

Verbrandingswaarde van zuiveringsslib en de vereiste ovencapaciteit

Van de verschillende methodieken van slib-verwerking ondervindt verbranding nogal weerstand. Deze weerstand is terug te voeren naar factoren soms van rationele en soms van minder rationele aard, zoals hergebruik van afvalstoffen, schroom voor het project van zeer hoge technische kwaliteit en het energievraagstuk, omdat bij verbranding van slib in vele gevallen extra energie moet worden aangevoerd en tenslotte de alom postgevatte gedachte dat verbranding van slib duur is.



DR. H. J. EGGINK
Gemeenschappelijke
Technologische Dienst
Oost-Brabant

Hergebruik blijft hier buiten discussie en vooral het energievraagstuk wordt besproken, omdat op die plaats de sleutel van de capaciteit van verbranding en van de kosten ligt.

Bij verbranding denken we aan het stoken van een ketel met kolen, olie, turf of gas. Onze primaire kennis van verbranding berust op deze stooktechnieken. In de mij ter beschikking staande encyclopedie vond ik het volgende over de samenstelling van steenkolen: 'Voor stooktechnische doeleinden is de bepaling van de hoeveelheid onzuiverheden (as en water), verbrandingswarmte en koolkarakter (verbrandings-snelheid) van primair belang.....'

Ik wil daar graag een omschrijving uit een technische vraagbaak aan toevoegen:

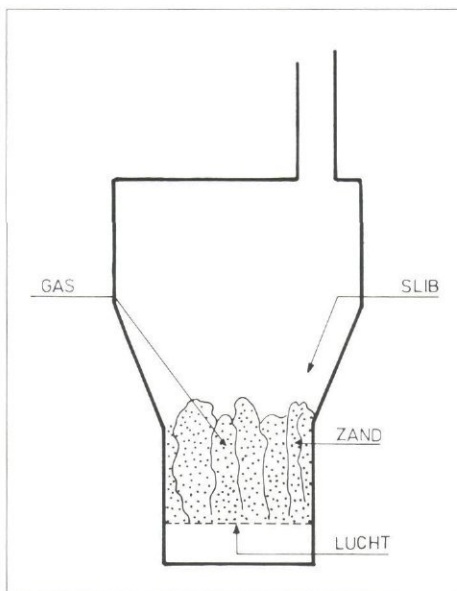
'Het watergehalte van kolen direct uit de mijn bedraagt 2-10%, soms 14%. Door wassen en opslag in de lucht kan dit gehalte belangrijk toenemen. Wil men zekerheid, dat de betaalde prijs evenredig is met de per kg geleverde hoeveelheid calorieën, dan is het aangewezen een garantie te vragen betreffende het gehalte aan as en water'.

In tegenstelling tot kolen, waar de 'onzuiverheden' in de orde van grootte van 10-14% liggen, moet bij verbranding van slib gewerkt worden met circa 80% onzuiverheden. Slechts circa 20% vertegenwoordigt stookwaarde.

Kernvraag bij de verbranding van slib is dan ook de vraag hoeveel stookmateriaal per eenheid nog beschikbaar is om onder meer de grote hoeveelheid water te verdampen. De oven is meer een verdampers dan een verbrander. Naast variatie in watergehalte, is de variatie in verbrandingswaarde van de organische stof vrij aanmerkelijk en is ook de variatie in asgehalte aanzienlijk.

'Er is geen slibsoort gelijk'.

De schommelingen in gehalten van de verschillende componenten zijn zo groot, dat



Afb. 1 - Verbranding in wervelbedoven.

de samenstelling van het slib een aparte analyse vereist. In het hierna volgende zal op deze samenstelling ingegaan worden en aangegeven worden, hoe deze de verbrandingswaarde van het slib beïnvloedt. Het begrip autothermische verbranding komt in deze analyse aan de orde. En ook hier blijkt weer, dat ondanks de grote verscheidenheid, toch zekere wetmatigheden zijn te ontdekken.

Praktijkgegevens voor dit onderzoek werden verkregen aan de hand van de ervaringen die in het waterschap De Maaskant en wel op de zuiveringsinrichting Oyen werden opgedaan

met verbranding van slib in een wervelbedoven [lit. 4].

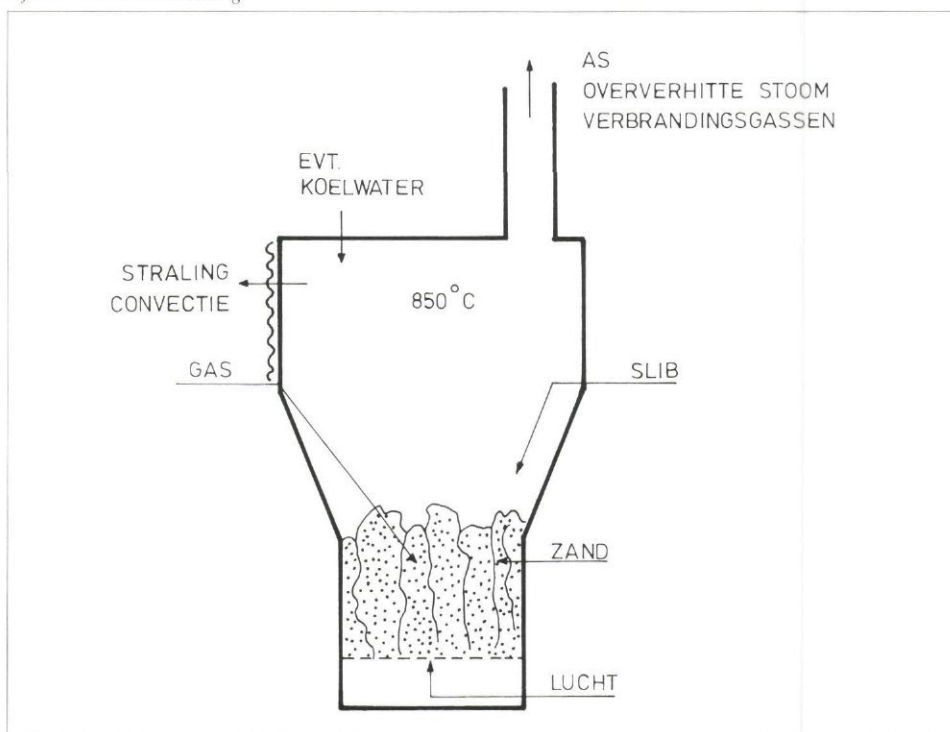
Het zal blijken, dat het analytisch onderzoek leidt in de richting van autothermische verbranding. Ingegaan zal worden op de vraag of uitgegist slib voor verbranding in aanmerking komt en op de gewenste ontwikkeling van de ontwateringstechnologie, om tot autothermische verbranding te komen.

