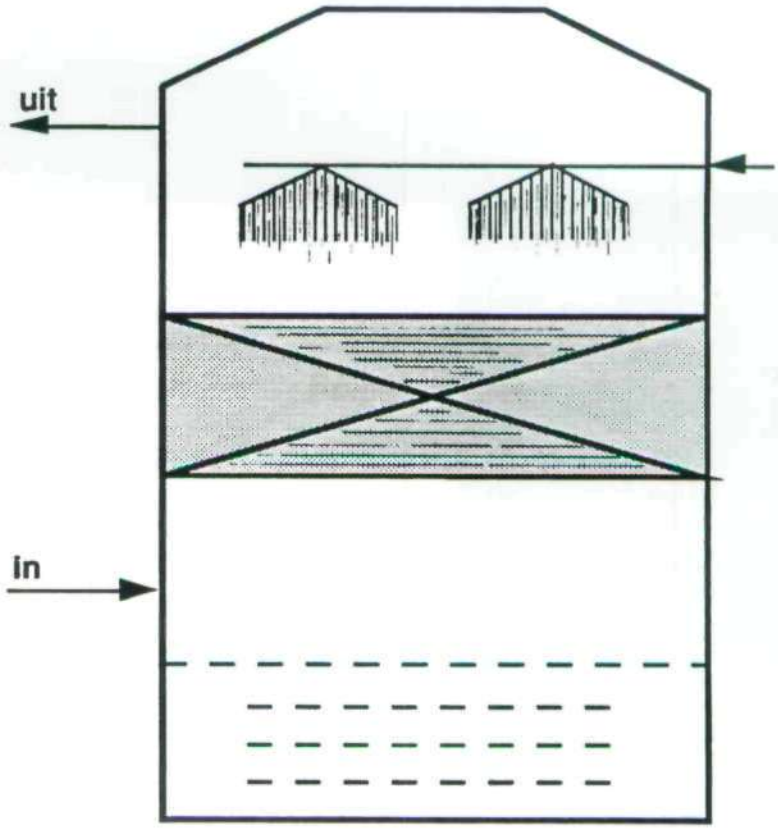
# ROOKGASEMISSIES BIJ SLIBVERBRANDING

"SAMENVATTING"




witteveen + bos

Origineel.

Aan: Repro
Van: Bibliotheek

S.v.p. ..1.. keer kopieëren

~~ENKELZIJDIG~~ / DUBBELZIJDIG

Voorkant/achterkant op DIK,
WIT / ..... papier

daarna ~~NIETEN~~ / INBINDEN

.....

Bij voorbaat dank Geke Faber

# ROOKGASEMISSIES

# BIJ

# SLIBVERBRANDING

"SAMENVATTING"

werkdocument nr. 90.025 x

maart 1990

## INLEIDING

De concept-AMvB's "Besluit gebruik overige organische meststoffen", ingevolge de Wet Bodembescherming en "Besluit kwaliteit overige meststoffen", ingevolge de Meststoffenwet resulteren in een verscherping van de kwaliteitseisen voor zuiveringsslib indien gebruik voor bodembemesting en bodemstructuurverbetering wordt nagestreefd. Als gevolg van deze ontwikkeling is de laatste jaren een toenemende belangstelling merkbaar voor het verbranden van zuiveringsslib.
Vooral de aspecten energiebehoefte en volumereductie hebben hierbij de nodige aandacht gekregen. Emissies veroorzaakt door de slibverbranding, mede door het ontbreken van hiertoe geformuleerde richtlijnen, zijn slechts in beperkte mate beschouwd.

Rijkswaterstaat DBW/RIZA en Ministerie VROM Directie Lucht hebben in september 1988 Witteveen+Bos, Raadgevende ingenieurs opdracht gegeven tot het uitvoeren van het onderzoek "Rookgasemissies bij slibverbranding".
Het in juni 1989 gepubliceerde onderzoeksrapport behandelde de volgende aspecten:

- de concept normstelling voor rookgasemissies, d.d. april 1989;
- de rookgaskwaliteit als gevolg van de beschikbare verbrandingstechnologie;
- de rookgasemissie als gevolg van de toepassing van moderne rookgasreinigingstechnologiën;
- de milieubelasting als gevolg van de afvoer van verbrandingsresten;
- de kosten van de in aanmerking komende rookgasreinigingssystemen.

In augustus 1989 zijn door het Ministerie VROM nieuwe, strengere richtlijnen gepubliceerd voor rookgasemissies van Afvalverbrandingsinstallaties, de zgn RV '89. Deze zijn ook van toepassing op rookgasemissies bij slibverbranden. In oktober 1989 heeft Witteveen+Bos opdracht ontvangen een addendumstudie te verrichten waarin de effecten van de nieuwe richtlijn op de toe te passen rookgasreiniging worden nagegaan.

Deze samenvatting is gebaseerd op de resultaten van beide onderzoeken en geeft een integraal beeld van de mogelijkheden en knelpunten voor de rookgasreiniging bij slibverbranding. Hierbij is tevens gebruik gemaakt van het in

december '89 door de Werkgroep VROM - Provinciën - VEABRIN uitgebrachte advies voor een Plan van Aanpak RV '89. Omdat bij slibverbranding sprake is van nieuw te bouwen installaties, zijn de methoden op basis van "stand der techniek" en "ontwikkeling der techniek" tezamen behandeld.

In dit onderzoek wordt uitgegaan van de verbranding van gestabiliseerd primair- en surplusslib. De invloed van defosfatering wordt in kwantitatieve zin beschouwd en betekent een toename in slibvolume per vervuilingseenheid van maximaal 40%. Recente ontwikkelingen op het gebied van defosfatering duiden erop dat de toename in de slibproduktie minder zal zijn dan aanvankelijk gedacht. Vooral de verlaging van het P-gehalte in afvalwater en de mogelijkheden van defosfateringstechnieken anders dan chemische defosfatering zijn hiervoor verantwoordelijk.

De gehanteerde slibkwaliteit is deels gebaseerd op CBS-gegevens en deels op in Zuid-Holland verricht onderzoek naar de slibkwaliteit. Deze laatste gegevens worden beschouwd als maximumwaarden voor geïndustrialiseerde regio's. In tabel 1 staat de gehanteerde slibsamenstelling vermeld.

| Component | | Gemiddelde concentratie | Maximum concentratie |
|---|---|---|---|
| asgehalte | | | |
| - PE-ontwaterd slib | g/kg ds | 260 | - |
| - kalk-ontwaterd slib | g/kg ds | 440 | - |
| asgehalte na defosfatering | g/kg ds | 500 | - |
| totaal zwavel | g/kg ds | 6 | 30 |
| totaal stikstof | g/kg ds | 50 | 65 |
| Kwik | mg/kg ds | 2 | 5 |
| Cadmium | mg/kg ds | 5 | 10 |
| Lood | mg/kg ds | 360 | 600 |
| Zink | mg/kg ds | 1.500 | 2.500 |
| organisch gebonden Cl | mg/kg ds | 25 | 100 |
| organisch gebonden F | mg/kg ds | 10 | 25 |
| PAK | mg/kg ds | 7 | 20 |
| PCB's | µg/kg ds | 25 | 1.000 |

Tabel 1: Samenstelling zuiveringsslib (bron: CBS, Provincie Zuid-Holland).

