

Hydrologische aspecten van slibontwatering in lagunes

1. Inleiding

Ontwatering van slib in lagunes door toepassing van verblijftijden van enkele jaren wordt in Nederland nog maar weinig toegepast. Ogenscheinlijk leent het klimaat zich er niet goed toe. Bovendien zijn betrekkelijk grote terreinoppervlakken nodig. Gezien de hoge grondprijzen in een dichtbevolkt land als Nederland lijkt toepassing van sliblagunes minder aantrekkelijk.

Toch neemt de laatste tijd de belangstelling voor slibontwatering in lagunes weer toe. Een belangrijke reden is de eenvoud van het



IR. J. G. A. COPPES

Witteveen + Bos
Raadgevend Ingenieursbureau
Deventer

stelsel. De droging van het slib is een natuurlijk proces dat weinig energie vraagt. De lagunes behoeven slechts ongeveer eens in de 5 jaar te worden geruimd. Het eindprodukt (slib met 10 - 25 % drogestofgehalte) wordt door een aantal gespecialiseerde aannemers met succes gebruikt voor grondverbetering (zwarte grond).

In dit artikel zal nader worden ingegaan op enkele aspecten die van belang zijn bij het ontwerpen en bedrijven van sliblagunes, waarbij vooral ruime aandacht wordt besteed aan de hydrologische verschijnselen [1].

2. Principe

Een sliblagune is meestal een omdijkt terrein of een vijver, waarin het slib van een rioolwaterzuiveringsinrichting ter droging wordt gebracht. De vulhoogte is 1 à 1,5 m. Door middel van dekanteerafslaten kan het bovenstaande water worden verwijderd. Als het slib na een lange verblijftijd (2 à 5 jaar) gedroogd is tot een drogestofgehalte van 10 tot 25 %, wordt de lagune geruimd.

Factoren, die van positieve invloed zijn op de droging van het slib zijn verdamping, oppervlakte-afvoer van water en infiltratie. De neerslag heeft vanzelfsprekend een negatieve invloed op de drogingscapaciteit. Ten behoeve van de beschrijving van het drogingsproces en de afleiding van formules worden een volume- en drogestofbalans opgesteld (zie ook afb. 1).

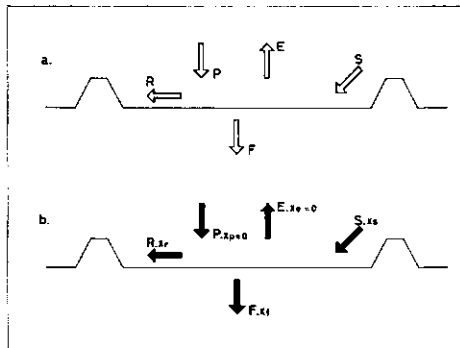
$$D = E + R + F - P \quad (1)$$

waarin:

D = drogingscapaciteit in mm/j;

E = verdamping in mm/j;

R = oppervlakte-afvoer in mm/j;



Afb. 1 - a. volumestromen; b. drogestofstromen.

F = infiltratie in mm/j;

P = neerslag in mm/j.

Uit de volumebalans kan op eenvoudige wijze de vulhoogte h na T jaren worden afgeleid:

$$h = (S - D) \cdot T \quad (2)$$

waarin:

h = vulhoogte in mm;

S = slibaanvoer ofwel lagunebelasting in mm/j;

T = vulduur in j.

Tevens kan een drogestofbalans worden opgesteld:

$$h \cdot x_u = S \cdot T \cdot x_s - R \cdot T \cdot x_r - F \cdot T \cdot x_f \quad (3)$$

waarin:

x_u = drogestofgehalte eindprodukt in %;

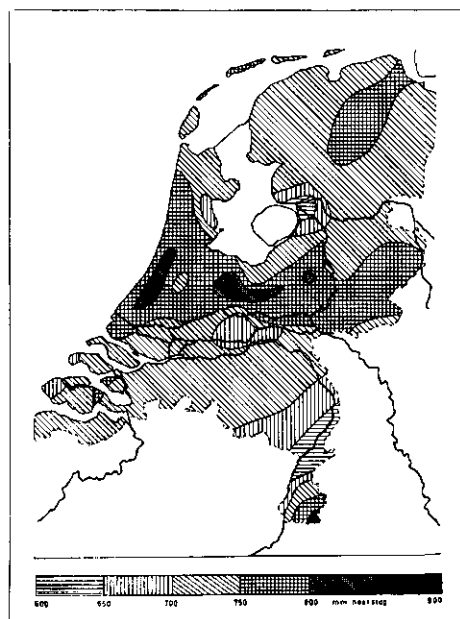
x_s = drogestofgehalte aangevoerde slib in %;

x_r = drogestofgehalte in de oppervlakte-afvoer in %;

x_f = drogestofgehalte in het infiltratiewater in %.