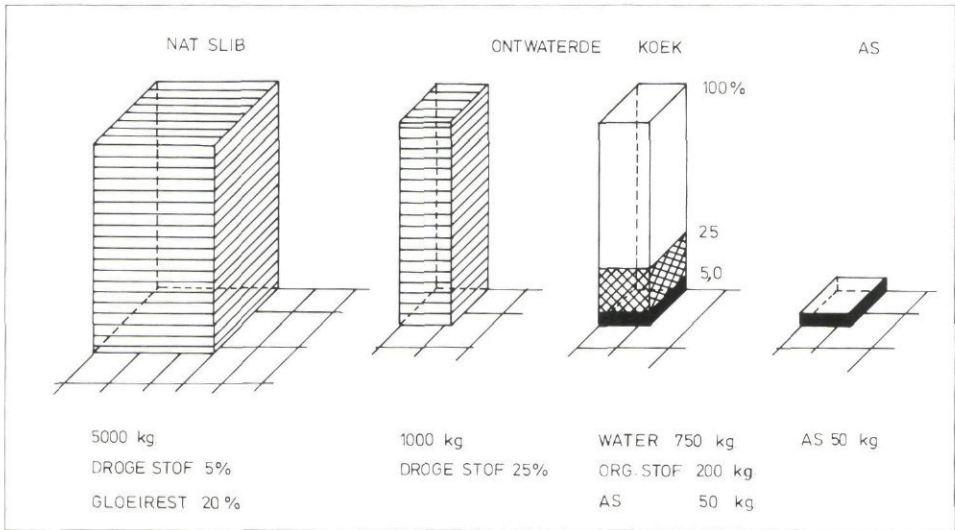
Het verbrandingsproces schematisch

In afb. 1 is het verbrandingsproces in een wervelbedoven schematisch samengevat. Om de discussie niet te compliceren zijn randvoorwaarden, betrekking hebbende op de stooktechniek en de regeling van de oven buiten beschouwing gelaten. Slib wordt met behulp van een lans in de oven gepompt. Het verdeelt zich in het wervelbed en gaat bij temperaturen van 800-850 °C tot verbranding over. Voor zover nodig, kan extra toevoer van energie plaatsvinden door toevoer van gas of olie.

Voor het verbrandingsproces is zuurstof nodig, die met lucht wordt aangevoerd. De luchtstroom dient tevens om het zandbed in werveling te brengen. De gevormde rookgassen worden gezuiverd. De as wordt in een filter gescheiden en vervolgens gedumpt. Uit een oogpunt van warmtehuishouding ziet dit schema er wat ingewikkelder uit (afb. 2). Bij dit 'merkwaaardige' verbrandingsproces, waarin de organische stof de energie moet leveren, moet nogal eens extra energie toegeleverd worden om in hoofdzaak het teveel aan water in het slib op te warmen, te

Afb. 2 - Warmtehuishouding.





Afb. 3 - Ontwateren en verbranden van slib.

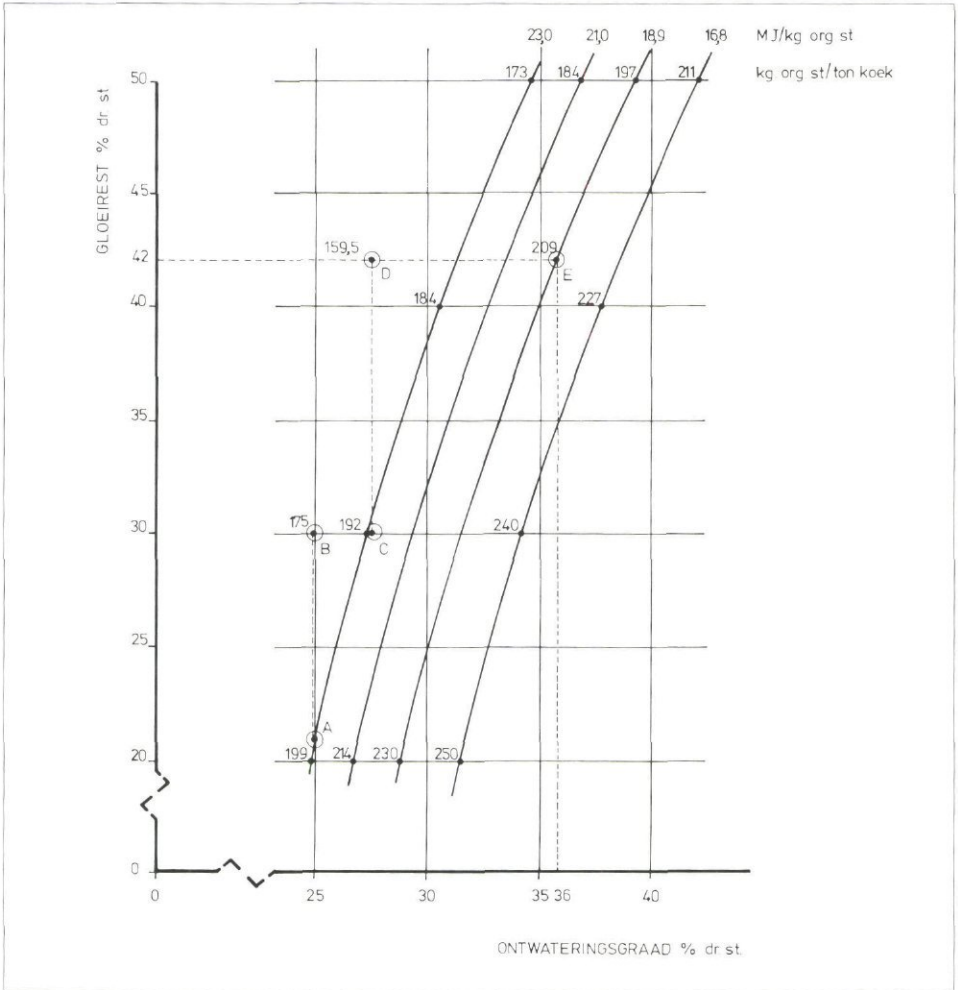
verdampen en de stroom te verhitten tot een temperatuur van circa 850 °C. Het water uit het slib verlaat de oven als oververhitte stoom. Bij autothermische verbranding dekt de vrijkomende energie uit de organische stof de volgende "behoeften": de uitworp aan oververhitte stoom + verbrandingsgassen en as en de straling + convectieverliezen. Een correctie dient plaats te vinden voor de voorverwarming van de aangevoerde lucht. In feite bepaalt het watergehalte dan wel het droge-stofgehalte van het slib voor een zeer groot deel deze balans. Daarbij wordt een deel van de droge stof door de as ingenomen. Zoals reeds vermeld, moet de stookwaarde uit de organische stof worden verkregen. Verhoogde gehalten aan as (gloeirest) vereisen alleen maar (nog) hogere gehalten aan droge stof om voor autothermische verbranding de benodigde energie beschikbaar te stellen.