EMISSIEGRENSWAARDEN

Internationaal is een ontwikkeling gaande waarbij de emissiegrenswaarden voor rookgassen van verbrandingsinrichtingen voor huishoudelijk afval en daarmee vergelijkbaar bedrijfsafval (AVI) worden aangescherpt; vooral de grenswaarden voor stof, zwartelijst metalen (Cd, Hg) en de zure depositie vormende stoffen ($SO_x$, $NO_x$, Cl, F) worden lager.

Met betrekking tot de Nederlandse ontwikkelingen wordt in deze situatie uitgegaan van de in augustus 1989 door het Ministerie VROM bekend gemaakte emissiegrenswaarden voor rookgassen bij AVI's. In tabel 2 wordt een overzicht gegeven van de voor Nederland en West-Duitsland geldende en voorgenomen emissiegrenswaarden. De met * aangegeven streefwaarden worden in het advies Plan van Aanpak RV '89 afhankelijk gesteld van de ontwikkeling der techniek.

| | Emissiegrenswaarden in mg/Nm$^3$, droog, 11 Vol% $O_2$ | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Duitsland TA-Luft 1986 | Concept-waarden 1989 | Nederland Richtlijn 'Verbranden' 1985 | aug.1989 |
| **Component** | | | | |
| Totaal stof | 30 | 10-30 | 50 | 5 |
| $NO_x$ (als $NO_2$) | 500 | 300 | | 70* |
| $SO_x$ (als $SO_2$) | 100 | 25-100 | | 40 |
| HCl (als Cl) | 50 | 5-30 | 50 | 10 |
| HF (als F) | 2 | 0,5-1,0 | 5 | 1 |
| CO | 100 | 100 | | 50 |
| organisch-C | 20 | | | 10 |
| PCDD's/PCDF's | | | | 0,1 ng/Nm$^3$* |
| **Zware metalen** | | | | |
| Pb + Zn | | | 5 | |
| Cd | | | 0,1 | 0,05* |
| Hg | | | 0,1 | 0,05* |
| Klasse I | 0,2 | 0,1 | | } |
| Klasse II | 1,0 | 0,5 | | } 1,0 |
| Klasse III | 5,0 | 2,5 | | } |

Tabel 2: Vergelijkend overzicht emissiegrenswaarden.

VERBRANDINGSSYSTEMEN

De toepasbaarheid van de verschillende verbrandingssystemen hangt nauw samen met de brandstofkarakteristieken. De beschouwde verbrandingssystemen zijn wervelbed, roosterovens, schroefstoker en poederbrander. De brandstofkarakteristieken van het slib zijn afhankelijk van de mate van ontwatering en het as- respectievelijk kalkgehalte.

In tabel 3 wordt een waarderingsscore weergegeven van de in beschouwing genomen verbrandingssystemen in relatie tot de slibsoorten. Opgemerkt kan worden dat het wervelbed niet geschikt is voor verbranding van vermalen gedroogd slib, terwijl roosterovens niet geschikt zijn voor brandstoffen welke veel vocht bevatten.

| Oventype | Slibbrandstof karakteristiek | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Slibkoek | | gedroogd produkt | | 80% ds |
| | PE-cond. | kalkcond. | gemalen | granulaat | gebriket. |
| Wervelbed | ++ | ++ | -- | ++ | + |
| Schroef/rooster | -- | ++ | -- | ++ | ++ |
| Poederbrander cq. cycloonbrander | -- | - | + | -- | -- |

++ goed toepasbaar  - minder toepasbaar
+ toepasbaar  -- slecht toepasbaar

Tabel 3: Toepassingsgebied verbrandingstechnieken in relatie tot de slibkarakteristieken

5

GEDRAG CONTAMINANTEN

Bij de verbranding van fossiele brandstoffen en afvalstoffen ontstaan verschillende verbrandingsprodukten.
Onvolledige verbranding is de oorzaak van de emissie van:
koolwaterstoffen, koolmonoxyde, polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK) en dioxinen/furanen. De laatste twee soorten stoffen worden tijdens de afkoelingsfase van de rookgassen gevormd uit reactieve aromaten.
Brandstofonreinheden zijn de oorzaak van de emissie van:
zwaveloxiden, chloor, fluor, metalen en as.
Stikstofoxiden zijn contaminanten die gedeeltelijk worden veroorzaakt door het verbrandingsproces en gedeeltelijk door brandstofonreinheden.

In tabel 4 wordt een overzicht gegeven van de samenstelling van de onbehandelde rookgassen in relatie tot een aantal verbrandingssystemen. In dit overzicht wordt uitgegaan van de gemiddelde samenstelling van zuiveringsslib. Tevens zijn in de tabel ter vergelijking de emissiegrenswaarden VROM, augustus 1989, aangegeven als toetsingskader.

| Geëmiteerde component | wervelbed | ketting-rooster | schroef-stoker | poeder-brander | toetsings-kader |
|---|---|---|---|---|---|
| stof | 52.000 | 7.800 | 11.700 | 43.000 | 5 |
| $SO_2$ | 120-1.200* | 1.350 | 1.350 | 1.600 | 40 |
| $NO_x$ | 200 | 575 | 575 | 900 | 70 |
| CO | < 100 | 600 | 400 | 60 | 50 |
| $C_xH_y$ | 10 | 40 | 25 | 2 | 10 |
| HCl | 25 | 25 | 25 | 25 | 10 |
| HF | 2 | 0,6 | 0,6 | 0,8 | 1 |
| Cd | 1 | 0,7 | 0,7 | 0,9 | 0,05 |
| Hg | 0,4 | 0.3 | 0,3 | 0,4 | 0,05 |
| As | 1,4 | 0,8 | 0,8 | 1,1 | |
| Pb | 72 | 18 | 18 | 24 | } 1,0 |
| Zn | 300 | 61 | 61 | 83 | |

*: afhankelijk van het kalkgehalte in slib/wervelbed

Tabel 4: Emissieprognose van onbehandelde rookgassen. Gehalten in mg/$Nm^3$ (1.013 mbar, 0°C)

Door vuurhaardmodificaties en toevoegen van hulpstoffen zijn de volgende verbeteringen te verkrijgen:

Wervelbed: een verbindingspercentage van maximaal 95% voor zwaveloxiden is haalbaar door toevoeging van kalk in het slib of verbrandingsbed.

De emissiegrenswaarde voor CO (50 $mg/Nm^3$) is haalbaar wanneer aandacht besteed wordt aan het ontwerp van het vrijboord van de wervelbedoven. De te verwachten emissiewaarde voor $NO_x$ bedraagt circa 200 $mg/Nm^3$. Het is niet duidelijk of met vuurhaardmodificaties de emissie kan worden teruggebracht tot de grenswaarde van 70 $mg/Nm^3$. Om de emissiewaarde van stof te bereiken zijn geen vuurhaardmodificaties voor de wervelbedoven beschikbaar.

Kettingrooster/schroefstoker: een bindingspercentage van slechts 5-10% voor zwaveloxiden is haalbaar, door toevoegen van kalk is dit niet verder te verhogen dan tot circa 60%. Een goede regeling van de primaire en secundaire luchttoevoer kan de vorming van stikstofoxiden en koolmonoxyde beperken, desondanks is de concentratie hoger dan bij het wervelbed.

Poederbrander/cycloonvuurhaard: als gevolg van de hoge verbrandingstemperatuur is de emissie van stikstofoxiden hoog. Reducerende maatregelen kunnen niet bij de oven zelf worden getroffen.

Op grond van bovenstaande overwegingen en de brede inzetbaarheid wordt de keuze voor de wervelbedoven als verbrandingssystemen ondersteund.

