

Het verglazen van slib in Japan; perspectief voor Nederland?

Waterkwaliteitsbeheer in Japan

In vergelijking tot Nederland stoelt het beheer van de waterkwaliteit in Japan nauwelijks op traditie. De huidige sterke aandacht voor de waterkwaliteit komt echter voort uit een typisch Japanse traditie; de consumptie van vis als hoofdvoedsel.



IR. A. P. T. DRIESSEN
Nederlandse Slibverwerkings
Maatschappij



N. FRANSSENS
CSO Adviesbureau
voor Milieuonderzoek



IR. A. W. A. DE MAN
Zuiveringschap Limburg

In de jaren '60 en '70 heeft zich in Japan een aantal gevallen van kwikvergiftiging voorgedaan, die veroorzaakt werd door industriële lozingen op het oppervlaktewater. De noodzaak tot een sanering van zowel industriële als communale lozingen werd daarmee onderstreept.

De uitvoering van het waterkwaliteitsbeheer in Japan geschiedt door de gemeentelijke en regionale overheid. Bij die uitvoering dient men rekening te houden met de enorme bevolkingsdichtheid van Japan: 813 inwoners per km² (in Nederland zijn er 365 inwoners per km²). Daarnaast is het gebied gevoelig voor aardbevingen. Het aanleggen van uitgebreide rioleringsystemen is daardoor zeer kostbaar. Een belangrijk deel van de bevolking is ook nog aangesloten op een septic-tank. Inmiddels is ongeveer 45% van de huishoudens aangesloten op een rioleringsstelsel. Industrieel en communaal afvalwater worden zoveel mogelijk gescheiden gehouden en behandeld.

Het communale afvalwater wordt doorgaans behandeld in conventionele installaties. Defosfatering en denitrificatie worden op praktisch schaal toegepast. Regionale eisen voor de waterkwaliteit bepalen de mate waarin ook de verwijdering van nutriënten plaatsvindt. Door de hoge bevolkingsdichtheid, is men vaak genoodzaakt om zuiverings-

Samenvatting

Japan heeft een relatief korte historie op het gebied van waterkwaliteitsbeheer. Het realiseren van zuiveringsinstallaties is gepaard gegaan met de bouw van grote installaties voor de verwerking van het geproduceerde slib. De nieuwste toegepaste techniek is de slibverglazing. Het is op deze manier mogelijk het eindproduct te hergebruiken.

In dit artikel wordt nader ingegaan op het ontstaan en de technologische achtergrond van het verglazingsproces en de ervaringen die in de praktijk in Japan met deze methode zijn opgedaan. Vervolgens zal de Japanse situatie worden vergeleken met die van Nederland. Specifiek wordt aandacht besteed aan het uitlooggedrag, de samenstelling van het eindproduct en de toetsing aan de normen van het Ontwerp Bouwstoffenbesluit.

installaties bijzonder compact te bouwen. Voor geheel Japan geldt de verplichting de complete installatie van de buitenlucht afgesloten uit te voeren, om geuroverlast te voorkomen.

De ontwikkeling van de afvalwaterbehandeling in het afgelopen decennium kan worden afgeleid uit de productie van zuiveringsslib. In 1980 bedroeg de totale productie 500.000 ton droge stof. Negen jaar later was deze productie al verdubbeld tot 1.000.000 ton per jaar. In het algemeen wordt het slib ontwaterd met behulp van zeefbandpersen en kamerfilterpersen.

Verwerking van zuiveringsslib in Japan

In het verleden werd zuiveringsslib voornamelijk gestort. Een betrekkelijk gering deel werd afgezet in de landbouw. Gezien de hoge bevolkingsdichtheid is de stortcapaciteit echter beperkt. Deze beperkte stortcapaciteit gaf aanleiding tot het zoeken naar mogelijkheden om het te storten volume aan zuiveringsslib te minimaliseren.

Vanaf de jaren '80 wordt een belangrijk deel (momenteel circa 60%) van het slib verbrand en de geproduceerde as gestort. Kenmerkend voor Japan is dat de verwerking van het slib gekoppeld is aan een beperkt aantal grote zuiveringsinstallaties. Het te verwerken slib is daardoor relatief constant van samenstelling.

