

Ontwerp en beproeving van een fluid-bed oven op semi-technische schaal voor het verbranden van voorgedroogd rioolslib

Samenvatting

De eigenschappen van een fluid-bed oven voor de verbranding van voorgedroogd rioolslib werden experimenteel onderzocht door variatie van een aantal procesparameters. Het werkgebied waarbinnen volledige en reukloze verbranding optreedt werd ten aanzien van de onderzochte procesparameters afgebakend.

Inleiding

Het slib dat bij de reiniging van afvalwater

als bijproduct ontstaat, kan op vele manieren verder worden verwerkt, zoals gecontroleerd storten, samen met huisvuil composteren, bemesting van landbouwgronden, anaerobe slibgisting met methaanwinning gevolgd door ontwateren en gecontroleerd storten, ontwateren gevolgd door verbranding, enz. [1]. Elk van deze methoden heeft zijn specifieke voor- en nadelen, zodat geen van deze methoden als 'de oplossing' voor alle slibproblemen kan worden aanbevolen. Van geval tot geval moet worden beoordeeld, welke slibverwerkingsmethode het meest in aanmerking komt voor het oplossen van een gegeven slibprobleem. In de laatste jaren is de slibverbranding steeds meer in de belangstelling komen te staan als mogelijkheid voor slibverwerking. Bij de verbranding van slib worden de volgende 'produkten' verkregen: warmte, asresten en rookgassen. De vrijgekomen warmte kan voor talrijke doeleinden worden gebruikt, bijv. voor het voordrogen van het te verbranden slib. De asresten bestaan uit kiemvrije, anorganische bestanddelen, die bijv. als vulmateriaal bij wegaanleg kunnen worden toegepast. Het spreekt vanzelf, dat de rookgassen een zodanige samenstelling moeten hebben, dat zij geen

aanleiding geven tot luchtverontreiniging. Hierbij wordt het CO₂, dat bij de verbranding ontstaat, niet als luchtverontreiniging beschouwd.

De verbranding van slib kan in verschillende typen ovens worden uitgevoerd, zoals trommeloven, etageoven, fluid-bed oven. Het is te verwachten, dat de fluid-bed oven bepaalde voordelen zou kunnen hebben in vergelijking met de overige typen ovens en wel:

- Door de zeer goede menging van de vaste fase in het fluid-bed wordt de brandstof, i.c. slib, homogeen verdeeld over het fluid-bed en is de temperatuur in het gehele bed constant. Dit maakt een goede procesbeheersing mogelijk.
- In het fluid-bed zijn er geen bewegende delen die tot slijtage of storingen aanleiding zouden kunnen geven.
- Door de grote warmte-inhoud van het bed zal de fluid-bed oven minder gevoelig zijn ten aanzien van storingen in de toevoerstroom.
- Door de goede warmte- en stofover-