Bij de beschouwing van de emissiegegevens uit tabel 4 kan het volgende worden opgemerkt:

- van de zure gassen HCl, HF en $SO_2$ behoeft de laatste de meest vergaande reductie. Bij de verwijdering van $SO_2$ worden HCl en HF ook verwijderd;
- alle zware metalen, met uitzondering van kwik, zijn in hoge mate aan asresten geadsorbeerd en kunnen grotendeels met slak en vliegas worden verwijderd;
- organische microverontreinigingen in slib als PCB's, pesticiden, dioxinen en furanen zullen bij de gegeven lage concentraties in het slib en bij een goede verbranding niet voor problemen zorgen in de rookgassen;
- de $NO_x$-emissie overschrijdt in alle gevallen de grenswaarde. Indien wordt gestreefd naar een zo laag mogelijke CO-emissie heeft dit als consequentie dat de $NO_x$-emissie wordt vergroot.

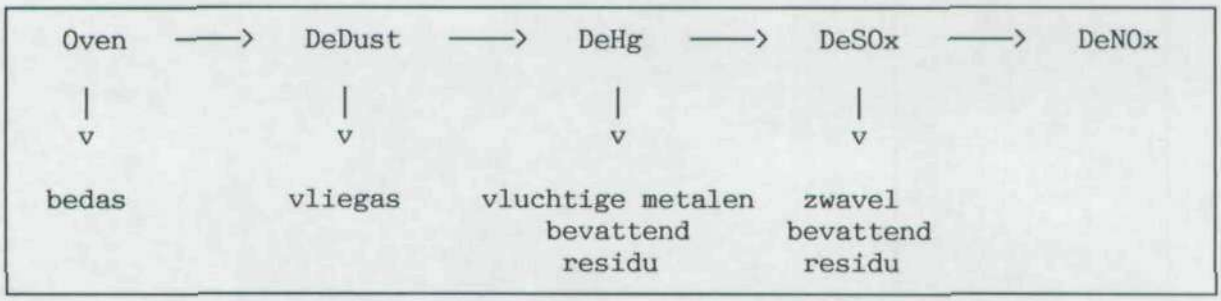
Bij toepassing van de wervelbedverbranding zijn de in de rookgassen aanwezige stoffen die problemen kunnen veroorzaken derhalve:

1. stof met geadsorbeerde metalen;
2. kwik;
3. zwaveloxiden;
4. stikstofoxiden.

De rookgasreiniging bij slibverbranding dient dan ook in de eerste plaats op deze componenten gericht te zijn.

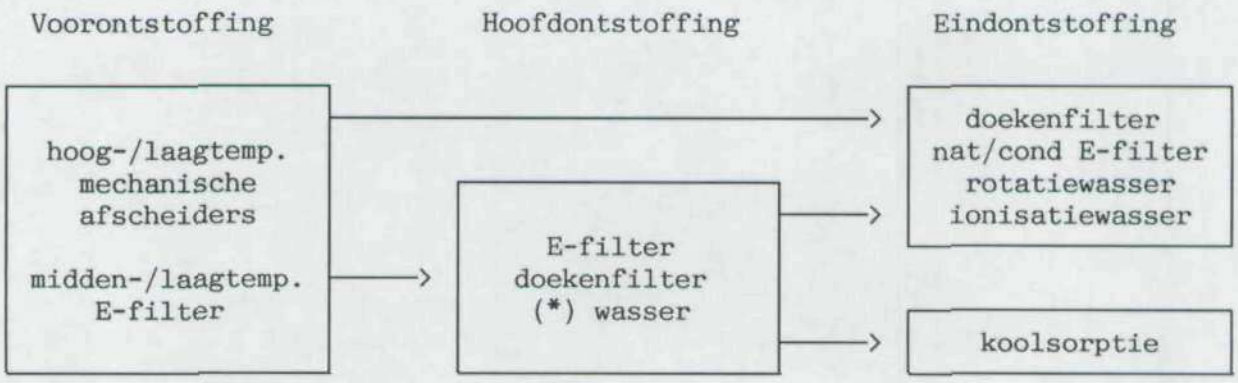
**ROOKGASREINIGINGSTECHNIEKEN**

Het rookgasreinigingssysteem bij slibverbranding zal de volgende opzet hebben:




Een inventarisatie van rookgasreinigingstechnieken heeft geleid tot overzichten van in aanmerking komende technieken voor ontstoffing, kwikverwijdering, ontzwaveling en stikstofverwijdering:

De ontstoffing kan met behulp van de volgende configuraties worden verzorgd:

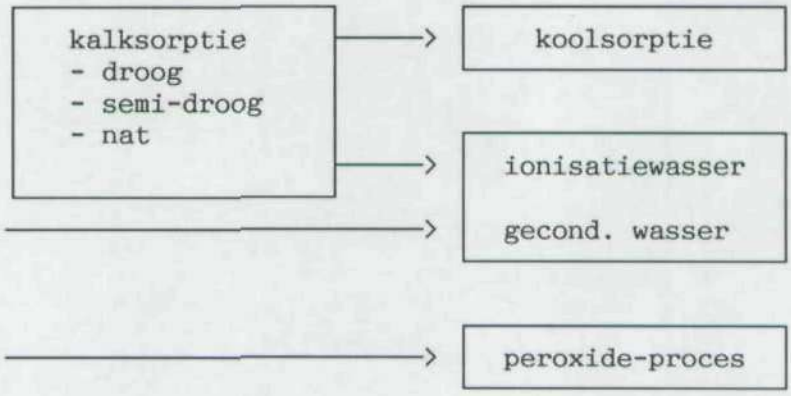



(*): stofvangst niet als hoofdfunctie

Ten behoeve van de kwikverwijdering dient het rookgasreinigingssysteem één van de volgende technieken te bevatten:

- geconditioneerde wasser, zuur regime;
- ionisatiewasser, zuur regime;
- condensatiewasser, zuur regime;
- koolsorptie.

Met de volgende configuraties van de ontzwaveling kan aan de Richtlijn worden voldaan:




Voor de stikstofverwijdering komen de volgende technieken in aanmerking:

- katalytische reductie (SCR);
- koolfilter.

Bovenstaande technieken kunnen op diverse manieren als bouwstenen worden gecombineerd tot rookgasreinigingssystemen. De systemen zijn geselecteerd op basis van:

- het al dan niet vrijkomen van afvalwater;
- de kwaliteit van de vrijkomende restprodukten;
- betrouwbaarheid en complexiteit van het RGR-systeem.