Formulering autothermische verbranding

De verhoudingen van water, organische stof en as worden nog eens weergegeven in de schematische afb. 3. In deze afb. is uitgebeeld, welke hoeveelheden aan nat slib via ontwatering worden omgezet in ontwaterde koek. Het blijkt dat in 1 ton koek 200 kg organische stof de energie moet leveren voor het verwarmings- en verdampingsproces van circa 750 kg water, opwarming van 50 kg as en voorziening in verlieswarmte van de oven (schoorsteenverliezen + uitstraling en convectie). Bij het ontwerpen van een conventionele verbrandingsoven wordt ervan uitgegaan, dat de oven een rendement van 70% heeft, wat wil zeggen, dat 70% van de toegevoerde energie ten goede komt aan het verdampingsproces. Voor de resterende 30% geldt, dat het merendeel bestemd is voor opwarming van de verbrandingslucht en de gevormde verbrandingsprodukten. Een klein

gedeelte dekt de verliezen aan stralingswarmte en convectie. Het hier beschreven verbrandingsproces voor de situatie van energetisch evenwicht, of autothermische verbranding per gewichtseenheid, is bij benadering als volgt te formuleren:

Afb. 4 - Autothermische verbranding. Thermisch ovenrendement 70%.



$\alpha \times (1-B) \times \text{verbrandingswaarde} \times 0,70 = (1 - \alpha) \times 4,274$
 α = gehalte droge stof (%)
 B = gloeirest (% van de droge stof)
verbrandingswaarde = onderstookwaarde organische stof (kJ per kg droge stof)
0,70 = rendement oven
4,274 = warmte inhoud oververhitte stoom (850 °C bij 1 atm, kJ/kg)
 $1 - B$ = gehalte aan organische stof.
In deze formulering zijn drie variabelen, te weten: de verbrandingswaarde van de organische stof, het droge-stofgehalte en de gloeirest opgenomen. In afb. 4 is de onderlinge relatie van deze factoren nader uitgewerkt, daarbij uitgaande, zoals reeds eerder vermeld, van energetisch evenwicht.

De verbrandingswaarde van de organische stof

Uit onderzoeken is gebleken, dat al naar herkomst en wijze van behandeling, de organische stof in het slib variatie in de verbrandingswaarde in zich heeft. Vers slib en ook vers mengslib heeft een hogere verbrandingswaarde dan bijvoorbeeld uitgedist of aëroob gemineraliseerd slib. Bij onderzoeken op het laboratorium van de

TABEL 1 – Verbrandingswaarden slibsoorten per kg organische stof.

	CZV	MJ
primair slib (vers)	1,7	22,1
secundair slib	1,4	18,2
mengslib (vers)	1,6	20,8
mengslib (uitgerot)	1,5	19,5

GTD is vastgesteld, dat de verbrandingswaarde zeer goed meetbaar is met behulp van de CZV-bepaling [1, 3]. 1 kg CZV komt overeen met een stookwaarde van circa 13 MJ (circa 3.125 kCal.). Vergelijking van gemeten calorische waarden en berekeningen van de stookwaarde van het slib leidden voor enkele monsters tot de resultaten, samen-gevat in tabel I.

Deze gegevens zijn in recente tijd aangevuld met andere, die deze resultaten nog eens bevestigen. De belangrijkste conclusie is wel, dat verschillende slibsoorten in verbrandingswaarde meer dan 20% uiteen kunnen liggen.

De invloed van de stookwaarde van de organische stof en van de gehalten aan droge stof en gloeirest op het stookevenwicht.

In afb. 4 zijn bij 4 verschillende verbrandingswaarden de curven van slibsoorten opgenomen, die leiden tot autothermische verbranding. Op de verticale as is de gloeirest aangegeven, op de horizontale het gehalte aan droge stof.