In hoeverre de oppervlakte-afvoer veel of

Afb. 2 - Gemiddelde jaarlijkse neerslag in Nederland.



weinig slib zal bevatten, hangt af van de bedrijfsvoering. Onder normale omstandigheden zal echter geen slib worden afgelaten, zodat $x_r \approx 0$.

Wat betreft de afscheiding van de drogestof van het infiltratiewater bevestigen praktijkervaringen dat een zeer lage waarde voor x_f mag worden aangehouden.

Zeker in het geval dat de infiltratie F toch al gering is zal de hoeveelheid drogestof, die via de infiltratie uit de lagune verdwijnt minimaal zijn.

Vergelijking (3) wordt zodoende vereenvoudigd tot:

$$x_u = \frac{S}{S - D} \cdot x_s \quad (4)$$

Uit bovenstaande formules blijkt, dat de drogingscapaciteit D een van de belangrijkste grootheden is, die de werking van de sliblagunes bepalen.

De drogingscapaciteit is opgebouwd uit een viertal factoren, te weten de verdamping, de neerslag, de oppervlakte-afvoer en de infiltratie. Op elk van deze factoren zal nader worden ingegaan.

Als tenslotte alle factoren bekend zijn, kunnen verdere berekeningen aan de sliblagunes worden uitgevoerd.

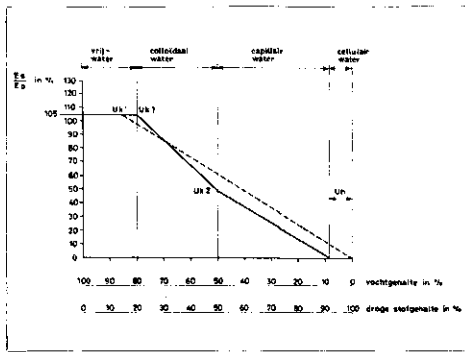
3. Neerslag en oppervlakte-afvoer

De gegevens betreffende de neerslag zijn meestal beschikbaar, o.a. bij meteorologische instituten. Vanwege de langdurige vultijd (meerdere jaren) van de lagune, kan uitgegaan worden van jaarcijfers. De gemiddelde jaarlijkse neerslaggegevens in Nederland, verzameld door het KNMI te De Bilt, staan weergegeven in afb. 2 [2].

Daar de neerslag de drogingscapaciteit negatief beïnvloedt, is het zaak het regenwater af te voeren. De mogelijkheid van waterruimen is afhankelijk van het drogestofgehalte van het slib en de getroffen voorzieningen.

Bij slib, dat tot ongeveer 10 % drogestof is ingedikt, kan het water vrij eenvoudig worden verwijderd door verstelbare schuiven. Door het creëren van een klein verhang zal de afvoer worden verbeterd. Het trekken van kleine voren ter verhoging van de afvoer blijkt niet te werken, daar deze binnen korte tijd weer zijn genivelleerd. Bij slib met een drogestofgehalte van 12 tot 18 % daarentegen is dit beter mogelijk. Ingedikt slib van 20 % of hoger zal meestal droogscheuren vertonen, waardoor het regenwater zal weglopen. Dit kan een reden zijn om bij slibdroging in lagunes niet verder te gaan dan 20 % drogestof.

De mogelijkheid van waterruiming is niet alleen van belang voor de afvoer van regenwater. Het vermoeden bestaat, dat in sliblagunes door verschillende processen extra



Afb. 3 - Verdamping van slib.

water kan vrijkomen. Te denken valt aan gisting of anaërobe bacteriologische omzettingen, structuurverlies, bezinking en verdere indikking, stratifikatie door temperatuurverschillen, e.d.