Op basis van de hoofdindeling in droge- en natte systemen komen de volgende configuraties in aanmerking:

**A. Droge systemen**

A1: Semi-droge kalksorptie met doekenfilter

A2: Idem met nageschakelde koolsorptie

**B. Natte systemen**

B1: Meertraps geconditioneerde wassing

B2: Meertraps geconditioneerde wassing met koolsorptie

B3: Meertraps geconditioneerde wassing met natte stofpolishing

B4: Zure wassing, peroxide wassing met koolsorptie

B5: Zure wassing, peroxide wassing met natte stofpolishing

B6: Zure wassing, natte kalksorptie met koolsorptie

B7: Zure wassing, natte kalksorptie met natte stofpolishing

B8: Meertraps ionisatiewassing

In onderstaande tabel worden de systemen geëvalueerd.

| Systeem | Ontwikkel. status | Complexiteit | Vrijkomen afvalwater | Reststoffen-kwaliteit | Haalbaarheid Richtlijn |
|---|---|---|---|---|---|
| A1 | **** | **** | nee | * | - (N) |
| A2 | ** | *** | nee | * | + |
| B1 | **** | *** | ja | ** | - (N) |
| B2 | ** | ** | ja | ** | ++ |
| B3 | *** | *** | ja | ** | + (N) |
| B4 | * | * | ja | **** | ++ |
| B5 | ** | ** | ja | **** | + (N) |
| B6 | ** | * | ja | *** | + |
| B7 | ** | * | ja | *** | + (N) |
| B8 | **** | *** | ja | ** | + (N) |

Tabel 5 Kwalitatieve vergelijking rookgasreinigingssystemen

(N): geen $NO_x$-verwijdering mogelijk zonder toevoeging additionele technieken

* : positieve waardering

**Resultaten**

Van de droge systemen kan alleen A2 (Semi-droge kalksorptie met doekenfilter en koolsorptie) aan de in de Richtlijn 'Verbranden' gestelde emissiegrenswaarden voldoen.

Van de natte systemen kunnen alle systemen waar koolsorptie is opgenomen aan de Richtlijn voldoen. De technieken natte stofpolishing en ionisatiewassing hebben geen effect op de uitstoot van stikstofoxiden.

RESTSTOFFEN BIJ SLIBVERBRANDING

De volgende aspecten zijn bij de beoordeling van de reststoffenproblematiek van belang:

- **wettelijk kader;**
- **milieuhygiënische eigenschappen;**
- **integratie reststoffenverwerking in het rookgasreinigingssysteem.**

**Wettelijk kader**

- Volgens het in concept verschenen Besluit Aanwijzing Chemische Afvalstoffen (BACA) dient vliegas van slibverbrandingsinstallaties als chemisch afval te worden beschouwd. Indien het vliegas zodanig wordt opgewerkt dat de milieuhygiënische eigenschappen sterk verbeteren is ontheffing mogelijk;
- Het gebruik van bouwmaterialen zal worden gereguleerd door het Bouwstoffenbesluit. Aan bouwstoffen worden eisen gesteld met betrekking tot samenstelling en uitlooggedrag;
- Indien bij een slibverbranding een afvalwaterstroom vrijkomt kan de lozing hiervan vallen onder de WVO en in het verlengde hiervan de Lozingsverordening. Bij situering van de slibverbranding op het terrein van een RWZI wordt een rechtstreekse behandeling van het afvalwater mogelijk.

**Milieuhygiënische aspecten**

Vliegas

Vliegas kan op verschillende punten in het RGR-systeem worden verwijderd, waardoor het in diverse kwaliteitsgraderingen kan vrijkomen. De gemiddelde samenstelling van de asrest bij slibverbranding staat in tabel 6 weergegeven.

| Metaal | Gehalte in asrest in mg/kg |
|---|---|
| Koper | 1923 |
| Chroom | 500 |
| Zink | 5769 |
| Lood | 1385 |
| Nikkel | 192 |
| Cadmium | 19 |
| Kwik | 8 |
| Arseen | 27 |

Tabel 6. Verontreinigingsgraad (indicatief) van de asrest bij slibverbranding op basis van polyelektrolyt slib, 26% as.

Er zijn geen gegevens voorhanden omtrent het uitlooggedrag van het slibvliegas. Verondersteld kan worden dat dit vergelijkbaar of beter zal zijn dan het uitlooggedrag van AVI-vliegas.

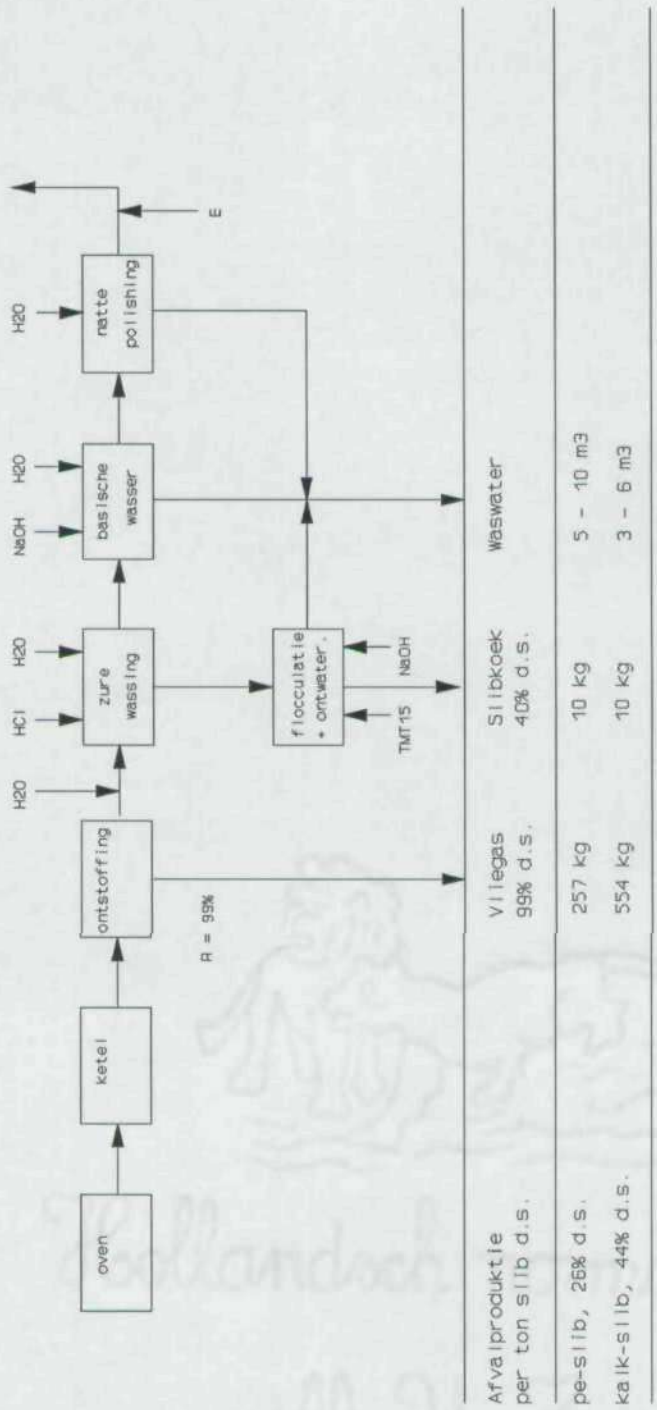
Het bij hogere temperaturen afgevangen vliegas bevat, ten opzichte van de in tabel 6 genoemde gemiddelde waarden, een verlaagd gehalte aan de vluchtige metalen kwik, cadmium, arseen en in mindere mate lood en koper. Het uitlooggedrag zal door het grotendeels ontbreken van gecondenseerde metalen relatief gunstig zijn.
Vliegas dat bij lagere temperaturen wordt afgevangen heeft een samenstelling welke slechts voor kwik in hoge mate afwijkt van de in tabel 6 genoemde waarden. Het uitlooggedrag zal vergelijkbaar zijn met dat van AVI-vliegas.
Vliegas dat in wassers wordt afgevangen zal door het waswater worden uitgeloogd. Het komt gelijktijdig met de geadsorbeerde verontreinigingen in de spuistroom vrij.
Om de milieuhygiënische en fysische eigenschappen van vliegas te verbeteren zijn een aantal technieken voorhanden, waarvan solidificatie en immobilisatie (= verslakken) op praktijkschaal beproefd zijn. Met behulp van deze technieken wordt zowel het uitlooggedrag verbeterd als het volumegewicht verhoogd. Het is thans nog niet bekend in hoeverre dan ontheffing van het BACA kan worden verkregen.