Het is duidelijk, dat gezien het gebruik van een globale benaderingsformule en de aanname van een stookrendement van 70%, de resultaten uit de afb. niet in absolute zin mogen worden gezien. In globale zin blijkt, dat bij een gloeirest van circa 20% en een droge-stofgehalte van 25% van thermisch evenwicht sprake is bij een vers slib (bijvoorbeeld primair slib). De waarde van 25% droge stof voor het bereiken van thermisch evenwicht, wordt vrij algemeen in de literatuur vermeld [5]. Ook andere waarden (veelal hogere) worden vermeld [7]. Dit behoeft, zoals uit de verdere behandeling zal blijken, elkaar niet te weerspreken. Zodra het gehalte aan gloeirest van de droge stof hoger ligt en/of de verbrandingswaarde lager, zijn voor thermische balans hogere droge-stofgehalten vereist. In de afb. is een indruk gegeven van de hoeveelheden organische stof per 1.000 kg slibkoek, die in verschillende gevallen benodigd zijn voor het stookevenwicht. Wordt een slibsoort met een slechte stookwaarde (bijvoorbeeld 16,8 MJ) vergeleken met een van circa 23,0 MJ, dan moet bij eenzelfde gloeirest (bijvoorbeeld 20%) in het eerste geval een droge-stofgehalte van rond 32% worden bereikt om stooktechnisch in balans te zijn. In het tweede geval behoeft dit gehalte niet meer dan ongeveer 25% te bedragen. Hier wordt op teruggekomen bij de behandeling van de

capaciteit van de verbrandingsoven. De afb. vergemakkelijkt een aantal beschouwingen die met verbranding van slib samenhangen. De vereiste extra energie, als slib een te laag droge-stofgehalte heeft en daardoor niet voldoet aan de voorwaarde energetisch evenwicht, laat zich bijvoorbeeld benaderen. Daaruit is weer af te leiden, dat slibgisting en verbranding van uitgegist slib elkaar niet verdragen mits En dit mits heeft dan betrekking op de eis om toch wel tot hoge droge-stofgehalten te kunnen ontwateren, terwijl ook het thermische rendement van de oven aanzienlijk moet worden opgevoerd. En tenslotte zijn hieruit gegevens voor de capaciteit (of zich wijzigende capaciteiten) van verbrandingsovens te concluderen.

De extra warmtetoevoer

Worden twee verse slibsoorten vergeleken met hetzelfde droge-stofgehalte (25%) en echter een verschil in gloeirest 20 en bijvoorbeeld 30% (zie A en B), dan moet van elk der slibkoeken 750 kg water verdampt worden.

De slibsoort B heeft een tekort van rondweg $200 - 175 = 25$ kg organische stof aan stookwaarde (circa 576 MJ).

Dit tekort kan bijvoorbeeld met gas worden aangevuld; per ton slibkoek moet in dit geval circa $18,2 \text{ N}^3$, aardgas ($1 \text{ Nm}^3 = 31,7 \text{ MJ}$) worden toegevoerd.

Verbranding van uitgegist slib

Om wat meer te kunnen zeggen over de relatie slibgisting-verbranding, wordt weer een bepaald geval als voorbeeld behandeld. Een slibsoort van de samenstelling C (droge stof 27,5%, gloeirest 30%) is als vers slib thermisch ongeveer in evenwicht. Na uitgisting heeft het een samenstelling verkregen aangeduid met D. — Om de zaak niet te compliceren is hierbij aangenomen, dat uitgegist slib niet beter is te ontwateren dan vers slib, een aanname die in de praktijk veelal wordt bevestigd —. Door de uitroting verandert het slib in tweeërlei opzicht in samenstelling. Gemakkelijk vergistbare verbindingen als lagere vetzuren verdwijnen, verbindingen van hogere orde worden afgebroken tot ketens van lagere orde; de verbrandingswaarde loopt terug van circa 23,0 MJ/kg organische stof tot bijvoorbeeld 18,9 MJ. Bovendien stijgt door de omzetting van de organische stof de gloeirest (voorbeeld D). De 'dubbele' wijziging in samenstelling heeft tot gevolg, dat bij verbranding voor energetisch evenwicht niet een droge-stofgehalte van 27,5%, maar van circa 36% bereikt zou moeten worden (voorbeeld E). Ondanks verwachte ontwikkelingen in de ontwateringstechnologie en in de warmterendementen van de ovens (zie paragraaf ovenrendement), lijkt het een

immense opgave, deze droge-stof-trap te overbruggen. Voor sommige slibsoorten blijkt dat bij toepassing van de modernste technieken toch mogelijk te zijn [2].

De capaciteit van een verbrandingsoven

Om technieken van slibbehandeling in kosten te kunnen vergelijken, moet uitgegaan worden van een eenheidsmaat. In het algemeen wordt daarvoor één ton droge stof per tijdseenheid gekozen.

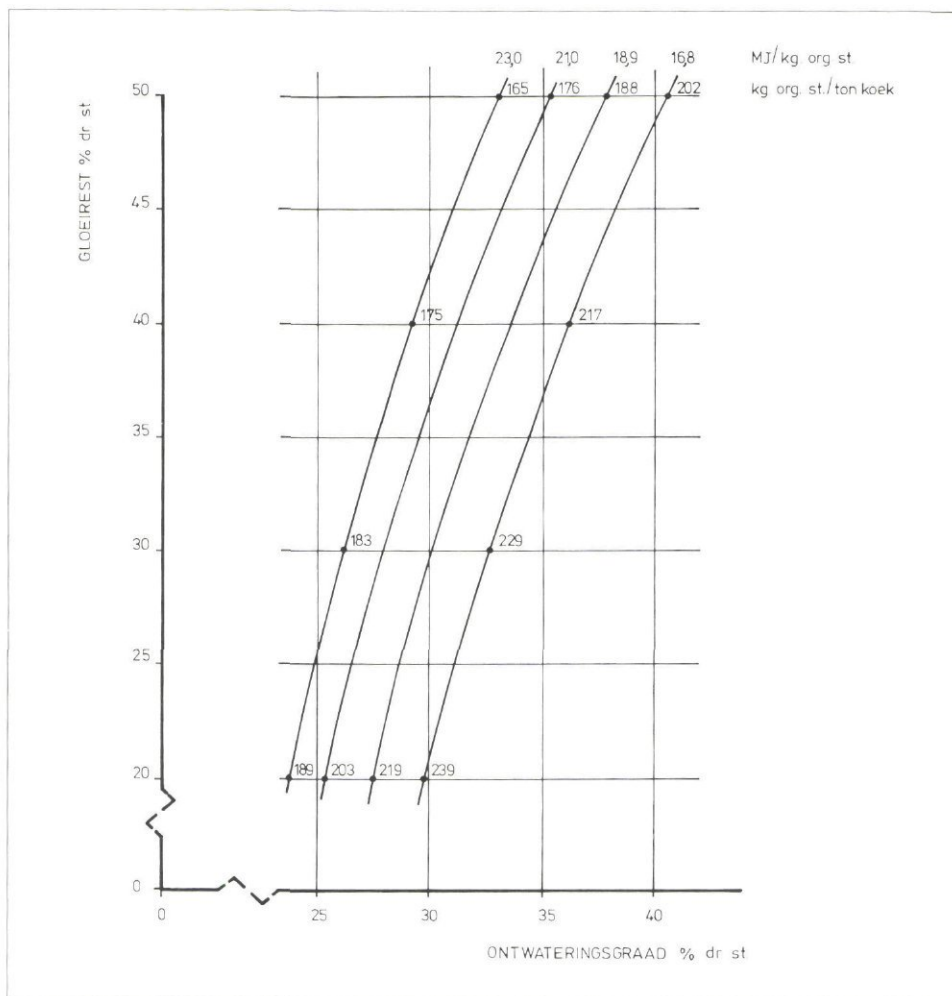
Met het voorgaande in gedachte zal het duidelijk zijn, dat deze basismaatstaf voor een verbrandingsoven voor slib wat vreemd overkomt. Het volgende kan daarover gezegd worden.