In de industriële regio rond Osaka en Kyoto wordt veel leernijverheid bedreven. Het afvalwater uit deze regio bevat dan ook hoge gehalten chroom. Hiervan wordt een belangrijk deel in het zuiveringsslib teruggevonden. Gehaltes tot 10% chroom op drogestof-basis zijn geen uitzondering! Bij de verbranding van dit slib wordt het chroom omgezet in chroom-VI. Het merendeel van het chroom-VI komt terecht in de verbrandingsas. Chroom-VI is goed uitloogbaar en zeer toxisch. Storten van deze as levert om die redenen grote problemen op.

Door de universiteit van Kyoto is in samenwerking met het Japan Sewage Works Agency een verglazingstechniek ontwikkeld, waarmee chroomhoudend slib kan worden verwerkt. Chroom wordt daarbij vrijwel geheel omgezet in chroom-III en in de slak vastgelegd. In de regio rond Osaka heeft dit geresulteerd in de ontwikkeling van de cokebed-smeltovens, ook doordat in deze regio veel cokes voorhanden is. Inmiddels is in dit gebied een verglazingscapaciteit gerealiseerd van 150 ton droge stof per dag [1].

Een cokebed-smeltoven is te vergelijken met een hoogoven. In de smeltoven worden gedroogd slib (circa 50% d.s.) en cokes gebracht, globaal in een verhouding 2 : 1 op drogestof-basis [2 en 3]. Onder in de smeltoven heersen temperaturen van 1.500 °C en hoger. De cokes en het organische deel van het zuiveringsslib verbranden hierdoor. Het anorganische deel van het zuiveringsslib en de cokes smelten. De smelt wordt onder in de oven afgetapt. Door afkoeling worden glasachtige slakken verkregen.

Voor Nederland is de cokebed techniek voor de verwerking van zuiveringsslib geen reële optie. Zoals hiervoor is aangegeven is per ton droge stof een halve ton cokes nodig. Bij de huidige marktprijzen van cokes (circa f 600,- per ton) houdt dit in dat de kosten voor het cokesverbruik circa f 300,- per ton droge stof bedragen. Bovendien ontstaat door de toepassing van cokes een groot overschot aan energie.

In de afgelopen jaren zijn in Japan naast de cokebed-techniek meerdere smelttechnieken voor zuiveringsslib ontwikkeld, te weten arc-melting, surface-melting en vortex-melting. Vooral de vortex-meltingstechniek kent momenteel een stormachtige ontwikkeling. Op dit ogenblik is een aantal installaties van dit type in bedrijf. Volgens het Japan Sewage Works Agency is dit dan ook de techniek die in de toekomst het meeste zal worden toe-

gepast. De toepasbaarheid van deze techniek in Nederland wordt momenteel onderzocht. Daarbij worden de kosten-technische en economische aspecten nader uitgewerkt en vergeleken met andere verwerkingstechnieken. In dit kader is in Japan een aantal bedrijven bezocht waar toepassing van de verglazing van slib in de praktijk plaatsvindt. De opgedane indrukken zijn in dit artikel verwerkt.

Het verglazen van slib volgens het vortex-principe

Bij slibverglazing worden de verontreinigingen definitief vastgelegd in glasachtig of kristallijn-zand of grind. Dit wordt verkregen door het zuiveringsslib in speciale ovens te verhitten tot meer dan 1.200°C. Het organische deel van het slib verbrandt volledig, terwijl het minerale deel smelt. De niet-vluchtige zware metalen worden in het kristalrooster opgenomen. Het gestolde eindproduct is geschikt voor toepassing in beton of asfalt. Het is aangetoond dat de oorspronkelijke verontreinigingen uit het zuiveringsslib niet uitlogten uit de geproduceerde beton- en asfaltprodukten.