RGR-slib

RGR-slib is de benaming voor het residu dat bij verschillende wastrappen vrijkomt. RGR-slib van de zure wassing bevat aanzienlijke hoeveelheden zware metalen, met name de vluchtige metalen als kwik en cadmium. RGR-slib van de neutrale/basische wassing bevat voornamelijk sulfaten en sulfieten met de bijbehorende kationen. RGR-slib dient conform de BACA als chemisch afval te worden beschouwd.

Waswater

De kwaliteit en hoeveelheid waswater dat bij de rookgasreiniging vrijkomt is sterk afhankelijk van het gekozen systeem. Volledig afvalwatervrije systemen zijn in principe mogelijk, doch betekenen wel een hoger energieverbruik.
Surpluswater van de wassectie kan door verdamping in het rookgasreinigingssysteem worden verwijderd.




Figuur 1. Stroomschema van variant 1. Natte rookgasreiniging zonder opwerking van de reststoffen en zonder verwijdering van stikstofoxiden.

Indien niet de gehele surplusstroom op deze manier wordt verwijderd kan het op één van de volgende wijzen worden afgevoerd:

- directe lozing op een RWZI;
- lozing op het rioolstelsel, met inachtneming van de bepalingen voor de lozingsverordening;
- externe indamping.

**Integratie van rookgasreiniging en reststoffenverwerking**

Er zijn een aantal configuraties van rookgasreinigingstechnieken denkbaar waarmee aan de RV '89 kan worden voldaan. Voor vier varianten van de integratie van rookgasreiniging en reststoffenverwerking is een uitwerking gemaakt. Het verschil tussen de systemen zit in de benadering van de reststoffenproblematiek en de mate waarin $NO_x$ wordt verwijderd uit de rookgassen.

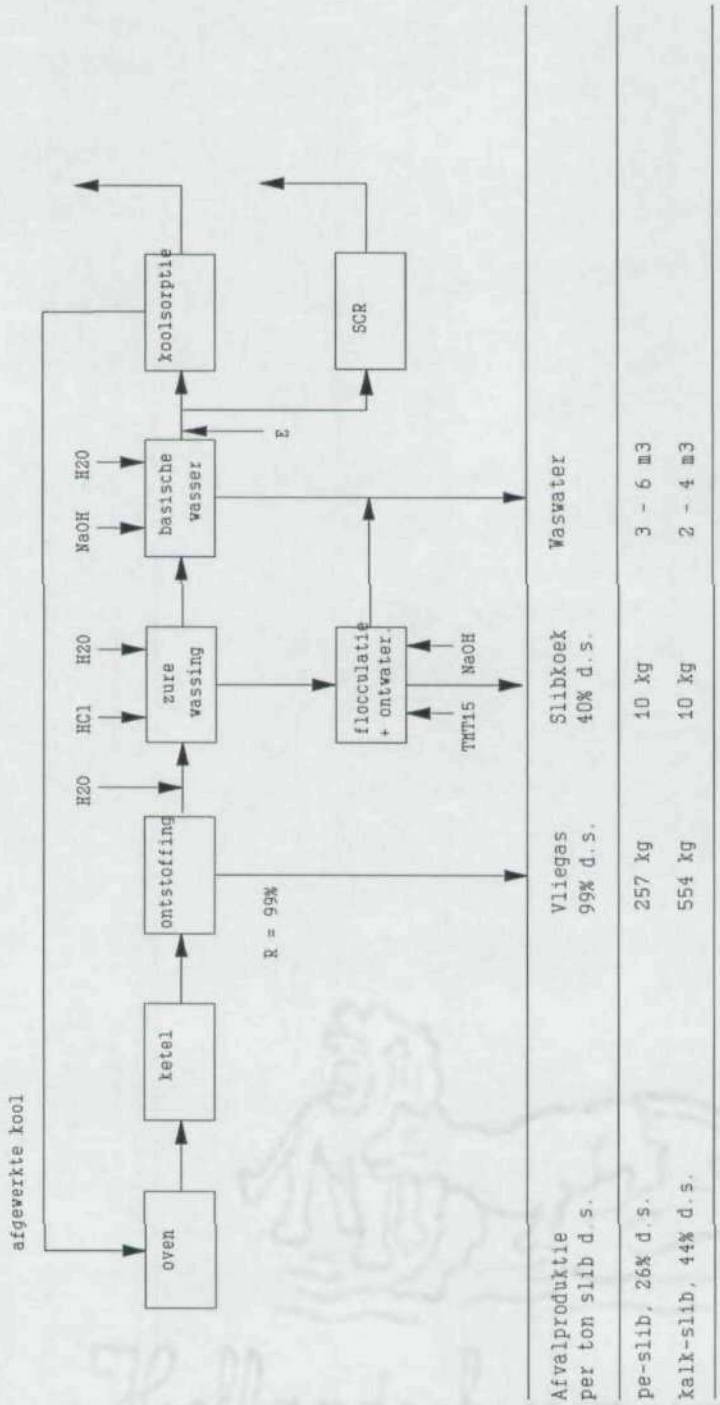
Variant 1. Natte rookgasreiniging zonder reststoffenopwerking en $NO_x$ verwijdering

In figuur 1 staat een overzicht van deze variant weergegeven.

In een doekenfilter of meervlaks-elektrofilter worden de rookgassen vergaand ontstoft. Vervolgens wordt een zure wassing en een basische wassing doorlopen, gevolgd door een natte eindontstoffing. Teneinde pluimstijging te verkrijgen worden de rookgassen opgewarmd voor ze via de schoorsteen worden geëmitteerd.

Het vliegas wordt na bevochtiging zonder verdere bewerking naar een speciale deponie afgevoerd. Deze zal grote overeenkomst vertonen met een $C_2$-deponie. Het bij de zure wassing vrijkomende waswater wordt geneutraliseerd. Het hierdoor gevormde metaalhydroxideslib wordt na ontwatering naar een speciaaldeponie gevoerd. Het filtraat wordt tezamen met het spuiwater van de basische wassing en de natte polishing direct afgevoerd naar een RWZI.

In variant 1 vindt geen verdere verwijdering van stikstofoxiden plaats zodat de emissiegrenswaarde hiervan waarschijnlijk wordt overschreden. De systeemonderdelen van variant 1 zijn in de praktijk beproefd waardoor bij implementatie geen bijzondere complicaties hoeven op te treden.




Figuur 2. Stroomschema van variant 2. Natte rookgasreiniging zonder opwerking van de reststoffen, met verwijdering van stikstofoxiden.

Variant 2. Natte rookgasreiniging zonder reststofopwerking maar met $NO_x$ verwijdering

Deze variant verschilt in die zin van variant 1 dat de natte polishing is vervangen door een koolsorptie-systeem of een katalystische $NO_x$-reductie. In figuur 2 staat een overzicht van dergelijke systemen. Voor beide technieken geldt dat zij nog in ontwikkeling zijn en in Nederland niet eerder zijn toegepast. De vrijkomende rookgassen voldoen aan alle criteria van de RV '89.

Variant 3. Natte rookgasreiniging met beperkte reststoffenopwerking

In figuur 3 staat een overzicht van deze variant weergegeven.

