP dust	Waste water	Sludge from waste water treatment	Bottom ash ⁽¹⁾ ⁽²⁾
Carbon (%)	98 (+/-2)	< 1	< 1	< 1	1.5 (+/-0.2)
Chlorine (%)	< 1	35	54	< 1	11
Fluorine (%)	< 1	15 (+/-1)	< 1	< 1	84 (+/-1)
Sulphur (%)	< 1	38 (+/-6)	8 (+/-1)	6 (+/-1)	47 (+/-7)
Phosphorus (%)	< 1	17 (+/-1)	< 1	< 1	83 (+/-1)
Iron ⁽³⁾ (%)	< 1	1 (+/-0.5)	< 1	< 1	18 (+/-2)
Copper (%)	< 1	6 (+/-1)	< 1	< 1	94 (+/-1)
Lead (%)	< 1	28 (+/-5)	< 1	< 1	72 (+/-5)
Zinc (%)	< 1	54 (+/-3)	< 1	< 1	46 (+/-3)
Cadmium (%)	< 1	90 (+/-2)	< 1	< 1	9 (+/-1)
Mercury (%)	< 1	30 (+/-3)	< 1	65 (+/-5)	5 (+/-1)

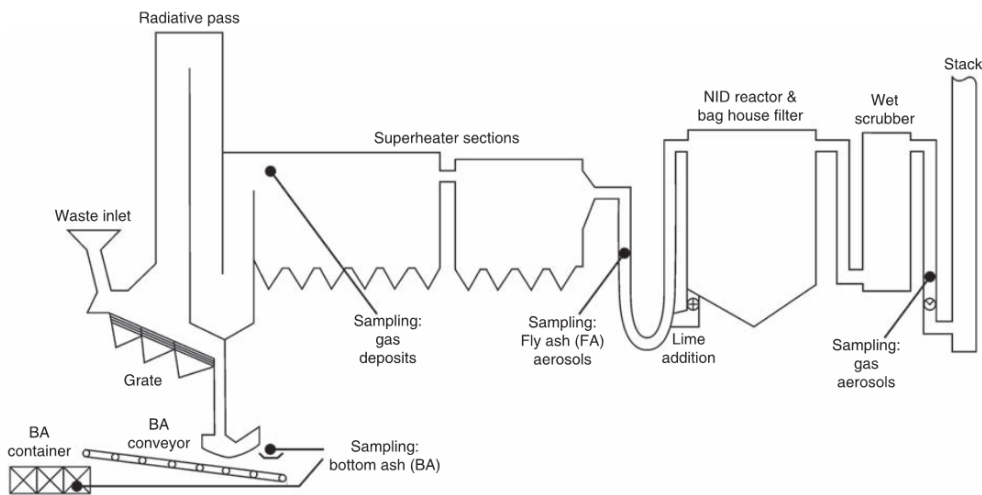
⁽¹⁾ The bio-availability of materials that remain in the bottom ash depends on leachability in situ during subsequent use/disposal.
⁽²⁾ The risk associated with the reuse of bottom ash is not necessarily indicated by the presence or absence of the substances indicated – the chemical and physical form of the substance as well as the nature of the environment where the material will be used are also important. [64, TWG 2003]
⁽³⁾ The remaining approx. 80 % is sorted out as scrap.
Source: [1, UBA 2001], [64, TWG 2003]

Tabel 2 Fordeling af elementer mellem output strømme.¹³

4.1 Målekampagner af flyveaskesammensætninger

4.1.1 Målekampagner på AffaldPlus anlæg i Næstved

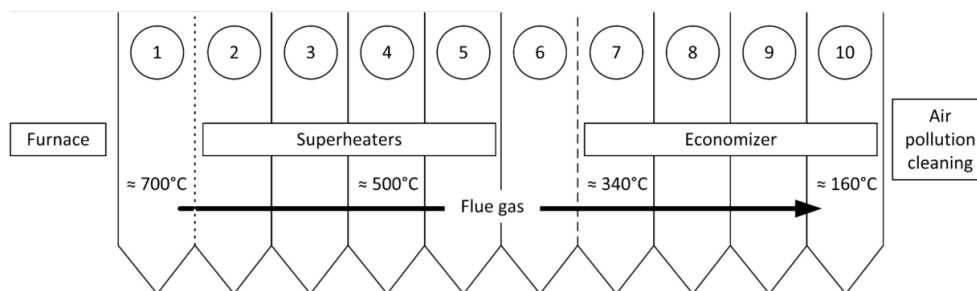
I forbindelse med tidligere PSO-projekter har der været gennemført målekampagner på AffaldPlus ovenlinje 4 i Næstved, som har en indfyret kapacitet på 9,2 tons/time ved en nedre brændværdi på 10,5 GJ/ton, svarende til en indfyret effekt på 27 MW⁴. Skematisk diagram af røggasvejen er vist i nedenstående figur.



Figur 2 Skematisk diagram af Affald Plus fra tilførsel af affald til skorstenen⁵.

AffaldPlus er en ristefyret kedel med "tomme" 2.- og 3. træk. Herefter en horisontal overhedersektion efterfulgt af et semitørt anlæg for fjernelse af sure gasser samt en våd skrubber til yderligere reduktion af koncentrationen af sure gasser.

Ved de gennemførte målekampanjer blev der udtaget prøver 10 steder i de horisontale træk som angivet i nedenstående figur. Der blev ikke udtaget askeprøver fra 2./3.-træk.



Figur 3 Skematisk diagram for horisontal træk³. Den prikkede linje angiver fordampers sektion og den stiplede linje angiver overgang til economizer

Under målekampanjerne blev der målt temperatur fire steder i røggas-trækket som vist på ovenstående figur. Dvs. røggassen køles fra ca. 700 °C til 160 °C hen gennem det horisontale træk.

Der er gennemført prøveudtagning og efterfølgende analyser af kedelaskerne:

- > Prøveudtagning og neddeling til analyseprøve
- > Fordeling af aske mellem de 10 askeudtag

- > Kemiske analyser af elementer
- > Kemiske analyser af elementer i eluat fra udvaskningstest
- > Dioxin analyser

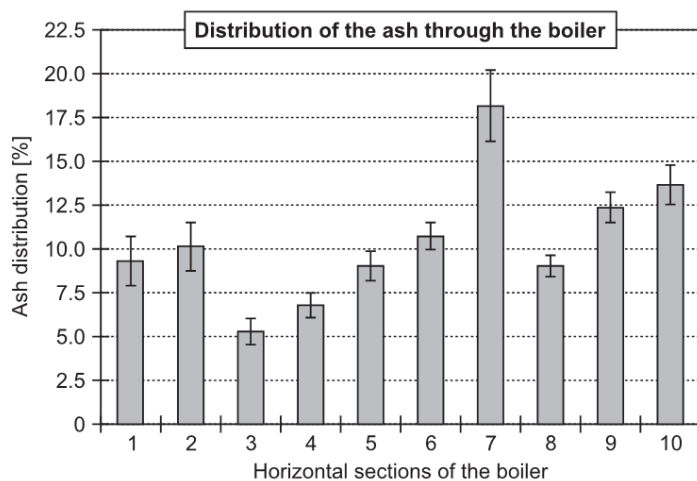
Prøveudtagning og neddeling til analyseprøve

Procedurer for prøveudtagning og neddeling til analyseprøver, for at opnå en repræsentativ analyseprøve, er fulgt. Al aske for en prøveudtagningsperiode blev udtaget og neddelt vha. riffelneddeler mv. (Composite sampling, crushing, representative mass reduction, mixing).

Prøveperioden var begrænset, og der er ikke gennemført variabilitetsanalyse over en længere periode.

Fordeling af aske imellem de 10 askeudtag

Massen af aske over tid fra hvert af de 10 askeudtag blev målt, og den totale kedelaskemængde blev estimeret til 2-3 kg/tons affald⁶. Fordeling af kedelaske mellem de 10 udtag er vist i nedenstående figur. Der blev udtaget prøver hver dag i 3 dage.⁶



Figur 4 Relative fordelingen kedelaske mellem de 10 udtag. Usikkerheden er angivet som $\pm \sigma$ for 3 prøver for 3 dage.⁶

Ovenstående figur viser, at der ikke er så stor forskel mellem askemængden fra de 10 askeudtag gennem den horisontale del af kedlen, og at variationen af udskillelsen af aske ved de forskellige askeudtag for de 3 dage er begrænset.

Kemisk analyse af elementer i kedelasker

Repræsentative askeprøver for de 10 udtag blev analyseret for en række kemiske elementer. Analyseresultater for elementerne er vist i nedenstående tabel.