Slibsoorten A en B (afb. 4) worden weer als behandelingsvoorbeelden gekozen. Voor slib A bestaat bij verbranding thermisch evenwicht. Slib B, met 10% hoger gehalte aan anorganisch materiaal, heeft een tekort aan organische stof van 25 kg, zijnde 1/8 deel van de hoeveelheid stookwaarde die bij A beschikbaar is. Deze hoeveelheid moet door andere brandstof vervangen worden om dezelfde hoeveelheid water te kunnen verdampen. Te berekenen is, dat het tekort aan stookwaarde voor de capaciteit aan verbranding in ton droge stof per tijdseenheid een verlies van circa 16% stookcapaciteit betekent. De slibsoort B zou in de samenstelling van slib C, dus met 27,5% droge stof bij verbranding zelfsupporting zijn. Het verschil in gehalte droge stof tussen B en C bedraagt 2,5%. Als ruwe benadering is hieruit voor een tekort aan stookwaarde per procent droge stof een oven-capaciteitsverlies van circa 6% te berekenen. Een dergelijk percentage is ook ongeveer te benaderen voor slib van de samenstelling E ten opzichte van die van D. Geconcludeerd kan worden, dat een tekort aan verbrandingswaarde in het slib, die bijstoken met andere brandstof noodzakelijk maakt, de capaciteit van de oven in ton droge stof per tijdseenheid verlaagt. Als vuistregel* is te hanteren, dat een tekort aan droge stof per procent droge stof gepaard gaat met een verlies in oven-capaciteit van circa 6%. Bij een slibsoort die tot 20% is te ontwateren (en circa 20% gloeirest heeft), loopt de oven-capaciteit (uitgedrukt in ton droge stof per uur) terug met circa 30% van de ontwerp-capaciteit. Het is duidelijk, dat de kosten van verbranding per ton verwerkte droge stof evenredig met de verhouding stijgen.

Ontwatering en verbranding

Als over verbranding wordt gesproken, dan wordt daarbij in de eerste plaats aan stoffen

* De discussie beperkt zich hier weer tot een vuistregel. Het bijstoken van brandstof, met name methaangas, vereist extra zuurstof, dus lucht. De luchttoevoer bij een fluid-bed oven kan ook beperkend zijn voor de oven-capaciteit. Hierop is in dit bestek niet ingegaan.



Afb. 5 - Autothermische verbranding. Thermisch ovenrendement 75%.

gedacht, die verbranden kunnen. Water hoort daar evenals anorganisch materiaal niet bij. Water en zand zijn materialen om een brand te blussen.

De grote drawback van slibverbranding is het hoge watergehalte en in mindere mate het hogere gehalte aan minerale bestanddelen. Op zichzelf is verbranding van slib ook bij toevoer van extra energie een degelijke en betrouwbare behandelingstechniek. Er zijn echter twee redenen waarom met grote inzet gewerkt moet worden om tot autothermische verbranding te komen, te weten:

- de energieschaarste en
- de kosten van verbranding.

Op de kosten van verbranding wordt in een apart hoofdstuk ingegaan.

Voor autothermische verbranding is het nodig, dat het droge-stofgehalte van de meeste slibsoorten wordt opgevoerd. Uit afb. 4 is af te leiden, dat in feite circa 30% droge stof vereist is, om een groter deel van de slibsoorten voor verbranding (onder redelijke kosten) in aanmerking te doen komen.

Tot nu toe is dat niet haalbaar. De huidige generatie centrifuges en zeefbandpersen staan toe, dat bij sommige slibsoorten circa

25% droge stof wordt verkregen, soms oplopend tot 27%. Bij toepassing van filterpersen wordt weliswaar een koek van circa 35% droge stof geproduceerd, het gehalte aan anorganische verbindingen (inclusief kalk en ijzer) ligt echter zo hoog (50% en hoger), dat maar krap van autothermische verbranding sprake is. Enkele nadelen samenhangend met de toepassing van kalk (eventuele caustinerings en relatief hoge asbesthoeveelheden) worden hier niet verder besproken.

In feite komt deze discussie neer op de vraag, of nieuwe ontwikkelingen op ontwateringsgebied te verwachten zijn die verbranding naderbij brengen. Het antwoord daarop kan positief zijn. Op het gebied van de zeefbandpersen is thans een derde trap 'perspartij' in ontwikkeling, die in vele gevallen leidt tot hogere droge-stofgehalten. Op deze derde trap worden onafhankelijk van de voorgaande, hogere plaatselijke drukken toegepast op slib, dat al een zekere ontwateringsgraad heeft bereikt en daarom deze hogere drukken toestaat. Op het gebied van de filterpersen zijn nieuwe ontwikkelingen gaande, waarbij per filterkamer de druk kan worden opgevoerd.

Bij het gebruik van relatief lage kalkhoeveelheden worden soms aanmerkelijk hogere droge-stofresultaten verkregen.