Kenmerkend voor een verglazingsinstallatie volgens het vortex-principe zijn de compacte bouw, de sterke regulering van het verbrandingsproces en de optimalisatie van de energiebalans. In een vortex-installatie vinden verhitting en verbranding van het zuiveringsslib plaats in een cilindervormige oven. Samen met

TABEL I – Belangrijkste vortex-installaties in Japan.

Type reactor	Plaats	Type slib ¹	% droge-stof slib	Doorzet (tds/d)	In bedrijf
Enkelvoudige cycloon	Tokyo	pe-slib	> 90	32	1991
Dubbele cycloon	Chiba	pe-slib	> 90	3	1987
MACS ²	Konan Chubu	kalk-slib	> 30	18	1990

¹: pe-slib, ontwaterd met zeefbandpers of centrifuge kalk-slib; ontwaterd met kamerfilterpers
²: Melting After Carbonising System

de verbrandingslucht wordt het slib in een spiraalvormige beweging door de cilinder gevoerd (zie afb. 1).

Door de spiraalvormige beweging kunnen in de relatief compacte oven voldoende lange verblijftijden worden gerealiseerd. Bovendien kan door de intensieve menging van brandstof en verbrandingslucht de hoeveelheid te behandelen rookgassen sterk worden beperkt. Gelet op de gevoeligheid van het proces door variatie in de slibsamenstelling, de zeer korte verblijftijden en de hoge procestemperatuur, is veel aandacht nodig voor de processturing. Toepassing van geavanceerde technologie op dit gebied maakt het mogelijk het proces dusdanig te sturen dat, ondanks de hoge temperatuur, de vorming van stikstofoxyden sterk kan worden beperkt.

Op basis van het vortex-principe zijn in Japan inmiddels diverse typen installaties ontwikkeld. In tabel I is een overzicht gegeven van de belangrijkste praktijk-installaties.

In de *enkelvoudige cycloon* vindt het gehele proces van verbranden en smelten van het zuiveringsslib plaats in één en dezelfde, schuin geplaatste cycloon. De stapsgewijze verbranding wordt gestuurd door toevoeging van verbrandingslucht op meerdere injectiepunten in de cycloon. In de *dubbele cycloon* worden de verbrandingsstap en de smeltstap ieder in een afzonderlijke cycloon uitgevoerd. De verbrandingscycloon staat in het algemeen verticaal. De smeltcycloon is evenals de enkelvoudige cycloon schuin geplaatst.

Bij het *MACS-systeem* wordt het zuiveringsslib allereerst gepyrolyseerd in een fluïdbed-reactor, dat wil zeggen verhit onder zuurstofarme condities. De pyrolyse-as wordt vervolgens gesmolten in een verticaal opgestelde cycloon. Die kan nog compacter worden uitgevoerd dan in beide voorgaande systemen, wat een positief effect heeft op het slakrendement en de kosten.

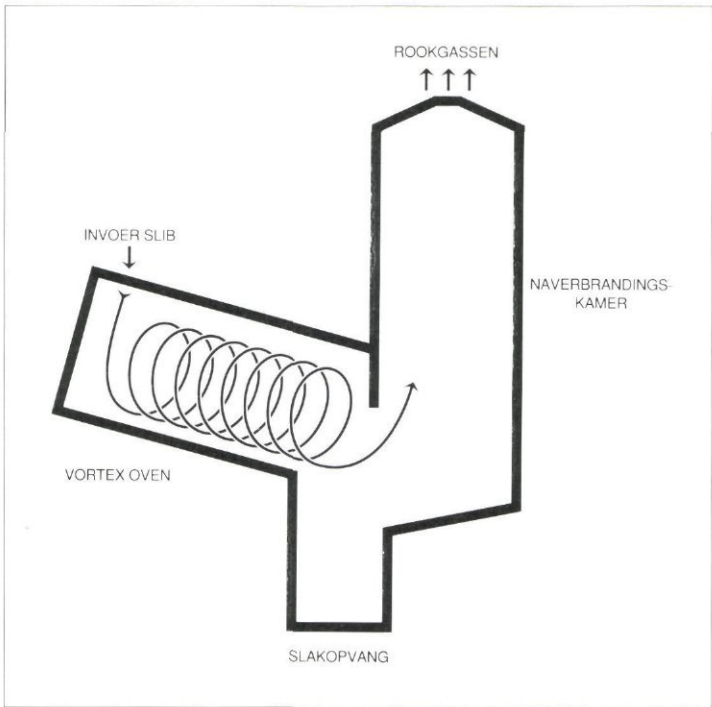
De keuze voor één van de vortex-systemen wordt voornamelijk bepaald door de variatie in verbrandingswaarde van het te verwerken slib. Is die constant, dan biedt een enkelvoudige cycloon voordeel. In Japan wordt hier dan ook voor gekozen bij een slibverwerking die gekoppeld is aan één zuiveringsinstallatie. Varieert de verbrandingswaarde sterk, zoals bij slib van diverse herkomst, dan is de stabiliteit van het proces beter gegarandeerd bij scheiding van de verbrandings- en de smeltstap.