In een doekenfilter of meervlaks-elektrofilter worden de rookgassen vergaand ontstoft. Vervolgens wordt een zure wassing doorlopen gevolgd door een natte kalksorptie. Na opwarming worden de rookgassen door een koolsorptie geleid en vervolgens via de schoorsteen geëmitteerd.

Het vliegas wordt geïmmobiliseerd; het gevormde granulaat kan naar een IBC-deponie worden afgevoerd, ventilatiegassen kunnen via de oven verwijderd worden. Het ontslakkingswater wordt tezamen met het surpluswater van de zure wassing geneutraliseerd. Het hierdoor gevormde metaalhydroxideslib wordt na ontwatering naar een speciaal-deponie afgevoerd. Het in de natte kalksorptie gevormde gips wordt gespoeld en ontwaterd. In de koolsorptie-eenheid worden vervolgens de restemissies van onder andere $SO_x$, stof en metalen weggevangen. In de koolsorptie-eenheid is het mogelijk om stikstofoxiden met behulp van ammoniak te verwijderen. De afgewerkte kool kan teruggevoerd worden naar de verbrandingsoven om aldaar te worden verbrand.

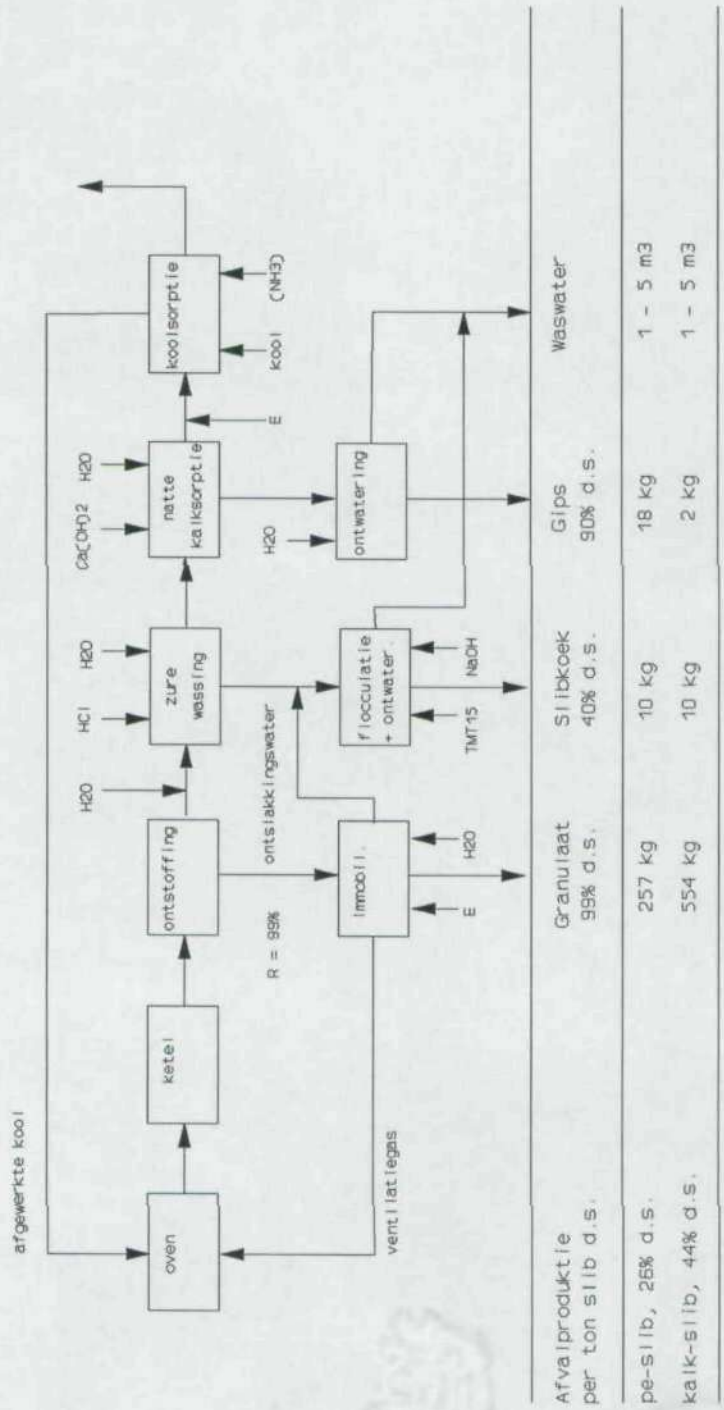
Variant 3 zal aan de Richtlijn 'Verbranden' voldoen. De technieken koolsorptie en immobilisatie zijn echter nog in ontwikkeling en niet in Nederland toegepast.

Variant 4. Natte rookgasreiniging met vergaande reststoffenopwerking

In figuur 4 staat een overzicht van deze variant weergegeven.

De rookgassen worden bij hoge temperatuur in een mechanische ontstoffing geleid. Hierna volgt een tweede ontstoffing, een zure wassing en een peroxide-wassing. Na opwarming worden de rookgassen door een koolsorptie geleid en vervolgens via de schoorsteen geëmitteerd.

Het vliegas wordt geïmmobiliseerd; het granulaat kan naar een IBC-deponie worden afgevoerd, ventilatiegassen worden via de oven verwijderd. Het ontslakkingswater wordt tezamen met het surpluswater van de zure wassing




Figuur 3. Stroomschema van variant 3. Natte rookgasreiniging met beperkte opwerking van de reststoffen.

geneutraliseerd. Het hierdoor gevormde metaalhydroxideslib wordt na ontwatering naar een speciaal-deponie afgevoerd. Het filtraat wordt voor de tweede ontstoffing in de rookgassen ingedampt, zodat de zouten met het in de tweede ontstoffing afgevangen vliegas worden verwijderd en naar de speciaal-deponie worden verwijderd. In de peroxide-wassing komt een geconcentreerd zwavelzuur vrij dat misschien voor industriële toepassing kan worden bestemd.
In de koolsorptie-eenheid worden restemissies van onder andere $SO_x$, stof en metalen weggevangen. Afgewerkte kool wordt via de oven verwijderd. In de koolsorptie-eenheid is het mogelijk om stikstofoxiden met behulp van ammoniak te verwijderen.
Variant 4 zal aan de Richtlijn 'Verbranden' voldoen. Bovendien komt bij deze variant geen afvalwater vrij. De technieken koolsorptie, peroxide-wassing en immobilisatie zijn echter nog in ontwikkeling en nog niet in Nederland toegepast.