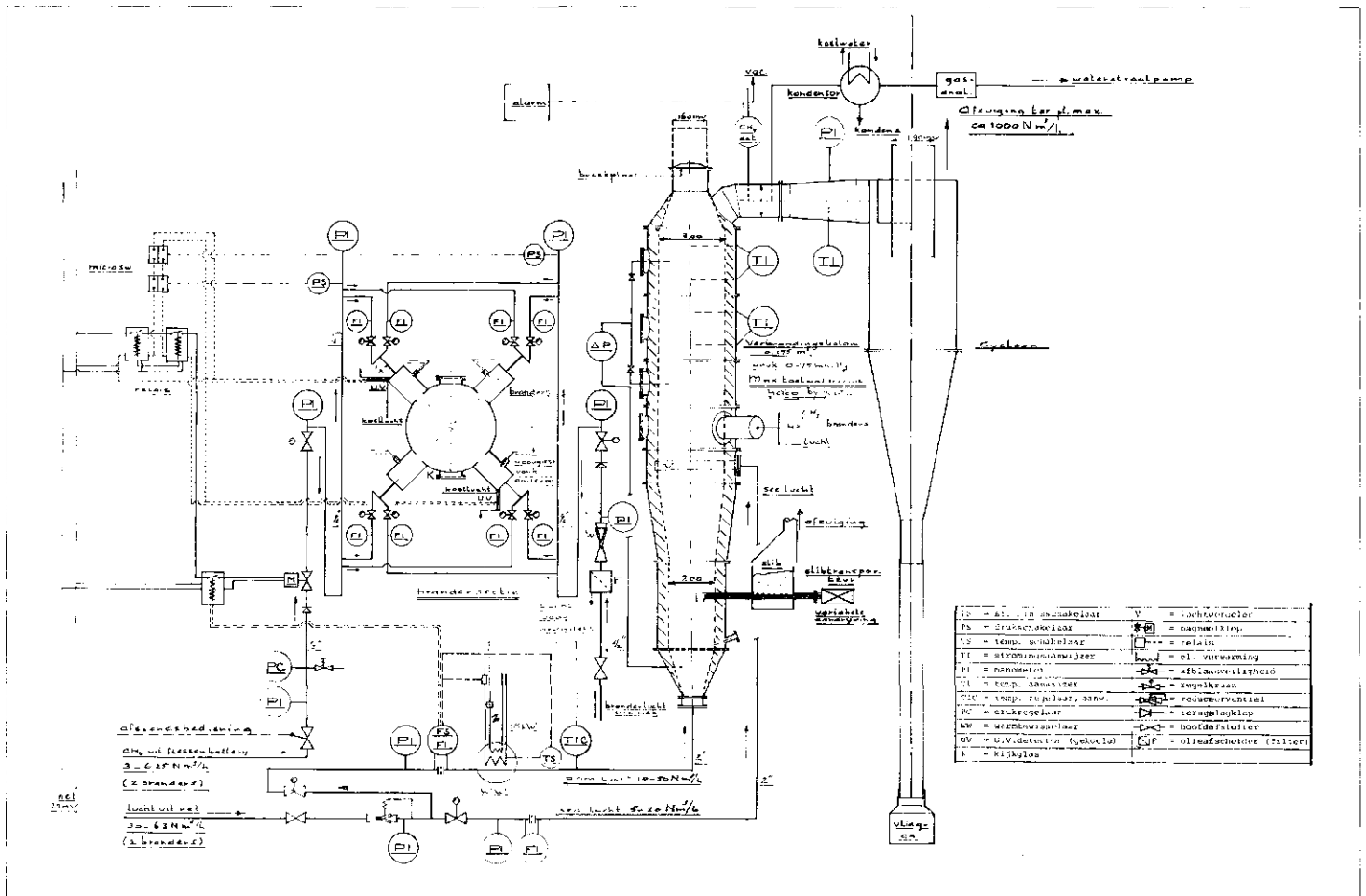


IR. I. G. RACZ
Vakgroep Procestechiek,
Technische Hogeschool Twente,
Enschede



PROF. IR. DRS. J. GROOT
WASSINK
Vakgroep Procestechiek,
Technische Hogeschool Twente,
Enschede

Afb. 1 - Fluid-bed oven met randapparatuur.



dracht in het fluid-bed zal de thermische capaciteit per volume-eenheid groot zijn ten opzichte van de andere typen ovens.

Naast deze voordelen zijn echter ook enkele nadelen te verwachten bij de fluid-bed oven:

— De verbrandingstemperatuur wordt begrensd door eventuele sintering van de asresten en/of het bedmateriaal.

— Er treedt slijtage op van de ovenwanden en van het bedmateriaal.

— Door de relatief hoge gassnelheden worden veel asdeeltjes meegesleurd, zodat ruim-bemeten reinigingsapparatuur dient te worden geïnstalleerd om de grote hoeveelheid vliegaf te vangen.

In de literatuur is reeds veel bekend over de eigenschappen van gefluidiseerde bedden en fluid-bed reactoren [2, 3, 4]. Over slibverbranding in fluid-bed ovens is minder bekend [5, 6, 7, 8], in het bijzonder wat betreft de apparaatmetingen, procesbegrenzungen, manier van slibtoevoer, enz. Dit onderzoek beoogde dan ook het ontwerpen en beproeven van een fluid-bed oven op semi-technische schaal voor de verbranding van voorgedroogd rioolslib, waarbij door variëren van de procesomstandigheden het werkgebied van de fluid-bed oven kon worden bepaald.