		Boiler section									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
As	mg/kg	1.7E+02 ± 33%	1.6E+02 ± 33%	1.2E+02 ± 25%	1.1E+02 ± 33%	9.8E+01 ± 31%	9.6E+01 ± 40%	1.2E+02 ± 34%	1.7E+02 ± 29%	1.5E+02 ± 26%	1.7E+02 ± 15%
Ba	mg/kg	1.0E+03 ± 5.5%	1.2E+03 ± 9.9%	1.3E+03 ± 15%	1.4E+03 ± 12%	1.3E+03 ± 6.0%	1.4E+03 ± 17%	1.3E+03 ± 11%	1.2E+03 ± 14%	1.3E+03 ± 8.1%	1.2E+03 ± 8.1%
Be	mg/kg	<0.025 ± -	<0.025 ± -	<0.025 ± -	<0.025 ± -	<0.025 ± -	<0.025 ± -	<0.025 ± -	<0.025 ± -	<0.025 ± -	<0.025 ± -
Cd	mg/kg	5.3E+01 ± 26%	5.4E+01 ± 19%	5.1E+01 ± 31%	4.1E+01 ± 21%	4.8E+01 ± 15%	2.8E+01 ± 12%	6.0E+01 ± 9.2%	1.1E+02 ± 6.7%	8.2E+01 ± 8.8%	8.6E+01 ± 18%
Co	mg/kg	4.1E+01 ± 6.6%	4.5E+01 ± 8.4%	4.7E+01 ± 9.3%	5.2E+01 ± 7.5%	4.9E+01 ± 3.3%	5.3E+01 ± 14%	5.0E+01 ± 6.4%	4.7E+01 ± 7.2%	4.9E+01 ± 2.6%	4.9E+01 ± 2.0%
Cr	mg/kg	4.7E+02 ± 26%	5.1E+02 ± 41%	4.2E+02 ± 34%	5.0E+02 ± 37%	4.2E+02 ± 30%	5.5E+02 ± 32%	4.7E+02 ± 20%	4.3E+02 ± 5.0%	4.1E+02 ± 22%	5.7E+02 ± 35%
Cu	mg/kg	6.4E+02 ± 4.8%	6.6E+02 ± 7.0%	6.4E+02 ± 15%	6.5E+02 ± 12%	6.5E+02 ± 10%	6.2E+02 ± 11%	7.2E+02 ± 10%	9.4E+02 ± 7.8%	8.2E+02 ± 11%	8.4E+02 ± 13%
Hg	mg/kg	<0.01 ± -	1.0E - 02 ± -	<0.01 ± -	<0.01 ± -	<0.01 ± -	1.0E - 02 ± -	2.7E - 02 ± 43%	1.2E - 01 ± 65%	1.7E - 01 ± 39%	3.4E - 01 ± 44%
Mo	mg/kg	3.2E+01 ± 23%	3.5E+01 ± 27%	3.1E+01 ± 16%	3.5E+01 ± 27%	2.8E+01 ± 11%	3.5E+01 ± 30%	3.4E+01 ± 34%	3.2E+01 ± 32%	2.9E+01 ± 34%	2.7E+01 ± 14%
Ni	mg/kg	8.5E+01 ± 9.5%	8.7E+01 ± 5.3%	9.7E+01 ± 6.6%	1.0E+02 ± 9.0%	8.6E+01 ± 15%	9.8E+01 ± 19%	1.1E+02 ± 11%	9.4E+01 ± 3.8%	9.8E+01 ± 14%	9.6E+01 ± 8.8%
Pb	mg/kg	2.5E+03 ± 46%	2.4E+03 ± 17%	1.9E+03 ± 29%	1.3E+03 ± 15%	1.4E+03 ± 19%	5.5E+02 ± 19%	1.1E+03 ± 15%	1.9E+03 ± 3.1%	1.4E+03 ± 6.4%	1.4E+03 ± 11%
S	mg/kg	9.1E+04 ± 19%	7.1E+04 ± 8.2%	4.9E+04 ± 19%	4.2E+04 ± 10%	4.4E+04 ± 19%	3.1E+04 ± 15%	3.8E+04 ± 10%	4.3E+04 ± 1.4%	3.7E+04 ± 6.3%	3.6E+04 ± 7.9%
Sb	mg/kg	5.2E+02 ± 20%	4.9E+02 ± 12%	3.6E+02 ± 15%	3.3E+02 ± 15%	3.6E+02 ± 13%	2.6E+02 ± 16%	3.6E+02 ± 13%	5.5E+02 ± 8.0%	4.8E+02 ± 11%	5.0E+02 ± 12%
Se	mg/kg	3.8E+00 ± 13%	4.4E+00 ± 23%	3.9E+00 ± 10%	3.9E+00 ± 47%	4.2E+00 ± 39%	3.8E+00 ± 19%	4.6E+00 ± 38%	9.0E+00 ± 12%	6.7E+00 ± 13%	8.6E+00 ± 14%
Sn	mg/kg	5.5E+02 ± 23%	5.2E+02 ± 13%	3.9E+02 ± 18%	3.7E+02 ± 13%	4.0E+02 ± 11%	2.8E+02 ± 8.8%	4.4E+02 ± 11%	6.8E+02 ± 5.3%	5.6E+02 ± 4.0%	5.7E+02 ± 5.7%
Sr	mg/kg	5.1E+02 ± 6.7%	5.4E+02 ± 3.0%	5.5E+02 ± 6.5%	5.8E+02 ± 3.5%	5.6E+02 ± 2.8%	6.3E+02 ± 6.1%	5.9E+02 ± 1.6%	5.6E+02 ± 5.0%	5.8E+02 ± 3.2%	5.7E+02 ± 3.8%
V	mg/kg	3.5E+01 ± 5.4%	3.9E+01 ± 5.7%	4.2E+01 ± 11%	4.7E+01 ± 5.4%	4.4E+01 ± 1.0%	4.9E+01 ± 11%	4.5E+01 ± 9.0%	4.2E+01 ± 9.0%	4.4E+01 ± 3.4%	4.2E+01 ± 1.4%
Zn	mg/kg	1.3E+04 ± 24%	1.2E+04 ± 21%	9.9E+03 ± 18%	9.3E+03 ± 22%	9.5E+03 ± 19%	7.8E+03 ± 23%	1.1E+04 ± 20%	1.7E+04 ± 12%	1.4E+04 ± 12%	1.4E+04 ± 13%
Si	g/kg	6.2E+01 ± 10%	7.7E+01 ± 2.0%	9.1E+01 ± 5.6%	1.0E+02 ± 4.5%	9.4E+01 ± 5.9%	1.0E+02 ± 3.2%	9.2E+01 ± 3.6%	8.1E+01 ± 0.91%	8.1E+01 ± 4.6%	7.4E+01 ± 1.7%
Al	g/kg	3.8E+01 ± 13%	4.6E+01 ± 6.2%	5.3E+01 ± 8.6%	5.8E+01 ± 13%	5.4E+01 ± 17%	6.1E+01 ± 5.9%	5.5E+01 ± 11%	4.8E+01 ± 6.7%	5.0E+01 ± 9.8%	4.7E+01 ± 4.3%
Ca	g/kg	2.1E+02 ± 5.4%	2.2E+02 ± 1.7%	2.3E+02 ± 3.0%	2.4E+02 ± 2.7%	2.2E+02 ± 4.3%	2.7E+02 ± 2.7%	2.5E+02 ± 4.5%	2.3E+02 ± 3.2%	2.4E+02 ± 3.3%	2.4E+02 ± 2.5%
Fe	g/kg	1.2E+01 ± 4.0%	1.4E+01 ± 6.6%	1.5E+01 ± 15%	1.7E+01 ± 11%	1.5E+01 ± 6.6%	1.7E+01 ± 18%	1.6E+01 ± 15%	1.5E+01 ± 8.5%	1.5E+01 ± 9.3%	2.4E+01 ± 25%
K	g/kg	5.2E+01 ± 24%	4.8E+01 ± 9.4%	3.5E+01 ± 24%	3.2E+01 ± 12%	3.7E+01 ± 13%	2.5E+01 ± 5.9%	3.5E+01 ± 5.0%	5.2E+01 ± 2.9%	4.3E+01 ± 6.8%	4.2E+01 ± 8.0%
Mg	g/kg	1.7E+01 ± 7.7%	1.8E+01 ± 2.6%	1.9E+01 ± 4.0%	1.9E+01 ± 1.8%	1.8E+01 ± 2.2%	2.1E+01 ± 6.6%	1.9E+01 ± 2.5%	1.9E+01 ± 3.6%	2.0E+01 ± 1.8%	1.9E+01 ± 2.3%
Mn	g/kg	8.3E - 01 ± 5.0%	9.0E - 01 ± 5.6%	9.0E - 01 ± 9.4%	9.7E - 01 ± 7.8%	9.3E - 01 ± 4.1%	1.0E+00 ± 15%	9.5E - 01 ± 10%	9.5E - 01 ± 8.1%	9.7E - 01 ± 3.9%	9.9E - 01 ± 5.3%
Na	g/kg	4.2E+01 ± 21%	4.0E+01 ± 5.3%	3.1E+01 ± 18%	3.0E+01 ± 5.9%	3.3E+01 ± 7.1%	2.6E+01 ± 3.8%	3.3E+01 ± 4.3%	4.4E+01 ± 2.4%	3.7E+01 ± 3.3%	3.6E+01 ± 4.8%
P	g/kg	9.1E+00 ± 12%	9.9E+00 ± 7.9%	1.0E+01 ± 8.3%	1.1E+01 ± 11%	1.1E+01 ± 13%	1.2E+01 ± 7.3%	1.1E+01 ± 11%	1.1E+01 ± 6.4%	1.1E+01 ± 12%	1.1E+01 ± 14%
Ti	g/kg	9.6E+00 ± 9.4%	1.1E+01 ± 1.8%	1.2E+01 ± 2.0%	1.4E+01 ± 2.7%	1.3E+01 ± 6.4%	1.4E+01 ± 2.5%	1.3E+01 ± 4.2%	1.2E+01 ± 2.1%	1.2E+01 ± 4.9%	1.2E+01 ± 4.1%
Cl	mg/kg	5.2E+04 ± 5.1%	5.1E+04 ± 14%	4.0E+04 ± 8.6%	3.8E+04 ± 14%	3.6E+04 ± 3.0%	3.8E+04 ± 9.2%	4.8E+04 ± 12%	7.8E+04 ± 5.6%	7.5E+04 ± 9.5%	8.0E+04 ± 9.5%

Tabel 3 Kemisk sammensætning af kedelasker fra position 1-10, baseret på 3 prøver for 3 dage.⁶