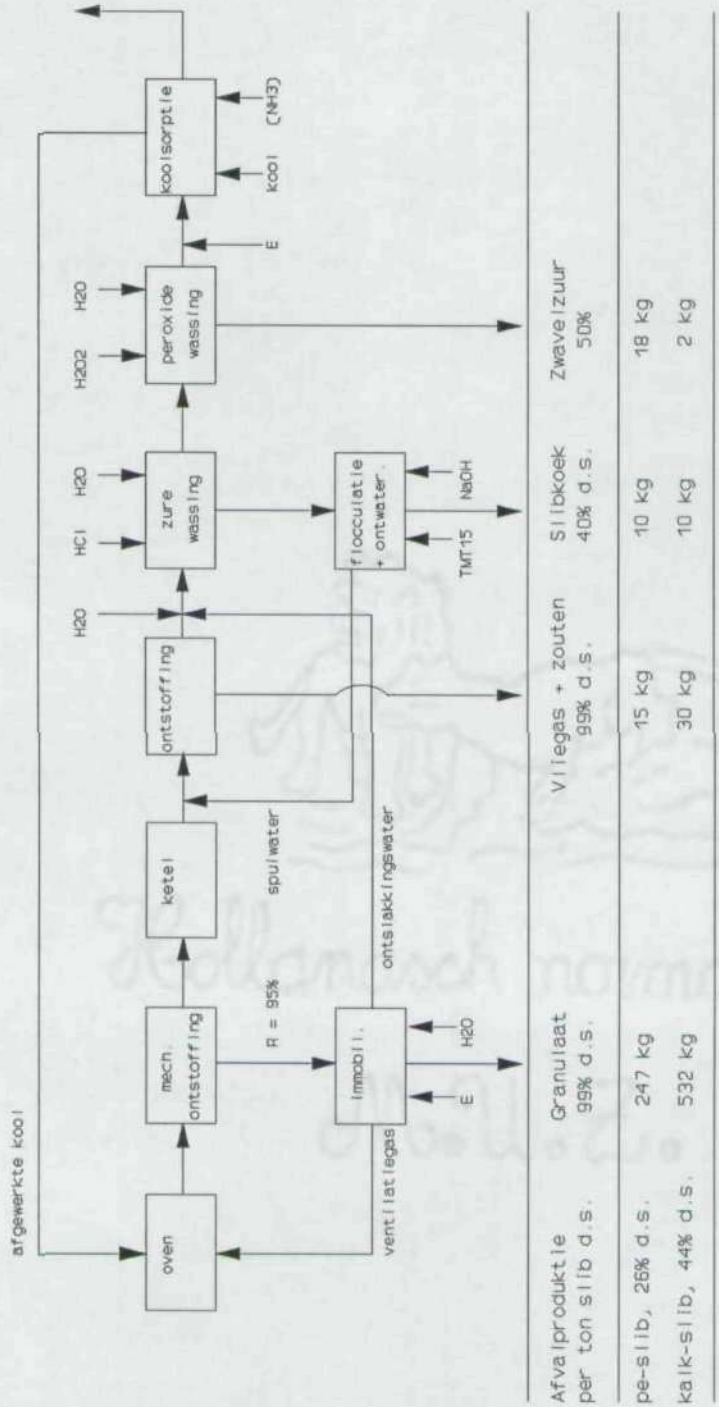
**Ontwerpuitgangspunten**

De door te rekenen ontwerpen voor rookgasreiniging zijn gebaseerd op de volgende capaciteiten:

- 5.000 ton ds/jaar = 1 ton ds/h = 250.000 i.e., lokaal
- 25.000 ton ds/jaar = 5 ton ds/h = 1.000.000 i.e., regionaal
- 75.000 ton ds/jaar = 15 ton ds/h = 3.000.000 i.e., boven regionaal

Als uitgangspunten voor de capaciteitsbepaling van de rookgasreiniging zijn de volgende factoren gehanteerd:

| | |
|---|---|
| slibproduktie | : 45 g/i.e. |
| conditionering voor ontwatering | : poly-elektrolyt of 30% kalk/Fe |
| slibkoekkwaliteit | : 30% ds respectievelijk 42% ds |
| slibgranulaatkwaliteit | : 80% ds |
| as-gehalte in slib | : 26,3% respectievelijk 44% |
| oventype | : wervelbed |
| luchtfactor | : 1,4 |




Figuur 4. Stroomschema van variant 4. Natte rookgasreiniging met vergaande opwerking van de reststoffen.

19

De relatie tussen netto slibproduktie, nat-slib verbrandingscapaciteit en rookgasdebiet ($m^3_a/h$) wordt weergegeven in tabel 7.

| Netto slib-verbrandings-capaciteit | Karakteristieken PE-ontwaterd slib | | | | Kalk-ontwaterd slib | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ton ds/h | 30% ds doorvoer ton/h | rookgas $m^3_a/h$ | 80% ds doorvoer ton/h | rookgas $m^3_a/h$ | 42% ds doorvoer ton/h | rookgas $m^3_a/h$ |
| 1 | 3,3 | 15.000 | 1,2 | 10.800 | 3,1 | 17.000 |
| 5 | 16,7 | 75.000 | 6,2 | 54.000 | 15,5 | 83.000 |
| 15 | 50,0 | 225.000 | 18,7 | 162.000 | 46,4 | 250.000 |

Tabel 7. Slibproduktie, ovencapaciteit en rookgasdebieten

Op dezelfde wijze is de asproduktie te berekenen waarbij voor droogslibverbranding wordt aangenomen dat 75% van de assen als slak, respectievelijk bedas kan worden afgevoerd.

| Netto slib-verbrandings-capaciteit | Produktie verbrandingsresten PE-ontwaterd slib | | | Kalk ontwaterd slib |
|---|---|---|---|---|
| ton ds/h | 30% ds vliegas kg/h | 80% ds bedas kg/h | + vliegas kg/h | 42% ds vliegas kg/h |
| 1 | 263 | 197 | 66 | 560 |
| 5 | 1.315 | 986 | 329 | 2.800 |
| 15 | 3.945 | 2.960 | 985 | 8.400 |

Tabel 8. Produktie verbrandingsresten, exclusief RGD-slib en reactieprodukt bij slibverbranding met behulp van een wervelbedoven. Uit bovenstaande blijkt de grote invloed van droog slibverbranding op het rookgasvolume en de invloed van de kalkdosering op het reststofvolume.

**KOSTEN**

De kostenraming vormt het meest onzekere gedeelte van deze studie.
De raming is gebaseerd op een schaalgrootte van 75.000 ton p.e. slib ds/jaar of wel een rookgasvolume van 200.000 $m^3_a/h$.
Op grond van bovenstaande indicaties zijn de volgende investeringskosten voor rookgasreiniging en reststofverwerking aan te geven.

| | investering | exploitatie |
|---|---|---|
| Variant 0 | | |
| E-filtratie | f 9,5 miljoen | f 140,-/ton slib ds |
| meertrapswassers | | |
| waswaterzuivering | | |
| Variant 1 | | |
| + naontstoffing | f 15,0 miljoen | f 200,- |
| Variant 2 | | |
| + koolsorptie | f 25,0 miljoen | f 250,- |
| cq. | | |
| + SCR | f 40,0 miljoen | f 275,- |
| Variant 3 | | |
| + as immobilisatie | f 55,0 miljoen | f 400,- |
| + natte kalksorptie | | |
| + koolsorptie | | |
| Variant 4 | | |
| + peroxidewassing | f 65,0 miljoen | f 450,- |
| + koolsorptie | | |
| + HT voorontstoffing | | |
| + as immobilisatie | | |

De meerkosten voor de rookgasreiniging + reststofverwerking van kalkhoudend slib kan oplopen tot ca. f 100,- per ton slib ds.

Verwerking op kleinere schaal, vanaf 10.000 ton slib ds/jaar, verhoogt de kosten voor rookgasreiniging + reststofverwerking met een factor 1,5-2,0 van bovenstaande bedragen.

CONCLUSIES

1. De in 1989 door Ministerie VROM uitgevaardigde Richtlijn 'Verbranden' heeft verstrekkende gevolgen voor zowel de rookgasreiniging als de reststofverwerking bij slibverbranden.

2. In vergelijking met de oude Richtlijn (1985) zijn de kritische componenten bij de rookgasreiniging: stof, Hg, $SO_2$, $NO_x$, CO en $C_xH_y$.