Apparatuur

De gebruikte apparatuur wordt weergegeven in afb. 1. Het gedeelte van de branderssectie met de hulpbranders wordt hierbij apart weergegeven. De aangebrachte veiligheidsvoorzieningen worden eveneens getoond. De fluid-bed oven en de gascycloon werden door de Centraal Technische Dienst van de TH Twente vervaardigd.

De fluidisatielucht stroomt via een luchtvoorverwarmer naar het fluid-bed. De verdeelplaat, waar het fluid-bed op rust, wordt gevormd door een aantal zeefplaten, zodanig dat de drukval over de verdeelplaat vergelijkbaar is met de drukval over het bed (ca. 1000 - 1500 Pa).

Boven de zeefplaat bevindt zich een cilindrisch gedeelte, diameter 0,2 m, hoogte 0,4 m, waarin het fluid-bed zich bevindt. Tevens vindt hier de slibtoevoer plaats via een schroeftransporteur met regelbaar toerental. De freeboard van 0,3 m diameter wordt bereikt via een conisch gedeelte van de oven met een hoogte van 0,36 m.

De freeboard bestaat uit een aantal segmenten van gelijke diameter; deze zijn van onderen naar boven:

— een segment van 0,15 m hoogte, waarin

zich een verdeelorgaan bevindt voor het toevoeren van secundaire lucht: holle ring, aan de binnenwand voorzien van 200 gaten van 2,5 mm diameter;

— een segment van 0,2 m hoogte, waarin zich de vier hulpbranders bevinden;

— een segment van 0,2 m hoogte met kijkglas;

— twee segmenten van 0,3 m hoogte met kijkglazen.

Met de laatste drie segmenten kan de verblijftijd van de rookgassen en van de asdeeltjes in de freeboard gevarieerd worden. De bovenkant van de freeboard loopt conisch toe naar een opening, diameter 0,16 m, waarop een explosieafsluiting is aangebracht. Naast deze opening bevindt zich het begin van het rookgaskanaal, verbonden met een gascycloon. Na het afvangen van de vaste stof deeltjes worden de rookgassen via een afzuiginstallatie in de buitenlucht geloosd. De afzuiginstallatie veroorzaakte een geringe onderdruk in de fluid-bed oven.

Het inwendige van de oven is uitgevoerd in vuurvast cement, laagdikte 0,05 m, de buitenkant is uitgevoerd in hittebestendig staal, pyron 2000. De segmenten werden met trekbouten aan elkaar bevestigd, het geheel werd opgehangen in een stelling.

Aan de beveiliging van de oven werd zeer veel zorg besteed, waarbij de volgende veiligheidsvoorzieningen werden gerealiseerd:

ten aanzien van de hulpbranders:

— drukcontrole van gas- en luchtstroom naar de branders;

— UV detectie van de vlam in de branders met behulp van UV-cellen.

— elektrische ontsteking via een bougie die ook vonken produceert als de branders in bedrijf zijn;

— terugslagkleppen in de gas- en luchtleidingen.

In het rookgaskanaal werd voorts een methaan-detector aangebracht om onverbrande methaan te detecteren en zonodig een alarmsignaal te geven, waarna de hulpbranders buiten bedrijf konden worden gesteld.

Bij het bedrijven van de verbrandingsoven waren continu tenminste twee man bedieningspersoneel aanwezig.

Als gevolg van de getroffen veiligheidsmaatregelen en het zorgvuldig werken met de oven zijn er tijdens het onderzoek geen calamiteiten opgetreden.

Om de procesparameters te kunnen meten, werd de fluid-bed installatie van een aantal meetinstrumenten voorzien:

— Volumestroommeting via rotameters:
- primaire luchtstroom (fluidisatielucht);
- secundaire luchtstroom;
- gas- en luchtstroom voor de gasbranders.

— Drukmeting via bourdon-manometers en kwikkolom-manometers:
- primaire en secundaire lucht;
- gas en lucht voor de hulpbranders;
- drukval over de verdeelplaat en over het fluid-bed.

— Temperatuurmeting met chromel-alumel thermokoppels:

- primaire lucht;
- fluid-bed, 0,07 m boven de verdeelplaat;
- fluid-bed, 0,58 m boven de verdeelplaat;
- 5 meetpunten in de freeboard boven de branderssectie;
- 1 meetpunt in het rookgaskanaal.

— Samenstelling rookgassen met Draeger-analyse buisjes:

- in de freeboard;
- in het rookgaskanaal.