Het ovenrendement

Bij de besprekingen over verbrandingsmogelijkheden van slib werd uitgegaan van de conventionele oven. Uit het artikel van Schurr und Vater [2] haal ik aan:

'Man wird sich fragen, warum eigentlich nicht schon früher solche energiesparende Anlagen gebaut wurden? Nun, die Energiesituation war eben vor 15 und 20 Jahren völlig anders gewesen. Was uns heute so plausibel erscheint, konnte damals durch einfache Heizkostenrechnung widerlegt werden. Erst die veränderten Energieverhältnisse haben den jetzigen Aufwand an Einrichtungen gerechtfertigt. Unterstützend kam dazu, dass die Technik durch eine Weiterentwicklung der Verfahren und Betriebsweisen auch die notwendigen Handhaben dafür lieferte. So wird der verantwortungsbewusste Ingenieur dort, wo heute neue Schlammverbrennungsanlagen gebaut werden müssen, sicher solche oder ähnliche energiesparende Verfahren zum Einsatz bringen'.

Het is thans een zekerheid, dat in de huidige generatie met verbrandingsovens van een hoger (dan 70) energierendement wordt gewerkt. Dit wordt bereikt door extra recuperatieprocessen, waaronder toepassing van afvalwarmte voor droging van de slibkoek.

Wordt voor de hier gegeven beschouwingen uitgegaan van een overall-rendement van 75% (een rendement van slechts 5% meer), dan leiden de berekeningen van afb. 4, tot de curven in afb. 5. Het belangrijkste verschil met de situatie van afb. 4 is, dat thermisch evenwicht wordt bereikt bij wat lagere droge-stofpercentages van het slib. Door een 5% rendementsverbetering kan met een circa 1 1/2% lager liggende ontwateringsgraad worden volstaan. In deze discussie is het niet van belang of de rendementsverbetering wordt verkregen door recuperatieprocessen, danwel door een extra slibdroging. Zeker is, dat de ontwikkeling in aangepaste stooktechnologieën heeft geleid tot ruimere mogelijkheden van autothermische verbranding. Daarmede is verbranding meer generaal binnen het bereik van slibbehandelingsmethoden gekomen.

Prognose van het werkgebied van autothermische verbranding

In voorgaande hoofdstukken werd een verwachtingspatroon geschetst van de ontwikkelingen die zich op het gebied van ontwatering en verbranding reeds hebben aangediend. Op grond van dit verwachtingspatroon is in afb. 6 aangegeven in welke werkgebieden (uitgaande van autothermisch

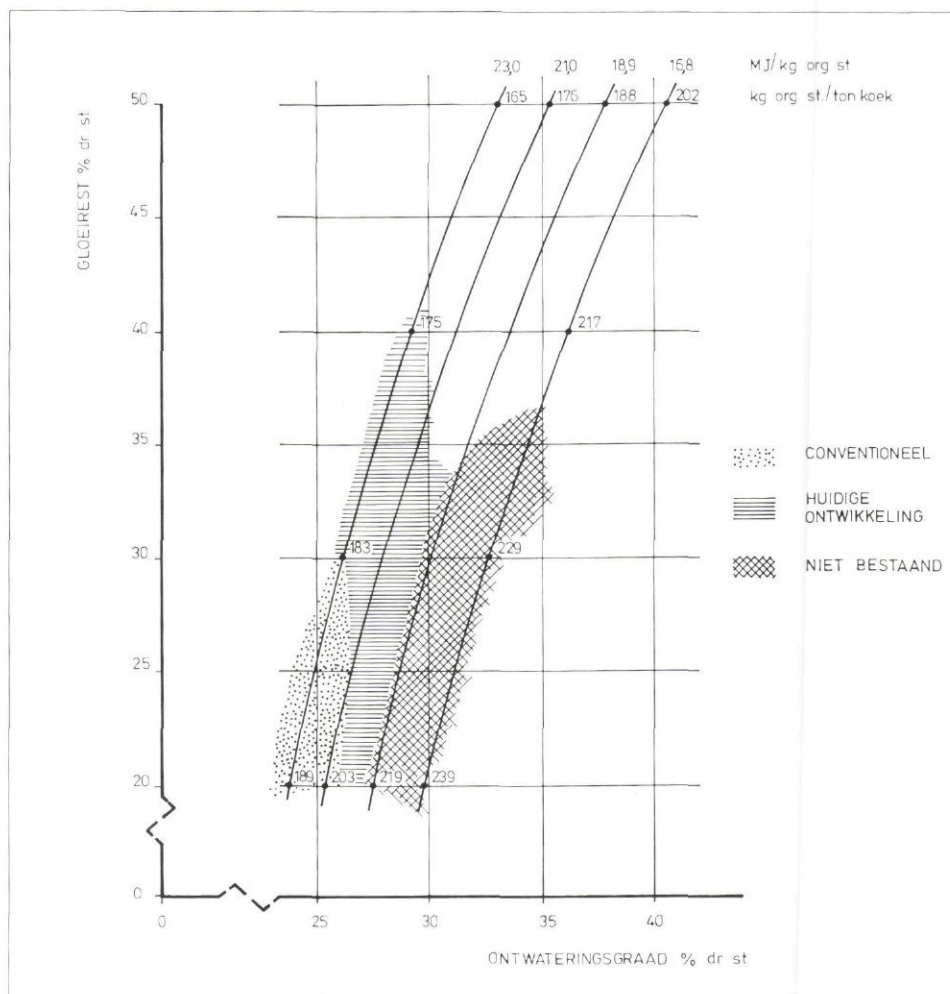
evenwicht) de verbranding zich tot nu toe ongeveer kan bewegen en welke verruiming ongeveer verwacht mag worden. Hierbij kan geen sprake zijn van duidelijk scherpe begrenzings. Het beeld wil alleen een aanwijzing geven, welke slibsoorten (zonder te hoge kosten) ongeveer voor verbranding in aanmerking komen. Tot nu toe moest bij ontwatering 25-26% droge stof voor een verse slibsoort worden bereikt. Met de huidige ontwateringsmethodieken mag worden aangenomen, dat droge-stofgehalten worden bereikt van 28-30%. In de afb. is de begrenzing van de gloeirest op 35 à 40% aangenomen. Met deze begrenzings wil niet gezegd worden, dat slibsoorten van bepaalde samenstelling zich niet boven 30% laten ontwateren, waardoor ook een autothermisch evenwicht kan ontstaan. Geconcludeerd kan worden, dat bij deze ontwikkelingen het werkgebied van verbranding zich in aanmerkelijke mate heeft verruimd.