Beschrijving van een verglazingsinstallatie

Het totale proces van verglazing van zuiveringsslib is onder te verdelen in vijf blokken:

- Blok 1: opslag en ontwateren van het slib
- Blok 2: drogen en verkleinen van het slib
- Blok 3: smelten/verglazen van het slib
- Blok 4: afwerken verglaasd slib
- Blok 5: behandelen van de rookgassen

Navolgend zal meer in detail worden ingegaan op de afzonderlijke blokken. Er



Afb. 1 - Principe vortex-oven.

wordt uitgegaan van een installatie voor toepassing in Nederland, ontwikkeld door de Nederlandse Slibverwerkings Maatschappij (NSM) en als zodanig aangeboden aan het Zuiveringschap Limburg. Waar nodig vindt ondersteuning plaats door Japanse gegevens.

Blok 1: opslag en ontwateren van het slib
Het slib moet net als bij andere thermische verwerkingen bij voorkeur zo veel mogelijk ontwaterd worden. Zowel slib dat is ontwaterd met zeefbandpersen en centrifuges als slib dat is ontwaterd met filterpersen, kan worden verglaasd. Na ontwatering wordt het slib in een buffer opgeslagen. Met deze opslag wordt ook een goede menging verkregen.

Blok 2: drogen en het verkleinen van slib
Na de ontwateringsstap moet het slib, afhankelijk van de toe te passen smelt-techniek, gedroogd worden tot meer dan 30% dan wel 90% droge stof. Dit gedroogde slib moet vervolgens verkleind worden tot deeltjes die kleiner zijn dan 0,5 mm. Gedroogd slib van een fluïd-zandbed-droger behoeft geen verdere verkleining. Bij andere drogers zal rekening gehouden moeten worden met deze maalstap die gevoelig voor slijtage kan zijn.

De energie voor het drogen wordt verkregen uit de afkoeling van de rookgassen in een warmtewisselaar achter de smeltoven. Op de totale energiebalans wordt elders in dit artikel nader ingegaan.

Blok 3: smelten/verglazen van het slib
Het gedroogde slib wordt, eventueel na voorverbranding of pyrolyse, gesmolten in de vortex-oven. De optimale temperatuur waarbij dit plaatsvindt, is afhankelijk van de macro-samenstelling van het anorganisch deel van het slib. Sterk bepalend is de verhouding tussen CaO en SiO₂. Deze verhouding kan worden beïnvloed door het toedienen van toeslagstoffen. Bij slib dat ontwaterd is met behulp van poly-electroliet (pe), zal in het algemeen kalk toegevoegd moeten worden. Bij slib dat is behandeld met kalk, zal SiO₂ in de vorm van zand toegevoegd moeten worden. Deze toevoeging bedraagt maximaal 10 gewichtsprocenten op drogestof-basis [3 en 4].

Het gedroogde en verkleinde slib met toeslagstoffen wordt samen met de voorverwarmde verbrandingslucht tangential ingebracht in de cycloon. Hierdoor ontstaat de zogenaamde vortex-beweging: spiraalsgewijs verplaatst het verbrande en smeltende slib zich door de cilinder (zie afb. 1).