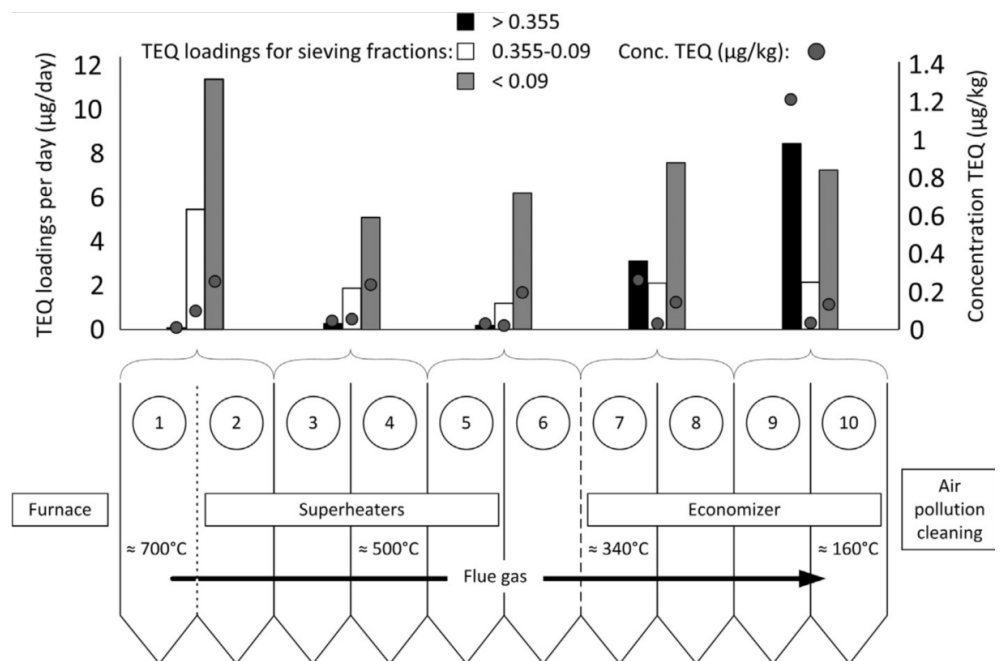
Ovenstående tabel viser, at indholdet af letopløselige alkali-metaller (Na og K) på massebasis ligger i intervallet 5-10 %, klorid-indholdet 4-8 % og sulfat-indholdet 9-27 %. Indholdet af zink ligger i intervallet 0,8-1,7 % og indholdet af bly i intervallet 0,11-0,25 %. Der kan være en faktor 2-3 i forskel i koncentration for elementer ved de 10 prøveudtag, men ikke en markant ændring i koncentration der vil bevirke en anden vurderingen af muligheden for genanvendelse af flyveasken for den specifikke kedelaskefraktion. Eneste undtagelse er kviksølv, hvor kviksølv er under detektionsgrænsen i overheder-sektionen og med en højere koncentration i economizer-sektionen. Dette skyldes sandsynligvis den højere røggastemperatur og kviksølvs relative høje damptryk.

Kemiske analyser af elementer i eluat fra udvaskningstest

Kemiske analyser ved udvaskningstest er beskrevet i afsnittet: "Sammenligning af udvaskningstest af flyveaske med krav i restproduktbekendtgørelsen".

Dioxin analyser

Der blev gennemført dioxinanalyser på askeprøver fra hhv. udtag 1+2, 3+4, 5+6, 7+8 og 9+10. De totale dioxin-indhold i askerne for den enkelte dag og koncentrationerne af dioxin i askerne er vist i nedenstående figur.



Figur 5 Total dioxinindhold i kedelaskeudtagene pr. dag (primær y-akse) samt koncentrationerne af dioxin i kedelaskeudtagene (sekundær y-akse).

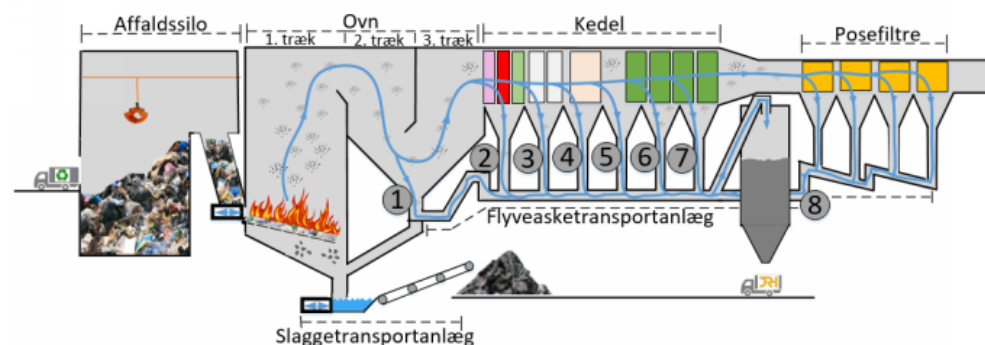
For vurdering af hvorvidt indholdet af dioxin bevirker, at flyveasken skal karakteriseres som farligt affald, er det angivet i Bekendtgørelse om affald¹⁴, at affald

karakteriseres som farligt affald, hvis indholdet af dioxin er højere end 15 µg/kg. Da dioxinindholdet i askerne er væsentlig lavere end 15 µg/kg, er det ikke dioxin-indholdet, der bevirker, at askerne skal karakteriseres som farligt affald.

4.1.2 Målekampagner på ARGO i Roskilde

Der er gennemført målekampagne på ovn 6 på ARGO's affaldsenergianlæg i Roskilde. Ovn 6 har en indfyret kapacitet på 81,3 MW svarende til 25 ton/h affald med en brændværdi på 11,7 GJ/tons³⁰.

ARGO's anlæg er skitseret nedenfor



Figur 6 Skematisk diagram af affaldssilo, ovn, kedel og posefiltre.¹

I ovenstående figur er vist affaldssiloen, 1. træk med risten i bunden, 2. og 3.-træk samt horisontale røggastræk i kedel med overhederne først, efterfulgt af economizerdelen. Til sidst i røggastrækket er posefiltrene vist. Anlægget er forsynet med vådt anlæg til fjernelse af sure gasser³⁰.

I målekampagnen blev der udtaget aske i bunden af 2./3.-træk, i overhedersektionen i kedlen samt fra economizerdelen, og fra posefiltrene. De 8 prøvesteder er skitseret på ovenstående figur.

Der blev udtaget aske over 10 dage med 2 delprøver om dagen for hver af de 8 prøvesteder, vist i ovenstående figur, for at få en repræsentativ gennemsnitsprøve. Hver delprøve var på ca. 0,5 kg og blev udtaget over ca. 1 time.

Den samlede prøvemængde over 10 dage for de 8 prøvetagningssteder blev homogeniseret og neddelte til repræsentative prøver af FORCE Technology. De repræsentative prøver fra de 8 prøvetagningssteder blev analyseret vha. "Energy dispersive X-ray fluorescence"-analyse (ED-XRF).

Resultaterne af analyserne på de 8 prøver er vist i nedenstående tabeller. Grøn markering angiver minimum-indholdet og rød markering angiver maksimum-indholdet for hvert element i de 8 prøver.

Z	Symbol	Element	Konc.	1	2	3	4	5	6	7	8	Minimum	Maksimum	Amaksmin
11	Na	Natrium	%	1,7	0,8	2,7	2,5	2,7	3,6	6,3	8,7	0,8	8,7	7,9
12	Mg	Magnesium	%	1,3	0,92	0,82	1,3	1,1	1	1,2	0,23	0,23	1,3	1,07
13	Al	Aluminium	%	2,5	1,6	1,6	2,3	2,3	2,1	2,3	0,99	0,99	2,5	1,51
14	Si	Silicium	%	6,9	3,7	4,3	5,3	4,6	4	4,4	1,9	1,9	6,9	5
15	P	Fosfor	%	0,59	0,82	0,74	0,66	0,9	0,68	0,89	0,67	0,59	0,9	0,31
16	S	Svovl	%	4,1	11,2	9,4	6,8	7,2	7,3	7,2	6,5	4,1	11,2	7,1
17	Cl	Klor	%	1,2	2,5	1,9	4,1	4,5	5,8	5,7	13	1,2	13	11,8
19	K	Kalium	%	1,2	3,4	5,5	2,5	3,5	4,5	4	10	1,2	10	8,8
20	Ca	Calcium	%	27	24,3	18,2	26,6	24,9	23,3	24,4	7,9	7,9	27	19,1
22	Ti	Titan	%	1,1	0,67	0,66	0,93	0,9	0,85	0,86	0,24	0,24	1,1	0,86
23	V	Vanadium	%	0,01	0,008	0,005	0,006	0,014	0,015	0,012	0,01	0,005	0,015	0,01
24	Cr	Krom	%	0,06	0,048	0,043	0,057	0,064	0,068	0,066	0,04	0,04	0,066	0,026
25	Mn	Mangan	%	0,1	0,093	0,072	0,11	0,12	0,11	0,11	0,03	0,03	0,12	0,09
26	Fe	Jern	%	2,2	1,7	1,6	2,2	2,1	1,8	2,6	0,99	0,99	2,6	1,61
Z	Symbol	Element	Konc.	1	2	3	4	5	6	7	8	Minimum	Maksimum	Amin-maks
27	Co	Kobolt	µg/g	40	70	30	90	60	50	90	30	30	90	60
28	Ni	Nikkel	µg/g	140	160	170	170	170	190	200	160	140	200	60
29	Cu	Kobber	µg/g	580	790	610	770	860	970	990	2100	580	2100	1520
30	Zn	Zink	µg/g	7800	24000	20000	15000	19000	25000	24000	58000	7800	58000	50200
31	Ga	Gallium	µg/g	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	0
32	Ge	Germanium	µg/g	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	0
33	As	Arsen	µg/g	80	250	280	200	220	380	400	680	80	680	580
34	Se	Selen	µg/g	10	10	10	20	30	40	90	20	10	90	80
35	Br	Brom	µg/g	60	170	140	190	340	660	760	3400	60	3400	3340
37	Rb	Rubidium	µg/g	30	90	120	60	70	100	90	280	30	280	250
38	Sr	Strontium	µg/g	630	530	480	630	610	570	600	250	250	630	380
39	Y	Yttrium	µg/g	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	0
40	Zr	Zirkon	µg/g	150	250	260	260	310	280	240	40	40	310	270
41	Nb	Niob	µg/g	20	100	20	20	14	100	20	10	10	100	90
42	Mo	Molybdæn	µg/g	10	20	20	20	130	100	20	20	10	130	120
47	Ag	Sølv	µg/g	10	70	50	20	80	70	60	50	10	80	70
48	Cd	Cadmium	µg/g	30	190	180	110	160	200	170	510	30	510	480
Z	Symbol	Element	Konc.	1	2	3	4	5	6	7	8	Minimum	Maksimum	Amin-maks
49	In	Indium	µg/g	10	50	50	10	50	50	40	20	10	50	40
50	Sn	Tin	µg/g	150	530	960	410	540	780	680	2000	150	2000	1850
51	Sb	Antimon	µg/g	190	680	1200	510	650	990	950	2200	190	2200	2010
52	Te	Tellur	µg/g	10	30	10	10	30	10	10	10	10	30	20
53	I	Jod	µg/g	10	40	30	10	10	40	40	160	10	160	150
55	Cs	Cesium	µg/g	10	20	10	20	10	10	10	10	10	20	10
56	Ba	Barium	µg/g	1600	1100	1100	1400	1300	1200	1200	650	650	1600	950
57	La	Lanthan	µg/g	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	0
58	Ce	Cerium	µg/g	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	0
74	W	Wolfram	µg/g	30	50	20	50	50	50	50	90	20	90	70
80	Hg	Kviksølv	µg/g	10	10	20	20	30	10	20	10	10	30	20
81	Tl	Thalium	µg/g	10	10	20	20	30	30	20	20	10	30	20
82	Pb	Bly	µg/g	630	4900	9400	1900	2200	2800	2400	9900	630	9900	9270
83	Bi	Bismut	µg/g	30	130	210	90	160	220	180	240	30	240	210
90	Th	Thorium	µg/g	10	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	20	10	20	10

Tabel 4 Element-analyser i de 8 askeprøver fra ARGOs anlæg¹.