De kosten van verschillende slibbehandelingstechnieken, waaronder verbranding

Als over kosten wordt gesproken, dient (veelal) een groot aantal veronderstellingen te worden vastgelegd, alvorens vergelijking van het kostenpatroon mogelijk is. Vergelijking is nog moeilijker, als de methodieken zo sterk uiteenlopen waardoor – de aannames niet vergelijkbaar zijn en bovendien – het technologisch resultaat in praktische zin sterk kan verschillen (bijvoorbeeld toepassing in de landbouw contra as bij verbranding).

Zou tegemoet moeten worden gekomen aan behandeling van de zeer grote verscheidenheid aan factoren, die het kostenpatroon bepalen, dan zou dit ver uitgaan buiten de scope van deze inleiding. Het kostenvraagstuk is een studie op zichzelf. Als hier dan toch een vergelijking wordt gegeven, dan moet deze gezien worden als een globale vergelijking van kosten in orde van grootte. Bovendien gegeven in de wetenschap, dat iedere poging tot exactheid vastloopt in een zee van discussies over de gekozen randvoorwaarden.

Uit deze vergelijking blijkt, dat slibgisting als stabilisatiemaatregel een dure maatregel is.



Afb. 6 - Werkgebied autothermische verbranding. Thermisch ovenrendement 75%.

De belangrijkste conclusie is wel, dat slibgisting gevolgd door transport naar de landbouw niet eens zoveel goedkoper is als ontwatering van vers slib, gevolgd door autotherme verbranding. Verbranding wordt pas een dure maatregel als slibsoorten worden aangeboden die 'bijstoken' noodzakelijk maken. De capaciteit gaat daardoor sterk terug, terwijl extra energie moet worden toegevoerd.

Samenvattende discussie

In de inleiding is reeds geschreven over de voorwaarde energetisch evenwicht bij verbranding van slib. Vervolgens werd dit toegelicht.

Hierbij is een aantal kanttekeningen te plaatsen. Als schrijver over verbranding hoeft men nog geen promotor van verbranding te zijn. Wel heb ik sterk het gevoel, dat verbranding maatschappelijk in een bijzonder 'slechte reuk' is geplaatst. Een slechte reuk vanwege:

- al of niet vermeende milieubezwaren en
- de hoge kosten.

Verbranding is en blijft een van de mogelijkheden om het slibvraagstuk op te lossen. Voor de soms immense problemen van dit vraagstuk in agglomeratieverband is deze methodiek geen 'wegwerpartikel'. Het is nodig, dat gericht wordt gewerkt aan de ontwikkeling van ontwateringstechnieken, leidend tot verbetering van de warmterendementen. Sommige van deze ontwikkelingen zijn thans reeds op gang. Voor de kosten van verbranding is dit van uitermate grote betekenis. Vergelijking van globale kosten van verschillende behandelingsstechnieken leidt tot de conclusie, dat autothermische verbranding als behandelingstechniek in kosten andere 'goedkope' technieken dicht benaderd is. Met de

TABEL II – Globale kostenvergelijking van enkele slibbehandelingsmethodieken in guldens per ton droge stof.

	Slibgisting	Ontwatering	Compostering	Verbranding autothermisch	Afvoer	Totaal
slibgisting landbouw	400	–	–	–	200	600
slibgisting compostering	400	250*	300*	–	p.m.	950
slibgisting verbranding	400	250	–	?	p.m.	?
compostering vers slib	–	300	350 – 400**	–	p.m.	650 – 700
verbranding vers slib	–	300	–	400	p.m.	700

* berekend op uitgangspunt

** uitgebreide stankvoorzieningen

[Lehman, 1962]. Nog steeds zijn er waarschijnlijk veel verschillende soorten scheppen te koop. De verschillen zijn gebaseerd op individuele verschillen, grondsoortenverschillen, gewoontever verschillen, verschillen in de werkmethode, verschillende soorten graafwerk, etc. In de literatuur is over deze verschillen weinig bekend.

Met behulp van een goed opgezet onderzoek zou het mogelijk moeten zijn voor de verschillende bedrijven aanbevelingen op te stellen voor de keuze van de schep voor een bepaald individu (of groepen individuen) bij bepaalde werkzaamheden. Als criterium zou dan moeten gelden een bepaalde prestatie met minimale rugbelasting. In afb. 5 zijn de relaties schematisch weergegeven. Als extra invloed op die relaties gelden ook werkmethode en grondsoort.

Met behulp van video-opnamen en de eerder genoemde beoordelingsmethode kan in combinatie met het oordeel van de graver de rugbelasting worden aangegeven. Wellicht dat ook andere technieken zich nog lenen tot het aangeven van de rugbelasting. Zo'n onderzoek zou dan bestaan uit het vergelijken van verschillende mensen met verschillend gereedschap bij verschillende werkzaamheden.

De resultaten van zo'n onderzoek kunnen bestaan uit richtlijnen voor de optimale schepkeuze bij bepaalde werkzaamheden, afhankelijk van persoonlijke kenmerken (bijv. lengte) van de graver. Het zou bijvoorbeeld kunnen blijken dat voor een lange graver de rugbelasting bij het graven van een klein gat in de grond lager is wanneer hij een schep gebruikt waarvan het blad een scherpe hoek maakt met de steel. Hierdoor kan hij de grond naar zich toe omhoog trekken.