Op het laagste punt wordt het gesmolten slib afgetapt. De verbrandingsgassen komen in de naverbrandingskamer, waar ze bij een verblijftijd van iets meer dan twee seconden bij een temperatuur van circa 1.200 °C volledig uitbranden. Nadat de rookgassen de naverbrandingskamer hebben verlaten, passeren zij een warmtewisselaar waar afkoeling plaatsvindt. De warmte uit de rookgassen wordt teruggevoerd naar de drooginstallatie en wordt ook gebruikt bij de voorverwarming van de verbrandingslucht.

Blok 4: afwerken verglaasd slib
Het gesmolten slib wordt onder uit de smeltoven afgetapt en gekoeld. Als er versnelde afkoeling plaatsvindt in een waterbad, dan ontstaan kleine glasachtige slakken. Is er sprake van afkoeling aan de lucht, dan ontstaan grotere kristalachtige vormen.

Na afkoeling kan het materiaal gebroken en uitgezeefd worden om de gewenste korrelgrootte en verdeling van korrelgrootte te verkrijgen. Eventueel kan door verdere opwerking en behandeling een meer optimale kristalstructuur worden verkregen en kunnen gietvormen zoals bijvoorbeeld tegels worden gemaakt.

Blok 5: behandelen van de rookgassen
De afgassen die ontstaan bij het verglazen, moeten worden behandeld om te voldoen aan de Richtlijn Verbranden 1989. Het verglazingsproces vindt plaats bij een aanzienlijk hogere procestemperatuur dan bij wervelbedverbranding. Voor het verglazingsproces houdt dit een verhoogde produktie in van NO_x en een grotere verdamping van zware metalen.

Een belangrijke beperking van de NO_x-produktie wordt verkregen door het creëren van optimale vuurhaardcondities

waardoor slechts een geringe overmaat van lucht noodzakelijk is. Dit wordt bereikt door toepassing van een geavanceerde procesbesturing. Een volgende beperking van de NO_x-uitstoot wordt verkregen door thermische denoxatie in de naverbrandingskamer.

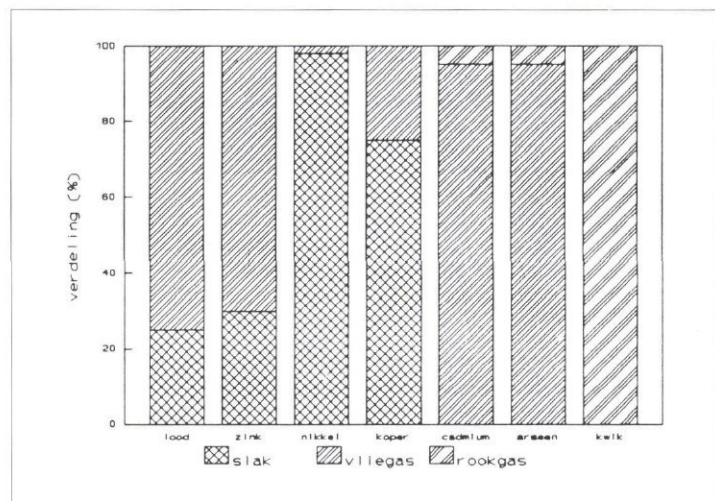
Daarbij wordt ammoniak ingespoten in de naverbrandingskamer, waardoor het reageert met NO_x tot stikstofgas en water.

Bij de hoge procestemperatuur zal een deel van de aanwezige zware metalen verdampen en via de rookgassen de smeltoven verlaten. Door afkoeling van de rookgassen zullen deze metalen weer neerslaan. Voor het overgrote deel gebeurt dit op de vliegassen. Die moeten dan ook worden afgevangen. Bij een slib-verglazingsinstallatie kan een deel van deze vliegassen worden teruggevoerd naar de smeltoven waardoor de metalen gedeeltelijk worden opgenomen in de slak. Een deel van de vliegassen moet als spuistroom uit het proces worden genomen. Ten opzichte van de ingevoerde hoeveelheid slib op drogestof-basis bedraagt dit residu 5 tot 10% (zie massa-balans).