Karakterisering van het voorgedroogde slib

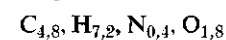
Het te verbranden slib werd verkregen van een waterzuiveringsinstallatie te Barneveld, waar het thermisch was voorgedroogd. Het watergehalte was 7 %, de deeltjesgrootte werd door malen ingesteld op de gewenste waarde.

De samenstelling van het slib werd bepaald door gloeiproeven resp. door elementanalyse van het organisch gedeelte van het slib. De verbrandingswaarde van het slib werd in een bomcalorimeter bepaald. De resultaten van deze metingen worden in tabel I vermeld.

TABEL I - Karakterisering van het te verbranden slib.

slibsoort	thermisch gedroogd slib
vochtigheid	7 gew. %
deeltjesgrootte	≤ 1 mm
anorganisch gedeelte	23,5 % op droge stof basis
organisch gedeelte	76,5 % op droge stof basis
bruto formule	C _{4,0} , H _{7,0} , N _{0,6} , O _{2,3}
verbrandingswaarde	3660 kcal kg ⁻¹ op droge stof basis
verbrandingslucht	5,1 kg lucht per kg droog slib

Voor de samenstelling van huishoudelijk rioolslib wordt in de literatuur vaak de volgende bruto formule gehanteerd [9]:



terwijl voor de verbrandingswaarde van slib met deze samenstelling berekend kan worden [8]: 3900 kcal kg⁻¹.

De overeenkomst met de door ons gemeten waarden is bevredigend.

Procesanalyse en proceseisen

Bij de verbranding van slib kunnen de

volgende processtappen worden onderscheiden:

- verdampen van het aanwezige water;
- pyrolyse van de vluchtige bestanddelen;
- ontsteking en verbranding van de vluchtige bestanddelen;
- afbranden van het koolstofskelet.

In het geval van een continu werkend verbrandingsproces zijn deze stappen uiteraard niet afzonderlijk waar te nemen. Verwacht kan worden, dat het afbranden van het koolstofskelet de snelheidsbepalende stap zal zijn bij dit verbrandingsproces. Het afbranden van het koolstofskelet vindt plaats in het fluid-bed, terwijl de verbranding van de vluchtige bestanddelen gedeeltelijk boven het fluid-bed, in de freeboard zal verlopen.

Ten aanzien van de procesvoering zullen de volgende eisen en limiteringen gelden:

- De verbranding dient zelfonderhoudend te zijn.
- De verbranding dient volledig te zijn, d.w.z. dat de rookgassen geen CO en de asresten geen organische bestanddelen mogen bevatten.

Bovengenoemde eisen geven aanleiding tot de volgende limiteringen:

- Om een reukloze verbranding te waarborgen dient de verbrandingstemperatuur boven ca. 750 °C te liggen.
- De gassnelheid in het fluid-bed is gebonden aan een minimale en een maximale waarde, namelijk de minimale fluidisatiesnelheid en die gassnelheid, waarbij pneumatisch transport van het bedmateriaal optreedt.
- Afhankelijk van het temperatuurniveau zal een bepaalde overmaat lucht t.a.v. het te verbranden slib aanwezig dienen te zijn om de verbranding volledig te laten verlopen.
- De verhouding van slibtoevoer en bedinhoud mag niet te groot zijn om voldoende warmte-overdracht tussen de slibdeeltjes en het fluid-bed materiaal in stand te kunnen houden. De verblijftijd van de slibdeeltjes in het fluid-bed speelt hierbij ook een belangrijke rol.
- Afhankelijk van de sintertemperatuur van de asresten en het bedmateriaal zal de maximale verbrandingstemperatuur een bepaalde waarde niet mogen overschrijden.

Rekening houdende met de proceseisen, werd nu getracht de proceslimiteringen voor dit fluid-bed proces op te sporen en waar mogelijk deze kwantitatief aan te geven.

Meetresultaten en conclusies

De onderzochte procesparameters en hun meetbereik worden in tabel II vermeld.

TABEL II - Onderzochte procesparameters en hun meetbereik.