Den umiddelbare vurdering af resultaterne i ovenstående tabeller for elementanalyserne fra ARGO's anlæg¹ er, at aske fra 2./3. træk og filterasken oftere indeholder maximum- og minimumværdier for de enkelte elementer. Askeanalyserne for position 2 til 7 er i god overensstemmelse med resultaterne fra Affald-Plus, hvor aske fra 2./3. træk ikke blev opsamlet (AffaldPlus har et semi-tørt anlæg, og har derfor ikke separat posefilter).

Indholdet af letopløselige alkali-klorider og sulfater i askerne ligger i koncentrationsintervallerne: Na (0,8 – 8,7 %), K (1,2 – 10 %), Cl (1,2 – 13 %) og S (4,1 – 11,2 %). Der ses en tydelig temperaturafhængighed af indholdet af klor fra position 1 til 10. Koncentrationen af kalium er dobbelt så højt i filterasken som i askerne fra position 1-7 og calcium-koncentrationen er reduceret med en faktor 3 i forhold til de øvrige asker. Repræsentativ prøveudtagning og neddeling af prøvemængden til analyseprøve, er meget vigtigt for opnåelse af repræsentative analyseresultater.

Indholdet af udvalgte elementer i askerne ligger i intervallerne: zink (0,8 – 5,8 %), Pb (0,06 – 1 %), Cr (0,04 – 0,066 %).

Mht. mulig nyttiggørelse af kedelaskerne er det både indholdet af letopløselige alkaliklorider, sulfater og tungmetaller, som kan give udfordringer.

5 Afsætningsmuligheder for flyveasken

Genanvendelse og nyttiggørelse af flyveaske fra affaldsenergianlæg er udfordret af at det er farligt affald. Årsagen til at flyveasken karakteriseres som farligt affald kan findes i Bekendtgørelse om affald¹⁴, idet affald karakteriseres som farligt affald hvis det udviser en eller flere af egenskaberne HP 1 til HP 15 beskrevet i bilag 3¹⁴.

Det er ikke tilladt at sammenblende farligt affald med ikke-farligt affald, og opnå en fortyndingseffekt hvorved det samlede produkt karakteriseres som ikke-farligt affald, medmindre der er givet miljøgodkendelse til dette¹⁴.

"Virksomheder, som frembringer eller håndterer farligt affald, skal sikre, at farligt affald ikke fortyndes eller blandes med andet farligt affald eller blandes med ikke-farligt affald, hvis der ikke er givet tilladelse hertil i medfør af lov om miljøbeskyttelse eller regler udstedt i medfør heraf"¹⁴.

Der er åbnet mulighed for nyttiggørelse af affald hvis indholdet af persistente miljøgifte (POP) er lavere end koncentrationsgrænserne i bilag IV¹⁵ (15 µg/kg for dioxin).

I Affaldsdirektivet er angivet at:

»behandling«: nyttiggørelses- eller bortskaffelsesoperationer, der omfatter forberedelse forud for nyttiggørelse eller bortskaffelse

»nyttiggørelse«: "enhver operation, hvis hovedresultat er, at affald opfylder et nyttigt formål ved at erstatte anvendelsen af andre materialer, der ellers ville være blevet anvendt til at opfylde en bestemt funktion, eller som er forberedt med henblik på at opfylde den bestemte funktion i anlægget eller i samfundet generelt. Bilag II indeholder en ikke-udtømmende liste over nyttiggørelsesoperationer". I bilag II er bl.a. angivet:

- > R 5 Genanvendelse eller genvinding af andre uorganiske stoffer (***)
 (***) Dette omfatter jordrensning, som medfører nyttiggørelse af jorden og genanvendelse af uorganiske byggematerialer.
- > R 10 Spredning på jorden med positive virkninger for landbrug eller miljø
- > R 11 Anvendelse af affald hidrørende fra en af operationerne R 1 til R 10

»bortskaffelse«: enhver operation, der ikke er nyttiggørelse, også hvis operationen som sekundær konsekvens fører til genvinding af stoffer eller til energiudnyttelse. Bilag I indeholder en ikke-udtømmende liste over bortskaffelsesoperationer. I bilag II er bl.a. angivet:

- > D 1 Deponering på eller i jorden (f.eks. deponeringsanlæg)

- > D 5 Deponering på specielt indrettet deponeringsanlæg (f.eks. placering i vandtætte, tildækkede rum, der er adskilt indbyrdes og isoleret fra det omgivende miljø)
- > D 9 Fysisk-kemisk behandling, ikke andetsteds specificeret i dette bilag, som resulterer i forbindelser eller blandinger, der bortskaffes ved en af de i D 1 til D 12 omhandlede operationer (f.eks. fordampning, tørring og kalcinering)
- > D 12 Permanent oplagring (f.eks. placering af beholdere i en mine)
- > D 13 Blanding forud for en af de i D 1 til D 12 omhandlede operationer(**), (**) Hvis der ikke er nogen anden relevant D-kode, kan dette omfatte indledende operationer forud for bortskaffelse, herunder forbehandling så som bl.a. sortering, knusning, sammenpresning, pelletering, tørring, neddeling, konditionering, eller adskillelse inden gennemførelse af en af operationerne D 1 til D 12.

De i ovenstående angivne muligheder for nyttiggørelse og bortskaffelse er ikke udtømmende.

I Bekendtgørelse om deponeringsanlæg¹⁶ er der angivet en række krav, som skal være opfyldt for deponeringsanlæg med henblik på at undgå at bringe kvaliteten af grundvand og overfladevandområder (marint eller fersk) i fare.

For etablering af et deponeringsanlæg kræves en miljøkonsekvensvurdering, hvor bl.a. de maksimale koncentrationer i grundvandet er angivet¹⁶, samt angivelse at overskridelser af miljøkvalitetskrav for overfladevandområder ikke vil ske (uden for en evt. blandingszone).

I Deponeringsbekendtgørelsen klassificeres affaldet. For deponeringsanlæg er der fire klasser for farligt affald; FA0, FA1, FA2 og FA3. For affaldsklasse FA3 er der i nedenstående tabel angivet grænseværdier for udvaskningstest.

Grænseværdier for udvaskning fra affald til deponering på kystnære deponeringsanlæg for farligt affald i Klasse FA2 - dvs. med »0,16 ≤ Anlægsfaktor < 0,31«.

Stof/Parameter	Grænseværdi, L/S = 2 l/kg ¹⁾ (mg/kg TS)	Grænseværdi, L/S = 10 l/kg ¹⁾ (mg/kg TS)	Grænseværdi for C ₀ ¹⁾ (mg/l)
Sporelementer/metaller			
Arsen (As)	6,0	25	3,0
Barium (Ba)	100	300	60
Cadmium (Cd)	3,0	5,0	1,70
Krom total (Cr)	12	35	7,0
Kobber (Cu)	30	70	20
Kviksølv (Hg)	0,50	2,0	0,30
Molybdæn (Mo)	20	30	10
Nikkel (Ni)	20	40	12
Bly (Pb)	25	50	15
Antimon (Sb)	2,0	5,0	1,0
Selen (Se)	4,0	7,0	3,0
Zink (Zn)	90	200	60
Salte og DOC			
Klorid (Cl ⁻)	17.000	25.000	15.000
Fluorid (F ⁻)	200	500	120
Sulfat (SO ₄ ⁻²)	25.000	50.000	17.000
DOC ²⁾	480	1.000	320

¹⁾ Grænseværdier angivet med »fed« og »kursiv« skrifttype er sammenfaldende med grænseværdierne for deponering af farligt affald i EU-Rådsbeslutningen (2003/33/EF).

²⁾ Hvis affaldet ikke opfylder disse værdier for opløst organisk kulstof (DOC) i testen uden styring af pH, kan det som alternativ testes ved L/S = 10 l/kg og en fastholdt pH-værdi på mellem 7,5 og 8,0. Affaldet anses for at opfylde modtagelseskriterierne for DOC, hvis resultatet af denne prøve ikke overstiger 1.000 mg/kg.

Tabel 5¹⁶

Grænseværdier for udvaskning fra affald til deponering på kystnære deponeringsanlæg for farligt affald i Klasse FA3 - dvs. med »0,31 ≤ Anlægsfaktor ≤ 1,0«.

Stof/Parameter	Grænseværdi, L/S = 2 l/kg ¹⁾ (mg/kg TS)	Grænseværdi, L/S = 10 l/kg ¹⁾ (mg/kg TS)	Grænseværdi for C _o ¹⁾ (mg/l)
Sporelementer/metaller			
Arsen (As)	6,0	25	3,0
Barium (Ba)	25	75	15
Cadmium (Cd)	3,0	5,0	1,70
Krom total (Cr)	3,5	10	2,5
Kobber (Cu)	25	55	17
Kviksølv (Hg)	0,50	2,0	0,30
Molybdæn (Mo)	20	30	10
Nikkel (Ni)	20	40	12
Bly (Pb)	25	50	15
Antimon (Sb)	1,0	3,5	0,6
Selen (Se)	4,0	7,0	3,0
Zink (Zn)	90	200	60
Salte og DOC			
Klorid (Cl ⁻)	17.000	25.000	15.000
Fluorid (F ⁻)	200	500	120
Sulfat (SO ₄ ²⁻)	25.000	50.000	17.000
DOC ²⁾	480	1.000	320

1) Grænseværdier angivet med »fed« og »kursiv« skrifttype er sammenfaldende med grænseværdierne for deponering af farligt affald i EU-Rådsbeslutningen (2003/33/EF).