In afb. 2 is de verdeling van een aantal zware metalen over de slak, de vliegassen en de rookgassen weergegeven [4].

Gezien de aanrijking met zware metalen zal het vliegasseresidu moeten worden aangemerkt als chemisch afval en gecontroleerd gestort moeten worden op een daartoe uitgeruste stortplaats. Op termijn mag verwacht worden dat terugwinning van een aantal waardevolle metalen uit dit residu tot de mogelijkheden zal behoren. In de gemeente Tokyo heeft men onderzoek op dit gebied in gang gezet.

Afb. 2 - Verdeling van enkele zware metalen over de slak, vliegassen en rookgas.



Hergebruik van het verglaasde slib

In Japan worden de verkregen slakken gebruikt voor ophogingen en wegverharding, zowel in gebonden als in ongebonden vorm. Ook wordt het materiaal toegepast in betonstenen en -tegels.

In Nederland zijn vergelijkbare toepassingen denkbaar. In dat verband is het belangrijk of de zware metalen die zijn ingebouwd in de slakmatrix, voldoende bestand zijn tegen uitloging.

In de loop van 1991 zijn in opdracht van NSM door Intron BV en ECN te Putten onderzoeken verricht naar de toepasbaarheid van in Japan verglaasd slib in vormgegeven bouwmaterialen, zoals asfalt- en cementbeton [5 en 6]. Bij dit onderzoek werd aandacht besteed aan drie aspecten: de samenstelling van de slak, de uitloogbaarheid van het vormgegeven materiaal met behulp van een standtest en de sterkte en duurzaamheid vanuit technisch oogpunt.

In het onderzoek werd de grindfractie in de vormgegeven bouwstoffen voor 30 tot 50% vervangen door verglaasd slib. In deze verhouding werd nog net voldaan aan de zogenaamde samenstellingseis uit het Ontwerp Bouwstoffenbesluit. Dat wil zeggen dat geen van de componenten, met name zware metalen, in de bouwstof de norm overschreed.

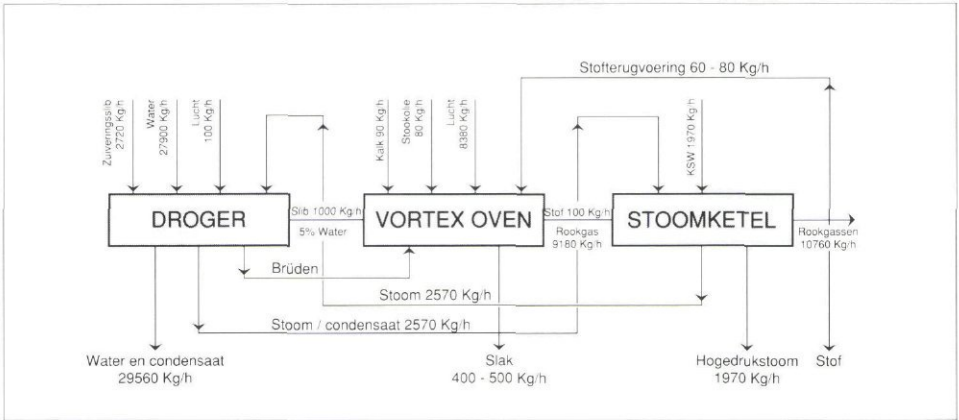
Uit de uitgevoerde standtesten bleek vervolgens dat de in het kristalrooster opgenomen zware metalen vrijwel niet uitlogen. De resultaten voldeden ruimschoots aan de hiervoor gestelde scherpste limiet U1.

De technische eigenschappen van de bouwmaterialen blijken niet of nauwelijks te veranderen door de gedeeltelijke vervanging van grind. Per saldo mag dan ook worden gesteld dat verglaasd slib als vervanging van grind in vormgegeven bouwmaterialen in Nederland mogelijk is, zowel uit milieuhygiënisch als uit materiaaltechnisch oogpunt.