Hoogte fluid-bed	[m]	0,1— 0,27
Diameter fluid-bed	[m]	0,2
Slibtoevoer	[kg hr ⁻¹]	5,0—12,0
Vochtgehalte van het slib	[gew. %]	7 —30
Overmaat verbrandingslucht	[gew. %]	0 —85
Fluid-bed inhoud	[kg]	5 —13

Als fluid-bed materiaal werd kwartszand gekozen, met de volgende eigenschappen:

gemiddelde deeltjesdiameter $\bar{d}_p = 0,3$ [mm]
dichtheid vaste stof $\rho_s = 2570$ [kg m³]

— De *minimale fluidisatiesnelheid* voor lucht-zand systemen kan nu als volgt worden berekend [10]:

$$Re_{mf} = \frac{Ga}{1400 + 5,22 \sqrt{Ga}}$$

met

$$Re_{mf} = \frac{V_{mf} \cdot \bar{d}_p \cdot \rho_g}{\eta}$$

en

$$Ga = \frac{\rho_g (\rho_s - \rho_g) g \bar{d}_p^3}{\eta^2}$$

Voor het gebruikte bedmateriaal wordt nu voor het temperatuurbereik tussen 750 °C 950 °C de volgende waarde voor de minimale fluidisatiesnelheid berekend:

$$V_{mf} \approx 0,04 \text{ [m sec}^{-1}\text{]}$$

terwijl voor de gassnelheid, waarbij pneumatisch transport van het materiaal optreedt, dus de *maximale fluidisatiesnelheid* gevonden wordt [5]:

$$V_p \approx 4,0 \text{ [m sec}^{-1}\text{]}$$

Bij de uitgevoerde experimenten varieerde de superfiële gassnelheid tussen de waarden: 1,50 - 2,40 [m sec⁻¹].

Bij deze gassnelheden werden fluidisatiepatronen waargenomen waarbij gasbellen optraden van een grootte, vergelijkbaar met de fluid-bed diameter ('slugging').

— De *overmaat lucht* die voor een volledige verbranding — gedefinieerd als minder dan 100 ppm CO in de rookgassen — nodig was, bleek duidelijk een functie van de verbrandingstemperatuur te zijn, dit wordt in tabel III weergegeven.

TABEL III - Relatie tussen overmaat verbrandingslucht en verbrandingstemperatuur.

Verbrandingstemperatuur in het fluid-bed	Overmaat lucht, boven de stoichiometrische hoeveelheid
950 °C	10 %
900—950 °C	20 %
850—900 °C	40 %
800—850 °C	55 %

— Rekening houdende met de eis van volledige, reukloze en zelfonderhoudende verbranding kan worden gesteld dat de *minimale slibtoevoer* bij een gegeven fluid-bed bepaald wordt door de luchthoeveelheid die bij de minimale fluidisatiesnelheid hoort. Als de slibtoevoer onder deze minimale waarde daalt dan zal ook de verbrandingstemperatuur dalen, waarbij als eerste de eisen van 'reukloosheid' en 'volledigheid' voor de verbranding zullen worden overschreden. Door het toevoeren van extra warmte, bijv. via de fluidisatielucht, kan dit eventueel worden verholpen.

De *maximale slibtoevoer* zou kunnen worden berekend uit de hoeveelheid fluidisatielucht, die bij de maximale fluidisatiesnelheid behoort, waarbij dus nog net geen pneumatisch transport van het bedmateriaal optreedt.

In de meeste gevallen wordt echter aan deze maximale slibtoevoer door een ander mechanisme al eerder een grens gesteld en wel als volgt: aangenomen kan worden dat door de goede menging in het fluid-bed het toegevoerde slib homogeen verdeeld wordt over het bedmateriaal. Hier vindt warmte-overdracht plaats door direct contact tussen bedmateriaal en slibdeeltjes, de slibdeeltjes worden opgewarmd, ontstoken en verbrand. Het fluid-bed materiaal wordt hierdoor weer opgewarmd, waarna het proces zich herhaalt. Als nu de slibtoevoer zo groot wordt dat alle deeltjes van het fluid-bed materiaal met slibdeeltjes bedekt zijn, dan wordt bij verder vergroten van de slibtoevoer het slib niet meer zo goed verwarmd, ontstoken en verbrand als dit bij lagere slibtoevoersnelheden het geval was. Het slib zal zich in het fluid-bed ophopen, de verbrandingstemperatuur daalt, de verbranding zal niet meer reukloos en volledig zijn en op den duur ook niet meer zelfonderhoudend. Deze grens werd nu in ons onderzoek geconstateerd, en wel bij de volgende waarde van de slibtoevoer:
 $S \geq 1,2$ kg slib per uur per kg bedinhoud.