Conclusie

Het graven is zwaar werk. Dit blijkt uit het energieverbruik en uit het oordeel van de fitters zelf. Meer dan de helft van de fitters vindt het graven van een sleuf in looppand of grond met puin en sintels zelfs te zwaar. Resultaten van de meting naar het maximale gewicht dat kan worden getild, liet zien dat het gewicht van de schep met grond te zwaar is om door iedereen zonder risico's op gezondheidsschade te worden gehanteerd. Verbeteringen zijn mogelijk. Allereerst kan de hoeveelheid graafwerk geminimaliseerd worden door samenwerking met anderen, goede voorbereiding en gebruik van putjes. De fitters die graven moeten meer geselecteerd en getraind worden aan de hand van voor het graven relevante aspecten. Medische begeleiding van de beroepsgroep kan gewenst zijn. De training zou samen met kennis over ergonomie aandacht moeten krijgen in de 'Gawalo'-opleiding.

De meest fundamentele en preventieve verbetering is de verlaging van de fysieke belasting, vooral de belasting van de rug, tijdens de graafwerkzaamheden. Hierdoor is het nodig om aan de hand van onderzoek aanbevelingen op te stellen over de werkmethode en gereedschapskeuze. Die aanbevelingen geven aan welke schep (vorm en afmeting) bij welke graafwerkzaamheden (spitten, sleufgraven, opscheppen) voor welke persoon (lengte, conditie) een minimale belasting geven bij gelijkblijvende prestatie.

Literatuur

- Astrand, P. O. and Rodahl, K. *Textbook of Work Physiology*. New York, McGraw Hill, 1977.
 Hoek, H. J. B. *Rugklachten in een bedrijf*. Haarlem, Erven F. Bohn NV, 1971.
 Lehman, G. *Praktische Arbeitspsychologie*. Stuttgart, Georg Thieme Verlag, 1963.
 NIOSH. *Technical Report: Work Practices Guide for Manual Lifting*. Ohio VS Department of Health and Human Services, Publication no.: 81-122.
 Grinten, M. P. van der en Poll, K. J. *Arbeid en Gezondheid, verslag van een onderzoek naar functioneren in de arbeids-situatie bij de Drinkwaterleiding Rotterdam (DWL)*. (Vertrouwelijk). Leiden, Nederlands Instituut voor Praeventieve Gezondheidszorg TNO, 1983.



Verbrandingswaarde van zuiveringsslib

- Slot van pagina 496

wetenschap, dat de milieubelasting van verbranding, generaal gezien gering is, als een goede stortplaats voor de as beschikbaar is, moet geconcludeerd worden, dat in de naaste toekomst bij de oplossing van de moeilijke slibvraagstukken onder meer in agglomeratieverband, verbranding een belangrijker plaats kan innemen, dan tot nu toe het geval was.

Conclusies

1. De capaciteit van een verbrandingsoven wordt meer bepaald door zijn verdampingscapaciteit, dan door zijn verbrandingscapaciteit. De hoogste verbrandingscapaciteit wordt bereikt bij autothermische verbranding.
2. De verbrandingswaarde van verschillende slibsoorten loopt uiteen. Door slibgisting en aërobe mineralisatie daalt de verbrandingswaarde van de organische stof ten opzichte van vers slib met 20% of meer.
3. De verbrandingswaarde laat zich met behulp van de bepaling van het CZV meten.
4. Voor autothermisch evenwicht zijn nodig hoge warmerendementen van de verbrandingsoven en relatief hoge ontwateringsgraden van slibsoorten van uiteenlopende samenstelling. Ontwikkelingen om dit te bereiken, zijn op gang gekomen.

5. Het gehalte aan droge stof wordt bepaald door de organische en de anorganische fractie. Het is duidelijk, dat bij eenzelfde droge-stofgehalte een hogere fractie aan as eveneens kan leiden tot energetische onbalans.

6. Bij ontbreken van energetisch evenwicht moet aanvulling worden gegeven door toevoer van energie. Hierdoor daalt de verbrandingscapaciteit. Als vuistregel leidt 1% tekort aan droge stof tot circa 6% lagere verbrandingscapaciteit.

7. Een slibsoort met 5% tekort aan droge stof vereist een zekere verdampingscapaciteit. De verbrandingscapaciteit in ton droge stof per tijdseenheid loopt echter met 30% terug. De kosten van verbranding stijgen daardoor met een factor 100/70.

8. Autothermische verbranding van slib is een slibbehandelingstechniek, die ook in financieel opzicht concurrabel is met andere technieken van slibbehandeling.

Literatuur

1. Eggink, H. J. (1978). *De capaciteit van de wervelbedoven in Oijen*. H₂O, 11 (1978), p. 285-287.
2. Schurr, E. und Vater, W. (1982). *Energiesparender Schlammverbrennungssofen in Stuttgarter Hauptklärwerk Mühlhausen in Betrieb genommen*. Korrespondenz Abwasser, 29, p. 405-409.
3. Eggink, H. J. *Relatie CZV & BZV*. H₂O, 10 (1977), p. 282-285.
4. Daesdonk, A. J. v. en Sande, A. J. v. d. (1979). *Slibverbranding in een wervelbedoven*. H₂O, 12, (1979), p. 306-309.
5. *Operation Manual, Sludge handling and conditioning*. EPA 430/9-78-002, XI-14 (1978).
6. Niessen, W. R. (1980). *Incineration is a waste-management alternative*. Water and Sewage, 127, p. 30-37.
7. Sneyd, R. J. and Mayrose, D. F. (1980). *Fluid bed incineration*. Water and Sewage works, 127, p. 38-45.
8. Schram, ing. G. J. (1982). *Wervelbedverbrandingsketel bij ECN*. PT-werktuigbouw 37 nr. 1, p. 71-73.



- Slot van pagina 513

betaalt, terwijl het Zoutverdrag neerkomt op afkopen van vervuiling door de slachtoffers. Daarom poogt de Franse regering enerzijds de tenuitvoerlegging van de rechterlijke beslissing te blokkeren en anderzijds de ratificatie van het Verdrag te bevorderen. Overigens is het Verdrag in strijd met het recht van de EEG, aangezien het niet in overeenstemming is met het beginsel 'de vervuiler betaalt', dat het milieurecht van de EEG beheerst, en in strijd komt met art. 92 EEG-verdrag, dat staatssubsidie verbiedt als deze de markt verstoort', aldus prof. d'Oliveira.