2) Hvis affaldet ikke opfylder disse værdier for opløst organisk kulstof (DOC) i testen uden styring af pH, kan det som alternativ testes ved L/S = 10 l/kg og en fastholdt pH-værdi på mellem 7,5 og 8,0. Affaldet anses for at opfylde modtagelseskriterierne for DOC, hvis resultatet af denne prøve ikke overstiger 1.000 mg/kg.

Tabel 6¹⁶

Ovenstående grænseværdier for udvaskning fra affald på kystnære deponeringsanlæg er ikke tilstrækkeligt for en miljøkonsekvensvurdering, der kan tage udgangspunkt i "Bekendtgørelse om fastlæggelse af miljømål for vandløb, søer, overgangsvande, kystvande og grundvand"¹⁷, hvor der er angivet både EU og nationale miljøkvalitetskriterier for vandfasen for beskyttelse af mennesker og biota. Der er fastsat "generelle miljøkvalitetskrav", som har til formål at beskytte imod langtidseksposering for miljøfremmede stoffer. For overholdelse af "generelle miljøkvalitetskrav" vurderes dette på baggrund af års-middel koncentrationer og udledningsmængder for spildevandet, samt tilsvarende for recipienten. Der er desuden fastsat "maksimale miljøkvalitetskrav", som har til formål at beskytte imod akut toksisk korttidseksposering af miljø-fremmede stoffer.

I "Bekendtgørelse om krav til udledning af visse forurenende stoffer til vandløb, søer, overgangsvande, kystvande og havområder"¹⁸ er angivet at Miljømyndigheden fastsætter vilkår i tilladelser, godkendelser eller påbud, som sikrer, at udledninger ikke medfører overskridelse af grænseværdier i vandløb, søer, overgangsvande, kystvande eller havområder af miljøkvalitetskravene¹⁷. Miljømyndigheden kan udpege blandingszoner omkring udledningspunkter¹⁸. Koncentrationerne af et eller flere af de stoffer, som der er angivet

miljøkvalitetskrav¹⁷ for, kan overskride de relevante miljøkvalitetskrav inden for sådanne blandingszoner.

Miljøkvalitetskrav for overfladevand¹⁷ er yderst restriktive og kan betyde f.eks. etablering af afværgepumpning og rensning af perkolat ved deponeringsanlæg, før udledning til recipient. Desuden kan være påkrævet at der udlægges en blandingszone ved udløb til recipient, hvorved miljøkvalitetskravene er opfyldt uden for blandingszonen¹⁸.

Udvaskningstest (Tabel 11) viser at grænseværdierne ikke kan overholdes for kedelasker mht. specielt krom og klor. Det vil derfor kræve en forbehandling af askerne for at kunne overholde kravene i Deponeringsbekendtgørelsen¹⁶.

5.1 Overordnet vurdering af nyttiggørelse af flyveaske fra affaldsenergianlæg i industriprodukter

Flyveaske fra affaldsenergianlæg er kategoriseret som farligt affald og nyttiggøres som tidligere beskrevet i hhv. Norge og Tyskland.

I en review artikel²⁶ er mulige anvendelsesmuligheder af flyveaske fra affaldsenergianlæg vurderet. Den teknologiske status er angivet, samt begrænsninger i anvendelsesmulighederne. Dette er illustreret i nedenstående figur.



Figur 7 Illustration af anvendelsesmuligheder for flyveaske fra affaldsenergianlæg. Teknisk status og begrænsninger er angivet.²⁶

I EU skal EU direktiverne som er implementeret i national lovgivning overholdes. Selvom disse regler skal anvendes af alle medlemslande, kan stater vedtage deres egen individuelle lovgivning inden for disse rammer, så længe det er i overensstemmelse med EU-lovgivningen. For anvendelsen af slagge som sekundært råmateriale i byggesektoren (enten som ufarligt eller som farligt affald) findes der imidlertid ingen harmoniseret testmetode og tilhørende grænseværdier på EU-niveau, og landene har udviklet deres egne regler. Derfor varierer kravene til udnyttelse betydeligt mellem landene.³²

I nedenstående undersøges anvendelsesmuligheder for flyveaske til cementproduktion, betonproduktion samt til veje og anlæg nærmere. Ved nyttiggørelse af flyveaske, eller fraktioner der fremkommer ved behandling af flyveaske, i byggeindustrien, vil der ske en fortynding af flyveasken, og flyveasken vil sandsynligvis spredes til mange lokationer. Hvis f.eks. flyveasken benyttes i cement eller ved direkte tilsætning i beton, vil byggematerialerne indeholde disse produkter. På sigt vil betonen formentligt blive knust/neddelt og genanvendt i andre (nye) betonkonstruktioner og derved spredt endnu mere. Analyser af knust beton uden tilsætning af flyveaske viser, at de overholder hvad der svarer til kategori 1²⁷ i bekendtgørelse om anvendelse af restprodukter, jord og sorteret bygge- og anlægsaffald⁷. Hvis flyveaskeelementer

introduceres i beton, kan man risikere at knust beton blandet med endnu mere flyveaske, ikke umiddelbart svarer til kategori 1 i fremtiden.

I denne rapport er der ikke gennemført en egentlig vurdering af sundhedsrisici ved anvendelse af flyveaskefraktioner i byggeindustrien, men alene en overordnet vurdering om muligheder for anvendelse af fraktioner indenfor byggeindustrien, baseret på overholdelse af kvalitetskrav for produkter ved tilsætning af flyveaske.

Bekendtgørelse om anvendelse af restprodukter, jord og sorteret bygge- og anlægsaffald omfatter ikke anvendelse af restprodukter, jord og bygge- og anlægsaffald, der er klassificeret som farligt affald efter bekendtgørelse om affald.⁷

5.1.1 Mulighed for anvendelse af flyveaske i cementproduktion

Cement anvendes i produktion af beton og i Danmark produceres cement på virksomheden Aalborg Portland ved Ålborg havn.

Cement er et hydraulisk bindemiddel, dvs. et fint-formalet, uorganisk materiale, som blandet med vand danner en pasta, som afbinder og hærdner ved hydratiseringsreaktioner og -processer, og som efter hærdningen bevarer sin styrke og stabilitet selv under vand¹⁹.

Der er fastsat kvalitetskrav til cement¹⁹ hvori det er beskrevet at ved passende dosering af tilslagsmaterialer og vand, samt efterfølgende blanding, være i stand til at danne beton eller mørtel, som bibeholder sin bearbejdelighed i en tilstrækkelig lang tidsperiode, og skal efter et afgrænset tidsforløb opnå foreskrevne styrkeniveauer samt besidde langtidsvolumenbestandighed.

Portland cementklinker fremstilles ved sintring af en nøje fastsat blanding af råmaterialer (råmel, pasta eller slam), som indeholder grundstoffer, normalt udtrykt som oxider (CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃) og små mængder af andre stoffer¹⁹. Dvs. de "værdifulde" elementer i flyveasken i forhold til cementproduktion er aluminium og jern.

Valg af cement fra EN 197-1¹⁹, især mht. type og styrkeklasse til forskellige anvendelser og miljøklasser skal følge relevante standarder og/eller retningslinjer for beton og mørtel med gyldighed på brugsstedet. Nedenfor er angivet krav til kemiske egenskaber¹⁹.

1	2	3	4	5
Egenskab	Prøvnings metode	Cementtype	Styrke klasse	Krav ^a masse-%
Glødetab	EN 196-2	CEM I CEM III	alle	≤ 5,0 %
Uopløselig rest	EN 196-2 ^b	CEM I CEM III	alle	≤ 5,0 %
Sulfat som SO ₃	EN 196-2	CEM I CEM II ^c	32,5 N 32,5 R 42,5 N	≤ 3,5 %
		CEM IV CEM V	42,5 R 52,5 N 52,5 R	≤ 4,0 %
		CEM III ^d	alle	
Chlorid	EN 196-21	alle ^e	alle	≤ 0,10 % ^f
Puzzolanitet	EN 196-5	CEM IV	alle	Opfylder prøvningen

^a Kravene er udtrykt ved masse-% for den færdige cement.
^b Den uopløselige rest bestemmes i saltsyre og natriumkarbonat.
^c Cementtype CEM II/B-T må indeholde op til 4,5 % sulfat i alle styrkeklasser.
^d Cementtype CEM III/C må indeholde op til 4,5 % sulfat.
^e Cementtype CEM III må indeholde mere end 0,10 % chlorid. Såfremt det er tilfældet, skal det maksimale chlorid-indhold angives på sækken og/eller følgesedlen.
^f Cement, der skal anvendes til forspændte betondele, kan produceres med krav om en lavere værdi. Hvis det er tilfældet skal 0,10 % erstattes med denne lavere værdi, som skal angives på følgesedlen.

Tabel 7 Krav til kemiske egenskaber¹⁹.

Dvs. for alle cementtype CEM I-IV må indholdet af klorid ikke værre højere end 0,1 %. Dette krav er en udfordring ved anvendelse af flyveaske fra affaldsenergianlæg direkte i cementproduktionen. For cement, der anvendes til beton i andre eksponeringsklasser end X0 og XC1, skal cementens alkaliindhold klassificeres iht. DS/INF 135²¹. DS/INF 135²⁰ anvendes i tilknytning til DS/EN197¹⁹ og der angives bl.a. krav til sulfatbestandighed og alkaliindhold. Cementen skal mærkes i henhold til alkali-indholdet:

- > EA: Ekstra lavt alkali-indhold (<0,4 %)
- > LA: Lavt alkali-indhold (<0,6 %)
- > MA: Moderat alkali-indhold (<0,8 %)
- > HA: Højt alkali-indhold. (>0,8 %)
- > Alkali-indholdet i cement er defineret som indholdet af ækvivalent syreopløseligt Na₂O, beregnet som²⁰:
- > Na₂O_{ækv} masse-% = Na₂O_{ækv} masse-% + 0,658 * K₂O_{ækv} masse-%

Umiddelbart vurderes det, at det vil ikke vil være muligt at tilføre flyveaske fra affaldsenergianlæg i cementproduktion selv, ved lavt relativt indhold i råvaretilførslen. Dette skyldes det høje indhold af alkaliklorider i asken.