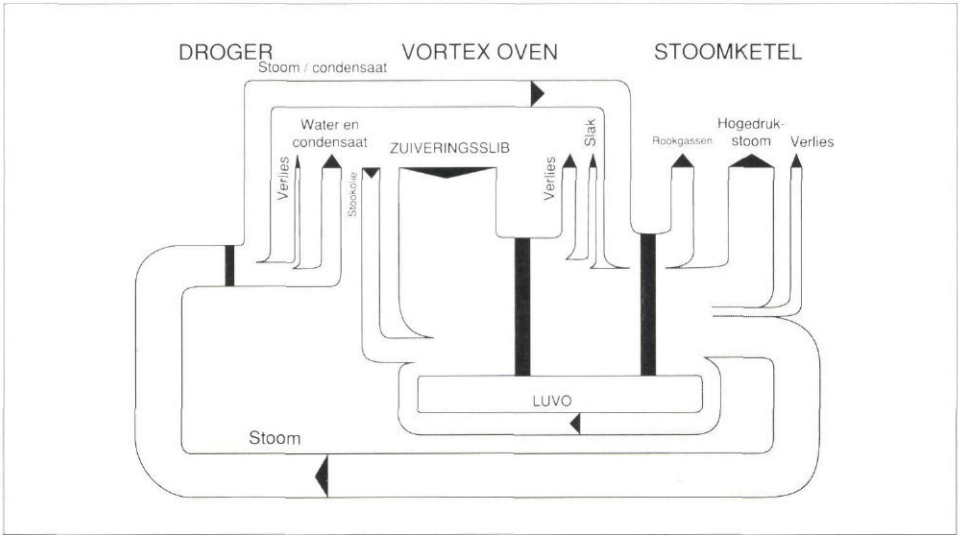
Massa- en energiebalans van de slibverglazing

De massa- en energiebalans van een vortex-installatie zonder rookgasreiniging, is in een thermodynamisch simulatiemodel doorgerekend [7]. Het model is geijkt aan bestaande installaties op proef- en praktijkschaal in Japan en Duitsland. Navolgend zijn de resultaten hiervan weergegeven. Uitgangspunten zijn:

- capaciteit: 1.000 kg gedroogd (95%) slib per uur
- stookwaarde slib: 16,3 MJ/kg d.s.



Afb. 3 - Massabalans van de vortex-installatie.



Afb. 4 - Energiebalans van de vortex-installatie.

- droge-stof slib: 30 %
- organische stof: circa 70%
- afgastemperatuur: 400 °C

Volgens Rizzon [7] ontstaat onder de aangehaalde uitgangspunten voor het totale proces van drogen tot en met verglazen een overschot aan energie. Dit kan men gebruiken voor het opwekken van elektriciteit, het toepassen van minder vergaand ontwaterd slib (23%) of het toepassen van slib met een geringere verbrandingswaarde (10,5 MJ/kg).

Praktijkervaring met het verglazen van slib

In Japan wordt momenteel een gering deel van het zuiveringsslib verglaasd. In de toekomst zal dit aandeel sterk toenemen. Men wil in Japan echter niet de volledige slibverwerking baseren op één techniek. Naast het verglazen zullen het verbranden, composteren en storten van zuiveringsslib ook in de toekomst toegepast worden. De jarenlange ervaring in Japan op het gebied van verglazen van slib komt tot

uiting in de ontwerpen van recente installaties met grotere capaciteit. Onlangs is een vortex-installatie in gebruik genomen met een capaciteit van 32 ton droge stof per dag. Een andere ervaring heeft betrekking op de verregaande beheersing van de energiebalans en op de besturing van het verbrandings- en smeltproces, waardoor de rookgasbehandeling in positieve zin kan worden beïnvloed.

In dit verband moet ook de ervaring te worden genoemd die is opgedaan met het onderhoud van een verglazingsinstallatie. Vooral de hoge temperatuur en de aanzienlijke cavitatie door gedroogd zuiveringsslib vergen het uiterste van bijvoorbeeld de ovenbekleding. Inmiddels is men erin geslaagd om de stilstand als gevolg van onderhoud terug te brengen tot een omvang die vergelijkbaar is met die van verbrandingsinstallaties.