Boven deze grens werd de verbranding onvolledig, de verbrandingstemperatuur daalde, er trad zelfs sterke roetvorming op. Het vochtgehalte van het slib heeft op deze grenswaarde geen invloed. De maximale thermische capaciteit van de fluid-bed oven is hierdoor en door de verbrandingswaarde van het gebruikte slib bepaald op ca. 4100 kcal per uur per kg bedinhoud (4,7 kW per kg bedinhoud).

— De *maximale bedtemperatuur* werd bepaald door de sinteringseigenschappen van de asresten en van het bedmateriaal. Bij het door ons gebruikte bedmateriaal en slibsoort trad bij 950 °C sintering van de asresten op, hetgeen de verdere uitvoering

Symbolenlijst

d_p	gemiddelde deeltjesdiameter	[m]
g	versnelling zwaartekracht	[m sec ⁻²]
S	slibtoevoer	[kg slib hr ⁻¹ kg bedinhoud ⁻¹]
V_{mf}	minimale fluidisatiesnelheid	[m sec ⁻¹]
V_p	gassnelheid bij pneumatisch transport	[m sec ⁻¹]
ρ_g	dichtheid gasfase	[kg m ⁻³]
ρ_s	dichtheid vaste fase, bedmateriaal	[kg m ⁻³]
η	dynamische viscositeit gasfase	[kg m ⁻¹ sec ⁻¹]
Ga	getal van Galilei	[—]
Re_{mf}	getal van Reynolds, betrokken op minimale fluidisatiesnelheid	[—]

van het proces bemoeilijkt en tenslotte onmogelijk maakte. Na afkoeling moest het gesinterde fluid-bed als één geheel worden verwijderd. Door gloeiproeven vooraf kan de sintergrens bepaald en eventueel door toevoegen van bepaalde metaaloxiden verschoven worden [5].

— De hoogte van het fluid-bed en daarmee de hoeveelheid bedmateriaal had geen duidelijke invloed op de proceslimiteringen binnen het onderzochte gebied. Bij visuele waarneming bleek dat bij een bedinhoud van 10 kg zand, overeenkomend met een statische bedhoogte van 0,21 m, waarbij de bedhoogte dus gelijk aan de beddiameter is, een rustige, gelijkmatige verbranding optrad.

— De verbranding vindt vrijwel volledig in het fluid-bed plaats. Slechts dan, als een gedeelte van de voor de verbranding benodigde minimale hoeveelheid lucht als secundaire lucht werd toegevoegd, werden sterke vlamverschijnselen boven het fluid-bed waargenomen; in sommige gevallen werd dan de gehele freeboard door vlammen gevuld.

— De invloed van de verblijftijd van de rookgassen op de volledigheid van de verbranding werd nagegaan, door op halve hoogte in de freeboard de CO-concentratie te meten en deze te vergelijken met de CO-concentratie aan het einde van de freeboard. Het bleek uit deze metingen dat een verblijftijd van 1 - 2 seconden in de freeboard ruim voldoende is om de maximaal toegelaten CO-concentratie van 100 ppm in de rookgassen te bereiken.

— Als laatste stap werd nog nagegaan of het toegevoerde slib inderdaad totaal uitgebrand was. De asresten werden hiertoe aan een elementanalyse onderworpen, hetgeen tot resultaat had dat er naast anorganisch materiaal slechts 0,2 % koolstof in de asresten aanwezig was.

kan technisch zeer goed in een fluid-bed oven worden uitgevoerd. Het werkgebied van de oven wordt daarbij begrensd door bepaalde proceslimiteringen zoals in deze bijdrage aangegeven. De vraag echter of dit fluid-bed proces ook economisch aantrekkelijk is, dient nog te worden beantwoord.

De auteurs danken ir. R. J. Kikkert en ir. F. A. J. Loos voor hun belangrijke bijdrage aan dit onderzoek [11] en de heren ing. J. Meinema en A. G. J. Rooks voor hun waardevolle technische assistentie bij de realisatie van het apparaat en de uitvoering van de experimenten.