Alkalimetall-klorider og -sulfater er letopløselige, og en vaskeproces vil kunne udvaske disse elementer fra den uopløselige askefraktion²². Vandfasen vil sandsynligvis skulle renses for tungmetaller før udledning, og de faste fraktioner vil

skulle analyseres nærmere med henblik på nyttiggørelse i cementproduktion. Vurdering af, hvorvidt disse fraktioner kan anvendes til cementproduktion, bør undersøges nærmere i efterfølgende faser, da dette ikke er indeholdt i denne rapport (Fase 1).

5.1.2 Mulighed for anvendelse af flyveaske i betonproduktion

I forbindelse med betonfremstilling er der mulighed for tilsætning af specifikke flyveaske, hvor den kemiske sammensætning og størrelsen af mængder, der kan tilsættes, er angivet:

- > Kulflyveaske – 100 % kulforbrænding²³
- > Kulflyveaske – max. 20% tilsatsfyring med halm²⁴
- > Biokulflyveaske – kulflyveaske (eller kul) er anvendt som brændselsadditiv ved forbrænding af træpiller²¹
- > Bioaske – Forbrænding af spildevandsslam²¹

De specifikke standarder, som der henvises til i ovenstående liste, er fremkommet efter gennemførelse af en række verifikationstest af betonkvaliteten ved tilsætning af de specifikke asker nævnt ovenfor. Verifikationstestene har været udført af Teknologisk Institut²⁵.

Biokulflyveaske består især af SiO_2 og Al_2O_3 , og har puzzolaegenskaber, hvorfor den er defineret som en type II-tilsætning iht. EN206. Biokulflyveaske består af mindst 65% kulflyveaske på tør masse-basis. For biokulflyveaske er der angivet følgende krav til askesammensætningen²¹:

Egenskab	Krav	Prøvningsmetode
Glødetab/restkul	< 5,0 %	Som angivet i EN 450-1:2012
Chlorid (Cl ⁻)	≤ 0,2 %	
Svovl (SO ₃)	≤ 3,0 %	
Fri calciumoxid (Fri CaO) ¹⁾	≤ 1,5 %	
Calciumoxid (CaO)	≤ 15,0 %	
Finhed + 0,045 mm	≤ 40 ± 10 %	
Aktivitetsindeks, 28 døgn	≥ 75 %	
Aktivitetsindeks, 90 døgn	≥ 85 %	
Volumenbestandighed ²⁾	≤ 10 mm	
Partikeldensitet	2 400 ± 200 kg/m ³	
Reaktivt siliciumdioxid (Reaktivt SiO ₂)	≥ 25 %	
Sum SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃	≥ 70 %	
Total alkali (Na ₂ O ^{-ækv})	≤ 5,0 %	
Magnesiumoxid	≤ 4,0 %	
Total fosfat	≤ 5 %	
Opløseligt fosfat	≤ 100 mg/kg	
Afbindingstid	≤ 100 % testcement × 2	
¹⁾ Kravgrænsen kan overskrides, såfremt kravet til volumenbestandighed dokumenteres overholdt. ²⁾ Volumenbestandighed skal kun bestemmes, såfremt Fri CaO overskrider 1,5 %.		

Tabel 8 Kemiske krav til biokulflyveaske.

Kravværdier for kemiske egenskaber som angivet i ovenstående tabel skal ligeledes overholdes for bioaske²¹.

Flyveaske fra affaldsenergianlæg har betydelig højere koncentration af klorid end angivet i kvalitetskrav for biokulflyveaske. Indholdet af de "gode" elementer" i forhold til betonproduktion som SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃" er desuden lavere i flyveaske fra affaldsenergianlæg end angivet som krav for biokulflyveaske.

En eventuel forbehandling i form af udvaskning af letopløselige klorider fra flyveasken fra affaldsforbrændning vil muligvis kunne løse de rent kemiske krav, men kravet til reaktivt SiO₂ og indhold af CaO vil være udfordret.

Mere detaljeret undersøgelser kræves for at afdække muligheder og begrænsninger for anvendelse af behandlet flyveaske i beton.

5.1.3 Mulighed for anvendelse af flyveaske til veje og anlæg

Bekendtgørelse om anvendelse af restprodukter, jord og sorteret bygge- og anlægsaffald⁷ giver mulighed for nyttiggørelse af slagge fra affaldsenergianlæg.

Det står anført i bekendtgørelsen i bilag 1, at den omfatter "Slagger fra affaldsforbrændning: Den rest fra forbrændning af affald, der opsamles fra bunden af forbrændingskammeret ..."7. I Affaldsforbrændingsbekendtgørelsen²⁹ er det anført, at der skal måles temperatur i efterforbrændingskammer (EBK) til dokumentation for en opholdstid over 850 °C i mindst 2 sekunder. Hvis aske fra 2./3. træk

blandes med slaggen fra risten, er det uklart om dette produkt er omfattet af Restproduktbekendtgørelsen.

Restproduktbekendtgørelsen vedr. ikke farligt affald, og man skal være opmærksom på at der kan være udfordringer med dokumentation for, at slaggen ikke er farligt affald²⁷. Udfordringen er speciel mht. fareegenskaben HP14 (økotoksisk) ved klassificering af affaldet. Det er affaldsproducentens ansvar at sikre sig, at deres affald klassificeres, og herunder gennemføre fornødne analyser, beskrivelser m.v. Udover at vurdere affalds økotoksiske egenskaber (HP 14) ud fra stofkoncentrationer og grænseværdier, er det muligt at vurdere affaldets økotoksiske egenskaber ved hjælp af biotests. Hvis affaldets farlige egenskaber er vurderet ud fra både stofkoncentrationer og biotests, skal resultaterne af biotesten gives forrang. Miljøstyrelsen anbefaler, at den enkelte kommune eller affaldsproducent vurderer, hvad der er mest korrekt at gøre i den konkrete sag i forhold til valg af metoder, tests, etc., indtil der evt. kommer vejledning fra Kommissionen herom, eller der opnås erfaring på området, som tilskriver mere præcise krav. Kommunen bør forelægges klassificeringsresultater baseret på tests med henblik på at godkende klassificeringen.³¹

Restprodukter kategoriseres som 1, 2 eller 3 afhængig af indholdsstoffer i faststof og i eluat ved udvaskningstest⁷. Nedenstående tabel angiver restproduktbekendtgørelsens koncentrationskrav for stoffer i faststof og i eluat.

	Kategori 1	Kategori 2	Kategori 3
	Faststofindhold mg / kg TS		
Arsen	0 - 20	> 20	> 20
Bly	0 - 40	> 40	> 40
Cadmium	0 - 0,5	> 0,5	> 0,5
Chrom, total	0 - 500	> 500	> 500
Chrom (VI)	0 - 20	> 20	> 20
Kobber	0 - 500	> 500	> 500
Kviksølv	0 - 1	> 1	> 1
Nikkel	0 - 30	> 30	> 30
Zink	0 - 500	> 500	> 500
	□ Koncentration i eluat µg/l		
Klorid*	0 - 150000	0 - 150000	150000 - 3000000
Sulfat	0 - 250000	0 - 250000	250000 - 4000000
Natrium	0 - 100000	0 - 100000	100000 - 1500000
Arsen	0 - 8	0 - 8	8 - 50
Barium	0 - 300	0 - 300	300 - 4000
Bly	0 - 10	0 - 10	10 - 100
Cadmium	0 - 2	0 - 2	2 - 40
Chrom, total	0 - 10	0 - 10	10 - 500
Kobber	0 - 45	0 - 45	45 - 2000
Kviksølv	0 - 0,1	0 - 0,1	0,1 - 1
Mangan	0 - 150	0 - 150	150 - 1000
Nikkel	0 - 10	0 - 10	10 - 70
Selen	0 - 10	0 - 10	10 - 30
Zink	0 - 100	0 - 100	100 - 1500

Tabel 9 Inddeling af restprodukter efter kemisk sammensætning i faststof, og eluat ved udvaskningstest⁷.

Et parti af restprodukter eller jord kategoriseres efter det stof, der giver anledning til den højeste kategori. Dvs. ved høje koncentrationer af miljøfremmede stoffer er det udvaskningstest, der vil være afgørende for, om asken vil kunne placeres i kategori 3.

Restprodukter i kategori 3 kan anvendes uden tilladelse ved bygge- og anlægsarbejder efter anvisninger som angivet i tabel nedenfor.

Bygge- og anlægsarbejde:	Krav ved anvendelse af kategori 3.
Veje	Tæt belægning og bortledning af overfladevand. h maks. 1 m.
Stier	Fast belægning. h maks. 0,3 m.
Ledningsgrave	Fast belægning.
Fundamenter og gulve	h maks. 1 m under bygninger. Jord må ikke kunne give anledning til indeklimaproblemer.

Tabel 10 Bygge- og anlægsarbejder hvortil restprodukter og jord i kategori 3 kan anvendes uden tilladelse⁷.

Forklaring til benævnelser i ovenstående figur:

- > h er den samlede højde af kategori 3 materialer.

- > Tæt belægning: Ved tæt belægning forstås asfalt, beton m.m., der reducerer mængden af vand, der vil perkolere gennem belægningen. Bortledning af overfladevand medfører, at højst 10 % af nedbøren vil komme i kontakt med restprodukt eller jord.
- > Fast belægning: Ved fast belægning forstås asfalt, beton, fliser, minimum 1 m kategori 1 jord m.m. der sikrer mod kontakt.

5.1.4 Sammenligning af udvaskningstest af flyveaske med krav i Restproduktbekendtgørelsen

Flyveaske fra affaldsenergianlæg er farligt affald og kan derfor ikke umiddelbart anvendes i henhold til Restproduktbekendtgørelsen⁷. Dermed vil der skulle gennemføres en biotilgængelighedstest og en miljøkonsekvensvurdering for at få mulighed for anvendelse af flyveaske til veje og anlæg.