Het is van belang het extra water dat op de sliblaag komt drijven, te allen tijde te kunnen afvoeren. Bij een goede bedrijfsvoering is het mogelijk, dat de oppervlakteafvoer de neerslag overtreft. Bij een neerslag van 750 mm/jaar kan de oppervlakteafvoer 500 à 1000 mm/jaar bedragen.

4. Verdamping

Een zeer belangrijke rol in het slibontwateringsproces speelt de verdamping. Op dit gebied is uitgebreid onderzoek gedaan door Nebiker, Quon en Tamblyn [3, 4 en 5]. Het blijkt, dat de verdamping van slib tot een bepaald vochtgehalte gelijkgesteld mag worden aan de verdamping van open water. In Nederland is dit gemiddeld 700 mm/jaar, maar seizoensinvloeden laten grote variaties zien. Sommige onderzoeken hebben zelfs uitgewezen, dat de verdamping van slib groter is dan de verdamping van open water. Dit is waarschijnlijk te verklaren door de donkere kleur van het slib, waardoor de stralingsenergie beter voor verdamping kan worden benut.

Afb. 3 toont aan dat de verdamping afhankelijk is van het drogestofgehalte van het slib. Tot het eerste kritieke vochtgehalte, U_{k1} is de verdamping van het slib E_s konstant. Zolang er vanuit het slib vrij water kan worden aangevoerd om aan de oppervlakte te verdampen mag gerekend worden met een verdamping van $1,05 \times E_0$ (E_0 is de verdamping van open water). Bij het eerste kritieke vochtgehalte U_{k1} is al het vrije water verdampt. Vanaf dit punt zal het transport van water vanuit het slib naar het oppervlak niet voldoende zijn om de verdampingscapaciteit bij te kunnen houden, met als gevolg een lineaire afname van de verdamping. Bij een drogestofgehalte van ongeveer 50 % wordt het tweede kritieke vochtgehalte U_{k2} bereikt. Dit is voor natuurlijke slibontwa-

tering van betrekkelijk weinig betekenis. Na dit punt neemt de verdampingscapaciteit iets minder snel af en wordt nul, wanneer het slib alleen nog cellulair gebonden water bevat. Doorgaans wordt dit punt bereikt als het vochtgehalte van het slib nog slechts ongeveer 8 % bedraagt (92 % drogestofgehalte).

Globaal kan het verloop van de verdamping worden onderscheiden in twee delen, nl. een konstante verdamping tot het eerste (gecorrigeerde) kritieke vochtgehalte en een lineair tot nul afnemende verdamping vanaf dit punt.

De ligging van het punt van kritiek vochtgehalte is dus van essentieel belang. Afhankelijk van de omstandigheden zal dit punt liggen tussen 90 en 70 %. Het hiermee korresponderende kritieke drogestofgehalte zal dan 10 à 30 % zijn.

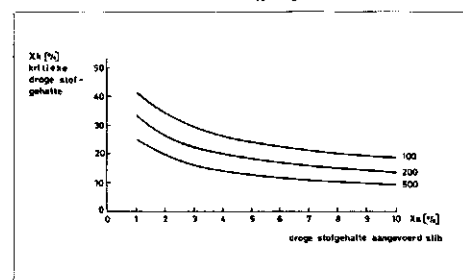
Uit het voorgaande volgt dat voor het optimaal benutten van de verdamping het minder gunstig is het slib tot boven het kritieke drogestofgehalte te ontwateren. Door Nebiker is een relatie gevonden tussen het kritieke drogestofgehalte enerzijds en de verdamping, het drogestofgehalte van het aangevoerde slib en de laagdikte van de slibdosering anderzijds [3, 4]. Omgewerkt kan de volgende betrekking worden afgeleid:

$$x_k = \frac{100}{1 + a \cdot \sqrt{x_s} \cdot d} \quad (5)$$

waarin:
 x_k = kritieke drogestofgehalte in % ds;
 d = laagdikte van de slibdosering in mm;
 a = faktor in $\text{mm}^{-1/2}$.