Literatuur

- Melick, L. van; *Waarheen met het slib?* Water 54 (1970).
- Leva, M.; *Fluidization*, McGraw-Hill, 1959.
- Kunii, D., Levenspiel, O.; *Fluidization Engineering*, New York, Wiley, 1969.
- Davidson, J. F., Harrison, D.; *Fluidization*, London, Academic Press, 1971.
- Röben, K. W., Hilgraf, P.; *Auslegung und Betriebsverhalten von Wirbelschichtöfen zur Verbrennung industrieller und kommunaler Schlämme*, Verfahrenstechnik 9 (1975) Nr. 10.
- Liao, P. B., Pilot, M. J.; *Air pollutant emission from Fluidized-bed sewage sludge incinerators*. W. & S. Works, February 1972, p. 68.
- Tomalet, M.; *Incineration des Boues urbaines en lit fluidisé*, Rev. Gen. Term. Fr. 150-151, (1974), p. 511.
- Liao, P. B.; *Fluidized-bed incinerator design*, JWPCF 46 (1974) Nr. 8.
- Haenen, W., Koning, A.; *Ontwerprapport van gefluidiseerdbed reactor voor drogen en verbranden van huishoudelijk rioolslib*, 10 maart 1970, TH Twente.
- Vanecek, V., Markvart, M., Drbohlav, R.; *Fluidized-bed drying*, London, Hill, 1966.
- Kikkert, R. J.; *Het verwerken van huishoudelijk rioolslib door verbranding in een fluid-bed installatie*, Afstudeeropdracht, TH Twente, 1976.



Reactie op: 'Nogmaals: Monstername- frequentie van rivierwater'

In nr. 18/77 van H₂O verscheen onder de titel: 'Nogmaals: Monsternamefrequentie van rivierwater' een reactie van de heer A. Wedemeier op ons artikel 'Enkele berekeningen inzake de monsternamefrequentie van rivier- en afvalwater'. Door een misverstand waren we helaas niet in de gelegenheid onze mening omtrent deze reactie in hetzelfde nummer kenbaar te maken. Ons commentaar zullen wij voor de duidelijkheid aan de hand van de aangehouden indeling van de heer Wedemeier weergeven.

ad Aselecte trekkingen

Wij hebben voor onze berekeningen bestaand materiaal gebruikt om de door ons voorgestelde methode te illustreren. Het was ons bekend op welke wijze dit materiaal tot stand was gekomen, doch wij zijn er voor de berekening vanuit gegaan, dat de monsters aselect genomen waren. Het ligt voor de hand, de wijze van monstername te wijzigen, wanneer hiermede tot een wezenlijk beter resultaat gekomen kan worden. Wij hebben echter de indruk dat de invloed hiervan marginaal zal zijn. Trouwens het commentaar laat ruimte voor deze opvatting.

ad Onderlinge afhankelijkheid

Dat de door ons gebruikte waarnemingen onderlinge afhankelijkheid vertoonden was ons bekend, getuige de zinsnede die wij eraan wijdden in de discussie. Op het moment dat wij ons artikel schreven was ons geen methode bekend waarmee het mogelijk was de onderlinge afhankelijkheid van de waarnemingen bij de berekeningen te betrekken. Tijdens overleg met drs. P. Müskens (Katholieke Universiteit Nijmegen) kwam destijds naar voren, dat hiertoe in principe wel mogelijkheden aanwezig waren, doch dat er denk- en rekenwerk voor nodig zou zijn om zover te komen. Inmiddels heeft ir. J. G. de Graan (RID) eveneens zijn belangstelling voor deze materie getoond. Wij hopen dan ook dat wij met een gezamenlijke inspanning met genoemde deskundigen tot een oplossing van het gestelde probleem kunnen komen. Bij deze oplossing zullen zeker enkele aannamen moeten plaatsvinden, die niet voor 100 % juist zijn. Maar zij die zich voor statistiek interesseren, kunnen zich troosten met de gedachte dat 'niets geheel waar is en zelfs dat is niet geheel waar'. De methode die de heer Wedemeier voorstelt, waarbij een zodanige monstername-

Slotopmerkingen

Het verbranden van voorgedroogd rioolslib