Udvaskningstest er en metode til identificering af påvirkning af miljø og grundvand i tilfælde af nedsivning.

I nærværende afsnit fokuseres på den metode, som anvendes i Restproduktbekendtgørelsen⁷ hvor der anvendes L/S=2 l/kg uden pH-regulering af vaskevandet. Kravene i restproduktbekendtgørelsen for udvaskningstest tager udgangspunkt i, at grundvand ikke forurenes, så det kan anvendes til drikkevand. Det er derfor relevant at vurdere muligheden for nyttiggørelse af flyveasken ved tilsvarende udvaskningstest og vurdere dem svarende i forhold til kravene i restproduktbekendtgørelsen.

Der er gennemført udvaskningsforsøg på kedelasker opsamlet på 10 positioner i det vandrette kedeltræk på AffaldPlus⁶. Koncentrationerne af elementerne i eluatet med L/S=2 l/kg er angivet i nedenstående tabel og sammenlignet med krav i Restproduktbekendtgørelsen.

Element		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Krav
Al	mg/kg	0,64	<3*0,14	<3*0,14	0,48	<3*0,14	0,96	<3*0,14	<3*0,14	0,52	0,76	
As	mg/kg	<3*0,028	<3*0,028	<3*0,028	<3*0,028	<3*0,028	<3*0,028	<3*0,028	0,11	0,13	<3*0,028	0,10
Ba	mg/kg	0,36	0,53	0,56	0,56	0,33	1,50	0,87	1,10	1,70	2,30	8,0
Be	mg/kg	0,08	0,07	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,08	0,07	0,06	
Ca	mg/kg	1800	2100	2700	2200	1400	65	3100	3200	5400	7800	
Cd	mg/kg	0,0096	0,0120	0,0077	0,0083	0,0170	0,0066	0,0063	0,0110	0,0110	0,0130	0,0800
Co	mg/kg	<3*0,014	<3*0,014	<3*0,014	<3*0,014	<3*0,014	<3*0,014	<3*0,014	<3*0,014	<3*0,014	<3*0,014	
Cr	mg/kg	21	18	17	17	21	16	20	15	16	12	1,0
Cu	mg/kg	0,046	0,050	0,076	<3*0,014	0,110	<3*0,014	0,059	0,059	0,060	0,043	4,0
Fe	mg/kg	<3*0,014	<3*0,014	<3*0,014	<3*0,014	<3*0,014	<3*0,014	<3*0,014	<3*0,014	<3*0,014	<3*0,014	
K	mg/kg	40000	36000	26000	27000	35000	16000	29000	43000	36000	36000	
Mg	mg/kg	0,42	0,15	0,088	0,095	0,14	0,11	<3*0,028	<3*0,028	<3*0,028	<3*0,028	
Mn	mg/kg	0,053	0,036	0,025	0,024	0,038	0,011	0,021	0,043	0,030	0,028	2,0
Mo	mg/kg	4,4	3,3	2,1	1,8	3,3	0,7	1,7	3,9	2,3	2,3	
Na	mg/kg	43000	31000	23000	23000	29000	15000	25000	37000	31000	30000	3000
Ni	mg/kg	0,049	<3*0,014	<3*0,014	<3*0,014	<3*0,014	<3*0,014	<3*0,014	<3*0,014	<3*0,014	<3*0,014	0,14
P	mg/kg	0,58	0,51	0,67	0,76	0,63	0,71	0,58	0,38	0,47	0,04	
Pb	mg/kg	37	47	50	38	86	12	37	63	54	49	0,10
S	mg/kg	19000	9333	6100	7200	16000	1700	4900	6900	3000	2200	2667
Sb	mg/kg	<3*0,28	<3*0,28	<3*0,28	<3*0,28	<3*0,28	<3*0,28	<3*0,28	<3*0,28	<3*0,28	<3*0,28	
Se	mg/kg	1,60	1,10	1,10	1,10	1,10	2,80	0,64	0,74	0,60	0,06	0,06
Si	mg/kg	2,20	1,20	0,98	1,20	1,40	1,10	1,10	1,50	0,97	0,77	
Sn	mg/kg	0,76	<3*0,14	<3*0,14	<3*0,14	0,48	<3*0,14	<3*0,14	<3*0,14	0,51	0,58	
Sr	mg/kg	14	21	28	26	15	51	35	34	48	55	
Ti	mg/kg	<3*0,028	<3*0,028	<3*0,028	<3*0,028	<3*0,028	<3*0,028	<3*0,028	<3*0,028	<3*0,028	<3*0,028	
V	mg/kg	<3*0,0059	<3*0,0059	<3*0,0059	<3*0,0059	<3*0,0059	<3*0,0059	<3*0,0059	<3*0,0059	<3*0,0059	0,027	
Zn	mg/kg	15	14	11	12	18	6,6	8,3	9,2	7,9	9,3	3,0
Cl	mg/kg	49000	52000	14000	38000	35000	50000	56000	74000	68000	60000	6000
Hg	mg/kg											0,002

Tabel 11 Udvaskningsdata fra Allegrini et al.⁶ med L/S=2 l/kg sammenlignet med krav angivet i restproduktbekendtgørelsen⁷.

Ovenstående tabel viser, at udvaskningskrav i Restproduktbekendtgørelsen ikke kan overholdes for de letopløselige alkali-klorider og sulfater. Desuden kan udvaskningskrav ikke overholdes for As, Cr, Pb, Se og Zn. Der blev ikke analyseret for Hg. For As er udvaskningskoncentrationen for 2 af askeprøverne ca. 12 % højere end kravet. Cr en faktor 12-21 højere end kravet, Pb en faktor 120-860 højere end kravet, Se op til en faktor 50 og Zn en faktor 3-6 højere end kravet. pH i eluatet var i alle udvaskningstestene mellem 12,4 og 12,8.

På ARGOs anlæg i Roskilde er der gennemført udvaskningstest på 2 kedelasker¹. Prøve 1 er aske fra 2./3.-træk, og prøve 8 er aske fra posefilteret. For L/S=2 l/kg er der gennemført udvaskningstest, og resultaterne er vist i nedenstående tabel.

Parameter	Metode	Enhed	Prøve 1	Prøve 8	Grænseværdi Kategori 3
pH	DS/EN ISO 10523	mS/cm	12,4	8,1	Ingen
Ledningsevne	DS/EN 27888	mg/l	26,5	170	Ingen
Klorid	DS/EN ISO 10304-1	mg/l	4,4	620000	<3000
Sulfat (SO ₄)	DS/EN ISO 10304-1	mg/l	2000	30000	<4000
Natrium	ICP-OES	mg/l	2000	40000	<1500
Calcium	ICP-OES	mg/l	1800	630	Ingen
Barium	ICP-MS	mg/l	0,38	0,54	<4
Arsen	ICP-MS	mg/l	0,003	0,0097	<0,05
Cadmium	ICP-MS	mg/l	<0,0002	110	<0,04
Krom	ICP-MS	mg/l	1,4	0,0035	<0,5
Kobber	ICP-MS	mg/l	0,0078	0,16	<2
Kviksølv	ICP-MS	mg/l	0,0005	0,0013	<0,001
Nikkel	ICP-MS	mg/l	0,2	0,0023	<0,07
Bly	ICP-MS	mg/l	0,016	16	<0,1
Selen	ICP-MS	mg/l	0,0025	0,12	<0,03
Zink	ICP-OES	mg/l	2,4	4,4	<1,5

Tabel 12 Analyse resultater for eluat ved udvaskningstest for asker¹. Rød markerer overskredet grænseværdier i henhold til Restproduktbekendtgørelsen⁷.

Udvaskningsresultaterne i ovenstående tabel for aske fra 2./3.-træk (Prøve 1) og for flyveasken (prøve 8) viser et meget varierende indhold af de analyserede forbindelser/stoffer. Massen af udvasket klorid i prøve 8 er højere end massen af klorid der er udført udvaskningstest på. Klorid-indholdet i prøve 1 er meget lavt i forhold til klorid-indholdet i asken (1,2 %). Tilsvarende er natrium og sulfatindholdet i prøve 1 meget lavt i forhold til indholdet i asken (1,7 % Na og 4,1 % S). Der er enten sket fejl i forbindelse med udvaskningstest eller der har været udfordringer med at opnå repræsentative prøver til bestemmelse af koncentrationerne i fast stof og/eller til udvaskningstestene.

6 Konklusion

Baseret på kemisk sammensætning i askerne er der lavet vurderinger af muligheder for genanvendelse af ubehandlet flyveaske/kedelaske fra affaldsenergianlæg.

Tidligere analyser af kedelasker fra AffaldPlus og ARGO – fra 2./3. træk igennem kedlen – viser, at koncentrationerne af elementer i kedelasken kan variere med en faktor 2 til 3. Der er ikke ved gennemgang af disse analyser fundet nogen systematisk trend i koncentrationerne af elementer i kedelaskerne mht. røggas-temperaturen undtagen for kviksølv. Det betyder, at muligheden for nyttiggørelse af specifikke kedelaskefraktioner ikke afviger fra muligheden for nyttiggørelse af aske fra de øvrige kedelaskefraktioner.

Udvaskningsforsøg ($L/S=2$ l/kg) viser, at krav i Restproduktbekendtgørelsen⁷ ikke vil kunne overholdes for kedelaskerne hvad angår letopløselige alkaliklorider og sulfater, samt for tungmetaller (Cr, Pb, Se og Zn).

Kedelaskerne kan ikke umiddelbart anvendes til produktion af beton og cement pga. manglende opfyldelse af kvalitetskrav til indholdet af alkaliklorider.

Kedel- og filteraske overholder ikke grænseværdier for udvaskning i Deponeringsbekendtgørelsen¹⁶. Askerne nyttiggøres i dag i Norge ved at neutralisere svovlsyre-restproduktet på øen Langøya og derved erstatter kalk. I Tyskland nyttiggøres flyveasken til at hindre sammenstyrtning af nedlagte mineskakter.