De faktor a is afhankelijk van de atmosferische omstandigheden en bepalend voor de verdamping. De droogselnelheid door verdamping kan over korte perioden sterk variëren, zodat faktor a niet konstant is. Voor gemiddelde atmosferische omstandigheden is vergelijking (5) verder uitgewerkt en grafisch weergegeven in afb. 4. Hieruit blijkt, dat het kritieke drogestofgehalte hoger is naarmate de laagdikte kleiner is en naarmate het drogestofgehalte van het aangevoerde slib lager is. Omgekeerd kan via vergelijking (5) ook berekend worden welke laagdikte maximaal toegepast mag worden als men een bepaald

Afb. 4 - Verband tussen x_k , x_s en d .



einddrogestofgehalte wil bereiken. Opgemerkt dient te worden, dat de bovenstaande betrekkingen voor het kritieke vochtgehalte empirisch zijn afgeleid en gebaseerd zijn op kleine laagdikten (5 - 40 cm). Bovendien is er vanuit gegaan, dat de gedroogde sliblagen steeds worden verwijderd na het bereiken van het kritieke vochtgehalte.

Hoewel het slibdrogingsproces in lagunes, vooral bij grotere laagdikten, hiervan verschilt, mag toch worden aangenomen dat de relaties dezelfde afhankelijkheid vertonen. Nader onderzoek (van de Nederlandse omstandigheden) zal deze relaties kwantitatief meer inhoud moeten geven. Konkluderend kan dus worden gesteld dat het zinvol is het slib in zo dun mogelijke lagen op te brengen. De frekwentie van de slibtoevoer zou zodanig moeten worden gekozen dat een nieuwe laag pas wordt opgebracht als de vorige voldoende (tot het kritieke drogestofgehalte) is gedroogd.

5. Infiltratie en drainage

Sliblagunes kunnen worden uitgevoerd met een ondoorlatende bodem- en wandbekleding. De infiltratie is dan van geen betekenis. Veel sliblagunes worden echter niet bekleed. Bodems van sommige sliblagunes worden zelfs gedraineerd, waardoor het infiltratiewater afgevoerd kan worden.

In het geval van sliblagunes is het nuttig onderscheid te maken tussen infiltratie van water en infiltratie van slib. Bij water is de infiltratiecapaciteit, naast de structuur en textuur van de grond, ook nog afhankelijk van het vochtgehalte van de bodem en de methode van bevoeiing. Verder speelt de temperatuur van water en grond een rol. Voor verschillende bodemsoorten zijn de gemiddelde waarden voor de infiltratiesnelheid bekend (tabel 1). Deze cijfers zijn gebaseerd op de kwaliteit van normaal irrigatiewater en geenszins op vloeibaar slib [6]. Zij dienen om een indruk van de orde van grootte te geven en hebben slechts betrekkelijke waarde voor het afschatten van de infiltratiesnelheid van slib.

Niet de gemiddelde infiltratiesnelheid, maar de berging en vooral de afvoersnelheid naar

TABEL 1 - Grondsoort, infiltratiesnelheid en doorlatendheidscoëfficiënt.

Grondsoort	Gemiddelde infiltratiesnelheid in mm/hr	Doorlatendheidscoëfficiënt in mm/hr
zand	50	1.000
zandige leem	25	
leem	12,5	
kleiige leem	7,5	
klei met slib	2,5	
klei	0,5	0,001

de sloten of drains zijn bepalend voor de hoeveelheid water die via de bodem kan verdwijnen. De afvoersnelheid is in belangrijke mate afhankelijk van de doorlatendheid van de grond. Uit tabel I blijkt, dat de doorlatendheidscoëfficiënten van de verschillende grondsoorten een grotere variatie vertonen dan de infiltratiesnelheden.

Gezien de aard van het verontreinigde water zullen de gebruikelijke berekeningen van de afvoersnelheid in de praktijk te optimistische waarden geven voor slibinfiltratie. Alleen voor een onderlinge vergelijking van de infiltratiecapaciteiten van de diverse grondsoorten is deze rekenwijze geschikt. Gesteld kan worden, dat een slechte ontwatering van de grond leidt tot een geringe bijdrage van de infiltratie aan het ontwateringsproces in de lagune.

Ook ervaringen met afvalwater-irrigatie tonen aan dat het juist de verontreiniging is die in belangrijke mate de infiltratiecapaciteit van de bodem beïnvloedt [7]. Vanwege de nog grotere hoeveelheid opgeloste en onopgeloste stoffen in het slib is het dus redelijk om te veronderstellen dat hier een nog snellere achteruitgang van de infiltratiecapaciteit zal plaatsvinden en de totaal mogelijke infiltratie sterk zal afnemen.