3. De stand der techniek is toereikend om de streefwaarden voor stof emissies te bereiken. Hiermede wordt tevens bereikt dat de emissies voor zware metalen (behalve kwik), dioxinen en furanen vergaand worden gereduceerd.

4. De kwik emissies kunnen met behulp van bestaande technieken in voldoende mate worden gereduceerd om de streefwaarden te bereiken.

5. Voor de $SO_2$ verwijdering zijn voldoende mogelijkheden aanwezig. Naast geconditioneerde rookgaswassing biedt de wervelbed-oven goede perspectieven voor met name kalkrijk slib.

6. De preventie van CO en $C_xH_y$ is afhankelijk van de vuurhaard configuratie. Maximale CO preventie gaat echter gepaard met hogere $NO_x$ emissies.

7. Voor de verwijdering van $NO_x$ zijn een aantal systemen in ontwikkeling, bijvoorbeeld koolsorptie, SCR of SNCR ed. Ten aanzien van de slibverbranding kan nog niet worden gesproken van bewezen technologie.

8. De in aanmerking komende configuratie voor rookgasreiniging is gebaseerd op voorontstoffing - zure wassing - basische wassing - na ontstoffing. De in de Richtlijn Verbranden 1989 vereiste $NO_x$ streefwaarde wordt onder deze omstandigheden waarschijnlijk niet gehaald.

9. De verbrandingsoven die de beste uitgangspositie oplevert voor de rookgasreiniging is de wervelbed-oven.
   Verbranding van gedroogd slib verdient dan de voorkeur omdat hierbij het rookgasvolume minimaal is terwijl een deel van de asresten als bedas/slak vrijkomt.

10. Op grond van het Ontwerp Besluit Aanwijzing Chemische Afvalstoffen, mei 1989, is de volgende indeling aan te geven voor de verbrandingsresten:
    - granulaat cq. slak : bestemd voor nuttig gebruik dan wel IBC-stortplaatsen.
    - vliegas : bestemd voor speciaal stortplaatsen.
    - waswaterslib : bestemd voor op $C_2$-deponie gelijkende stortplaatsen.

11. De bestemming van de verbrandingsresten en de daarbij behorende kosten zijn essentieel voor het niveau van de kosten voor de rookgasreiniging in zijn totaliteit.

12. Immobilisatie (= verslakking) van vliegas is een in ontwikkeling zijnde technologie waardoor maximale reducties in de reststofvolumes worden bereikt. Immobilisatie geeft thans de beste waarborg voor milieuhygiënisch verantwoorde opslag.

13. De kosten voor rookgasreiniging en opwerken van verbrandingsresten worden als volgt geraamd, betrekking hebbende op grootschalige installaties voor 75.000 ton slib ds/jaar (= 200.00 $m^3_a/h$ rookgassen).
    - Benadering RV'89, met uitzondering van $NO_x$:
      Investering : f 15 miljoen
      Exploitatie : f 200,- per ton slib ds
    - Effectuering RV'89 met opwerken verbrandingsresten:
      Investering : f 55 miljoen
      Exploitatie : f 400,- per ton slib ds
    - Effectuering RV'89 met opwerken verbrandingsresten en waswater indamping:
      Investering : f 65 miljoen
      Exploitatie : f 450,- per ton slib ds.

14. Defosfatering van zuiveringsslib kan een verhoging te zien geven van de asrestproduktie. Afhankelijk van de toegepaste technologie bedraagt de kostenstijging in de exploitatie maximaal f 50,- per ton slib ds.

15. Kleinschalige verbranding van slib (tot 10.000 ton slib ds/jaar) zal de kosten voor de rookgasreiniging en van opwerking verbrandingsresten verhogen met een factor 1,5 tot 2,0.

NASCHRIFT

Door de zich ontwikkelende milieuwetgeving gaan de kosten voor rookgasreiniging en afvoer van vaste restprodukten dusdanig zwaar drukken op de totale kosten van slibverbranden dat een heroverweging van de methodiek van slibverwijdering door verbranden alleszins gerechtvaardigd is.

Een aantal opties dienen zich aan:
- volumereductie van zuiveringsslib niet meer baseren op verbranden, maar op het vergaand drogen en vervolgens afvoer naar een IBC-stortplaats;
- indien verdergaande volumereductie noodzakelijk is dan is verbranden één van de mogelijk toepasbare methodieken. Hierbij dient naast de kwaliteit van de rookgassen tevens de kwaliteit en eindbestemming van de restprodukten in beschouwing te worden genomen.

Een verbrandingstechnologie welke gebaseerd is op de wervelbedoven of hieraan gelijkwaardig is geeft de beste uitgangspositie voor de reiniging van de rookgassen. Voor de rookgasreiniging kan gebruik worden gemaakt van het systeem voor ontstoffing - zure wassing - basische wassing - na-ontstoffing. Hiermede wordt aan de voorwaarden voor de RV'89 voldaan, behalve voor $NO_x$. Nader onderzoek is gewenst naar de doelmatigheid van $NO_x$ verwijdering in het perspectief van de landelijke $NO_x$ emissie en de benodigde financiële middelen die voor dit aspect van de rookgasreiniging zijn vereist.

Teneinde de afvoerkosten van vaste restprodukten na slibverbranding te beperken is onderzoek gewenst naar een tweetal aspecten:

- het geschikt maken van wervelbedovens voor verbranding van gedroogd en gegranuleerd slib opdat een korrelvormig bedas ontstaat geschikt voor hergebruik cq. IBC-deponie;
- het opwerken van vliegas met behulp van immobilisatie technieken tot een voor hergebruik geschikt produkt. Dit hergebruik moet overigens worden gezien in het licht van toenemende hoeveelheden vliegas afkomstig van kolengestookte centrales en afvalverbrandingsinstallaties.

Het koolfilter bezit een aantal gunstige eigenschappen waardoor reductie optreedt van afvalwater en reststoffen. Aanbevolen wordt de ontwikkeling van deze technologie te bevorderen, zodat een beter beeld ontstaat van bedrijfsvoering aspecten en kosten aspecten.

Co-verbranding van gedroogd zuiveringsslib in grote afvalverbrandingsinstallaties (AVI's) verdient nader onderzoek vooral met het oog op complementaire functies in:

- rookgasreinigings-technologie;
- reststofverwerking;
- exploitatiekosten.

De indruk bestaat dat co-verbranding in grootschalige AVI's een verwerkingstarief oplevert van maximaal f 200,- per ton slib ds.

25

SAMENSTELLING PROJECTGROEP

De volgende personen hebben bijgedragen aan de totstandkoming van de rapportages over Rookgasreiniging bij Slibverbranden:

| | | Hoofdrapport | Addendum |
|---|---|---|---|
| ir. A.H. Dirkzwager | DBW/RIZA (voorzitter) | X | X |
| ing. J.H.A.M. Verbraaken | DBW/RIZA | X | X |
| ing. M. Koopman | VROM - Directie Lucht | X | X |
| ing. M. Adams | VROM - Directie Afval | X | |
| ir. R.R. Kruize | DOW Amsterdam | X | |
| ing. A.J. v.d. Sande | GTB Oost Brabant | X | |
| ing. J.J. Vos | RIVM | X | |
| ir. R.A. Ponsen | Witteveen+Bos | X | X |
| ir. A. Kiers | Witteveen+Bos | X | X |
| ir. R.J. Post | Witteveen+Bos | X | X |