Ved procesmæssig behandling af kedel- og filteraske, hvor de letopløselige salte fjernes, kan det ikke udelukkes, at restfraktionen kan nyttiggøres i cement- eller betonproduktion.

Ved procesmæssig behandling af kedel- og filteraske kan det ikke udelukkes, at der vil fremkomme en fast fraktion, der vil kunne overholde grænseværdierne ved udvaskningstest angivet i Restproduktbekendtgørelsen⁷. Om fraktionen kategoriseres som farligt affald bør undersøges nærmere. Restproduktbekendtgørelse omfatter ikke farligt affald. Selv hvis fraktionen ikke er farligt affald, og overholder krav for fast stof og udvaskning, er produktet ikke umiddelbart omfattet af Restproduktbekendtgørelsen⁷.

For at kunne vurdere mulighederne for nyttiggørelse af kedel- og filteraske, bør der gennemføres en miljøkonsekvensvurdering ved nyttiggørelse af procesmæssigt behandlet kedel- og flyveaske i veje og anlæg eller beton- og cementproduktion, hvor de miljøfremmede stoffer spredes til mange lokationer. Desuden kan, i en sådan miljøkonsekvensvurdering, fordele og ulemper belyses for nyttiggørelse af fraktioner af kedel- og flyveaske i forhold til nuværende praksis.

Slagge fra forbrændingskammeret/risten er omfattet af Restproduktbekendtgørelsen. Hvis aske fra 2./3. træk blandes med slaggen fra risten, er det uklart om dette produkt er omfattet af Restproduktbekendtgørelsen.

Der er vurderet at nyttiggørelse af ubehandlet kedel- og filterasker til veje og anlæg eller cement og betonproduktion er ikke muligt.

Ovennævnte konklusioner peger i retning af at en forbehandling af kedel- og filteraske er påkrævet for genanvendelse/nyttiggørelse af askerne. Det vil være formålstjenligt at iværksætte yderligere aktiviteter vedrørende procesmæssig behandlet kedel- og filteraske:

- > Undersøge mulighed for nyttiggørelse af behandlet kedel-/filterasker til veje og anlæg eller cement- og betonproduktion ved forskellige behandlingsmetoder/-teknologier.
- > Undersøge hvor stor andel af askerne kan nyttiggøres? - og hvor stor mængde på tør og våd basis det er muligt at deponere i Danmark, nyttiggøres på Langøya til erstatning af kalk eller nyttiggøres i tyske mineskakter?
- > Udarbejdelse af en miljøkonsekvensvurdering ved nyttiggørelse af procesmæssigt behandlet kedel- og flyveaske i veje og anlæg samt beton- og cementproduktion, hvor de miljøfremmede stoffer spredes til mange lokationer. Dette kan f.eks. sammenlignes med etablering af deponi for ubehandlet og behandlet flyveaske.

7 Referencer

- 1 "Håndtering af flyveaske", A. H. Danielsen, B.Sc, 2020.
- 2 "Miljøgodkendelse af forbrænding af metalbelastet træ og efterbehandlet shredderaffald", Miljøstyrelsen, 2019.
- 3 "Size fractionation of waste-to-energy boiler ash enables separation of a coarse fraction with low dioxin concentrations", E. Weidemann, E. Allegrini, T. Fruergaard Astrup, T. Hulgaard, C. Riber, S. Jansson, Waste Management 49 (2016) 110–113.
- 4 "Miljøgodkendelse uden nye vilkår af nyt køle-tårn", Affaldplus Næstved affaldsenergi, 2019, <https://mst.dk/media/195988/20200610-is-affalplus-naestved-affaldsforbraending-miljoegodkendelse-til-nyt-koeletaarn.pdf>
- 5 "Incinerator performance: effects of changes in waste input and furnace operation on air emissions and residues", T. Astrup, C. Riber, A. J. Pedersen, Waste Management & Research 29(10) Supplement 57–68, 2011.
- 6 "Quality and generation rate of solid residues in the boiler of a waste-to-energy", E. Allegrinia, A. Boldrina, S. Janssonb, K. Lundtorpc, T. Fruergaard Astrup, J. of Hazardous Materials 270 (2014) 127–136.
- 7 "Bekendtgørelse om anvendelse af restprodukter, jord og sorteret bygge- og anlægsaffald", BEK nr 1672 af 15/12/2016. <https://www.retsinformation.dk/eli/lt/2016/1672>.
- 8 "Overdragelse af ansvar for erhvervsaffald", <https://mst.dk/affald-jord/affald/indsamleruddannelsen/overdragelse-af-ansvar/>
- 9 Affaldsstatistik 2019, Miljøstyrelsen, <https://mst.dk/service/publikationer/publikationsarkiv/2020/dec/affaldsstatistik-2019/>
- 10 "Måling af tungmetaller i dansk dagrenovation og småt brændbart", C. Riber og T. H. Christensen, Miljøprojekt Nr. 1085, Miljøstyrelsen, 2006, <https://www2.mst.dk/udgiv/publikationer/2006/87-7052-044-5/pdf/87-7052-045-3.pdf>
- 11 "Resumé", Miljøprojekt Nr. 1085, Miljøstyrelsen, 2006, <https://www2.mst.dk/udgiv/publikationer/2006/87-7052-044-5/html/default.htm>.
- 12 " Klimaplan for en grøn affaldssektor og cirkulær økonomi", Regeringsaftale 16. juni 2021, FLE <https://www.regeringen.dk/media/9591/aftaletekst.pdf>
- 13 " Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Incineration", pp. 142, 2019, <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/075477b7-329a-11ea-ba6e-01aa75ed71a1/language-en>

- 14 "Bekendtgørelse om affald", BEK nr 2159 af 09/12/2020, <https://www.retsinformation.dk/eli/lta/2020/2159>.
- 15 "EUROPA-PARLAMENTETS OG RÅDETS FORORDNING (EU) 2019/1021 af 20. juni 2019 om persistente organiske miljøgifte", <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/?uri=CELEX:32019R1021>
- 16 "Bekendtgørelse om deponeringsanlæg", <https://www.retsinformation.dk/eli/lta/2011/719>
- 17 "Bekendtgørelse om fastlæggelse af miljømål for vandløb, søer, overgangsvande, kystvande og grundvand", <https://www.retsinformation.dk/eli/lta/2017/1625>.
- 18 "Bekendtgørelse om krav til udledning af visse forurenende stoffer til vandløb, søer, overgangsvande, kystvande og havområder", <https://www.retsinformation.dk/eli/lta/2017/1433>.
- 19 "Cement – Del 1: Sammensætning, krav til egenskaber og godkendelseskriterier for almindelige cementer", DS/EN 197-1 (2011).
- 20 "Klassifikation af cement – Klassifikation vedrørende alkaliindhold og sulfatbestandighed samt regler for certificering af supplerende krav og overensstemmelsesvurdering", DS/INF 135:2020.
- 21 "Beton - Specifikation, egenskaber, produktion og overensstemmelse - Regler for anvendelse af EN 206 i Danmark", DS/EN 206 NA:2020.
- 22 "Alkaligenanvendelse fra bioflyveaske", K. Thomsen, J. P. Jensen, P. Simonsen, B. Sander, PSO F&U-Projekt 6534/FU4206, 2006.
- 23 "Flyveaske til beton - Del 1: Definition, specifikationer og overensstemmelseskriterier", DS/EN 450-1:2012.
- 24 "Flyveaske til beton - Del 2: Overensstemmelsesvurdering", DS/EN 450-2:2005.
- 25 "Anvendelse af samfyringsasker til betonfremstilling", C. Pade, Teknologisk Institut, <https://www.teknologisk.dk/ydelser/anvendelse-af-samfyrings-asker-til-betonfremstilling/24327>
- 26 "Incineration Fly Ash and Its Treatment to Possible Utilization: A Review", A. H. Kanhar, S. Chen, F. Wang, Energies 2020, 13, 6681; doi:10.3390/en13246681. <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/24/6681>.
- 27 "Ny klassificering af farligt affald –HP14, hvad er det for en fisk?", O. Hjelmar, DAKOFA-seminar, 2018,

https://dakofa.dk/?type=71598&tx_tcdakofa_forcedownload%5Bdownload%5D=31049&tx_tcdakofa_forcedownload%5Bcode%5D=36c5cc09eaab449961d3cc65b68528c31125b21c&cHash=218dadd9251b0a2170c071e6d6427eb0

- 28 "Forurenende stoffer i beton og tegl", O. Hjelmar, T. Hougaard, Miljøstyrelsen, Miljøprojekt nr. 1806, 2015.
- 29 " Bekendtgørelse om anlæg, der forbrænder affald", BEK nr 1271 af 21/11/2017, <https://www.retsinformation.dk/eli/ta/2017/1271>.
- 30 "Miljøgodkendelse, Kara/Noveren I/S – ovnlinje 6", Miljøstyrelsen, 25. marts 2010, <https://www.mst.dk/media/mst/attachments/miljogodkendelse-ovn6af25marts2011.pdf>
- 31 Vejledende udtalelse fra Miljøstyrelsen om klassificering af farligt affald for så vidt angår den farlige egenskab HP 14 "Økotoksisk", december 2018, https://mst.dk/media/170896/hp14_vejledende-udtalelse_fra_miljoestyrelsen_december_2018-endelig.pdf
- 32 "Legal situation and current practice of waste incineration bottom ashutilization in Europe", D. Blasenbauera, F. Hubera, J. Lederera, M. J. Quinab, D. Blanc-Biscaratc, A. Bogushd, E. Bontempie, J. Blondeauf, J. M. Chimenosg, H. Dahlboh, J. Fagerqvisti, J. Giro-Palomag, O. Hjelmar, J. Hyksj, J. Keaneyk, M. Lupsea-Toader, C. J. O'Caollaik, K. Orupöldl, T. Paja, F.-G. Simonn, L. Svecovao, M. Šycp, R. Ulvangq, K. Vaajasaarir, J. V. Caneghems, A. v. Zomerent, S. Vasareviciusu, K. Wégnerv, J. Fellner, , Waste Management, 102, 2021, 868-883.
- 33 Personlig kommunikation med Dorthe Lærke Jensen fra ARC, 04-11-2021.