De infiltratiecapaciteit van de bodem kan worden beïnvloed door fysische, chemische, microbiologische en biochemische processen. In het algemeen bepalen fysische processen de mate waarin verontreinigingen in de bodem worden vastgehouden, terwijl chemische en biologische processen zorg zullen dragen voor de omzetting en afbraak, mits de goede omstandigheden (zoals bijv. hoge pH, lange verblijftijd in de bodem, aërobe situatie, etc.) aanwezig zijn.

Bij irrigatie met afvalwater kan de infiltratiecapaciteit van de bodem zich herstellen indien de tussenliggende droge periodes lang genoeg duren (2 à 3 weken). Aërobe omstandigheden zijn voorwaarden voor dit herstel. Langdurige anaërobe omstandigheden blijken juist het dichtslaan van de bodem in de hand te werken. Dat slib van een andere kwaliteit is dan afvalwater doet aan dit principe niets af. Belangrijk is dat het op peil houden van de infiltratiecapaciteit ook bij afvalwater en slib kan worden bereikt door een afwisseling van de periode van toediening met langere droge periodes. Intermittend opbrengen van het slib in de lagune kan dus positief werken op de infiltratiecapaciteit.

Verbetering van de infiltratie, dus verhoging van het rendement van sliblagunes, komt in de regel in konflikt met beperking van de bodem- en grondwaterverontreini-

ging. Drainage van de lagunebodem is de aangewezen oplossing. In de praktijk blijken deze drainageystemen aanvankelijk redelijk te werken, maar na verloop van (soms korte) tijd wordt er geen water meer via de drains afgevoerd. Als verklaring wordt meestal opgegeven dat de bodem dichtslaat en de drains verstopt raken, zodat de infiltratie en drainage te verwaarlozen zouden zijn. Bij verstopte of verkeerd aangelegde drainsystemen is de kans dat het verontreinigde water blijvend in het grondwater terecht komt niet ondenkbeeldig.

In ieder geval moet rekening worden gehouden met een afname van de infiltratiecapaciteit met de tijd, enerzijds door het langzaam toenemen van het bodemvochtgehalte, anderzijds door de opvulling van de poriën door neergeslagen onoplosbare verbindingen. Na ruiming van het slib blijkt het braak laten liggen van de lagune gedurende enkele maanden een positieve invloed te hebben op de infiltratiecapaciteit (herademingseffekt).

Bij zandige lagunebodems en versproeien van het slib kunnen infiltratiecapaciteiten tot 300 mm/jr worden gehaald. Bij kleiige ondergrond en een konstante lagunebelasting met een vulhoogte van enkele decimeters zal de totale jaarlijkse infiltratie gering zijn.

6. Milieu-aspekten

Voor grote civieltechnische werken begint het langzamerhand gebruikelijk te worden een inventarisatie van de milieu-effecten te maken [8]. Ook voor het sliblagunebedrijf is het nuttig de gevolgen voor het milieu te onderzoeken. De volgende factoren spelen hierbij een rol:

- a. bodemverontreiniging;
- b. grondwaterverontreiniging;
- c. oppervlaktewaterverontreiniging;
- d. geluidhinder;
- e. stankoverlast;
- f. terreinbehoefte;
- g. energiegebruik;
- h. hygiëne.

ad a. Zelfs bij toepassing van drainage is het gevaar voor *bodemverontreiniging* reëel aanwezig. Deze verontreiniging is meestal zeer plaatselijk en zolang de bodem geen andere bestemming krijgt, doorgaans niet gevaarlijk. Van groot belang is de verzadigingsgraad van de bodem voor de verschillende verontreinigingen. Het zuiverend vermogen (opnamecapaciteit) van de bodem is gelimiteerd, en overschrijding van de verzadigingsgraad heeft een uitspoeling van schadelijke stoffen tot gevolg. Het verwerken van het ingedikte slib tot zwarte grond voor de landbouw kan indirect ook

bodemverontreiniging ten gevolge hebben.

ad b. De kans op *grondwaterverontreiniging* is groter naarmate de tijd, die het verontreinigde water nodig heeft om het freatisch vlak te bereiken, korter is. Bepalend voor de perkolatietijd zijn voornamelijk de grondwaterstand beneden de lagunebodem en de doorlatendheid van de grond. Voor irrigatie met afvalwater wordt een grondwaterstand van 1,00 m beneden maaiveld en een infiltratiesnelheid van 2,5 - 25 mm/hr als een gunstige combinatie beschouwd. Dit resulteert in een gemiddelde perkolatietijd van 2 - 20 dagen. Gezien het karakter van het slib en de afwijkende wijze van bedrijfsvoering is de infiltratiesnelheid bij het lagunebedrijf lager.

Zoals reeds is vermeld draagt de combinatie van fysische, chemische en biologische processen bij tot de vermindering van de grondwaterverontreiniging. Klei en humus (veen) hebben een groter adsorptievermogen dan zand. Kationen (zoals NH_4^+ , K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Zn^+ , Ni^{2+} , etc.) worden door deze grondsoorten beter vastgehouden. Verder slaan veel kationen, waaronder ook de zware metalen, neer door de vorming van slecht oplosbare karbonaten en sulfiden [9].

De zuurgraad van de bodem is een belangrijke parameter. Uitspoeling van zware metalen wordt beperkt indien de pH van de grond hoger dan 7 blijft. De meeste zware metalen slaan dan neer als hydroxide of karbonaat. Biologische processen in de bodem en aan het oppervlak zorgen grotendeels voor de afbraak van de organische stoffen. Van belang is de mogelijkheid van toetreding van lucht. Langdurige anaërobe omstandigheden hebben negatieve invloed op de biologische zuiveringscapaciteit van de bodem. Uitspoeling van zware metalen en het dichtslaan van de grond worden hierdoor bevorderd.

Vanwege de kans op grondwaterverontreiniging is het aan te raden geen sliblagunes toe te passen in de nabijheid van waterwingebieden. Het verdient aanbeveling minstens dezelfde afstandsnormen aan te houden als welke gelden voor slibbemesting in de landbouw. Tenslotte zullen, op grond van milieu-hygiënische overwegingen, eisen moeten worden gesteld aan de maximaal toelaatbare infiltratie, in ieder geval wanneer geen drainage wordt toegepast. Dit kan in het uiterste geval leiden tot vrijwel volledige afwezige infiltratie, hetgeen wel consequenties heeft voor de drogingscapaciteit.

ad c. *Oppervlaktewaterverontreiniging* vindt slechts indirect plaats, nl. via het grondwater. Bestrijding van de grondwaterverontreiniging zal het risico van opper-

vlaktewaterverontreiniging verminderen.

ad d. Van *geluidhinder* is bij de toepassing van sliblagunes nauwelijks sprake. Het is een zeer extensief bedrijf. Ruiming van de lagunes vindt plaats gemiddeld eenmaal in de 5 jaar, zodat eventuele hinder bij het ruimen (graafwerkzaamheden, vrachtverkeer) een incidenteel karakter draagt.

ad e. In het algemeen blijken weinig *stankproblemen* op te treden, althans wanneer het ontwatering van gestabiliseerd slib betreft. Niet gestabiliseerd slib levert daarentegen problemen op. Ook kan pas opgebracht slib nog wel eens onaangename geuren verspreiden.

ad f. De *terreinbehoefte* van sliblagunes is aanzienlijk. Uitgedrukt per inwonerekwivalent is ca. 0,3 m² aan nuttig droogoppervlak nodig. Hiernaast zijn voorzieningen nodig zoals dijken, wegen en eventueel sloten. Het totaal benodigde terreinoppervlak is zodoende ca. 60 % groter (ca. 0,5 m²/i.e.). Uit veiligheidsoverwegingen (verdrinkingsgevaar) is het verstandig de vulhoogte van de lagune te limiteren tot ca. 1,50 m.

ad g. *Energetisch* gezien is slibdroging in lagunes een goede oplossing. Er wordt gebruik gemaakt van natuurlijke processen (zonne-energie, zwaartekracht, filtrerende werking van de bodem). Er komen geen mechanische ontwateringstechnieken aan te pas. Ook het slibruimen is een zeer eenvoudige handeling, welke slechts eens in de vijf jaar plaatsvindt.

ad h. De *hygiënische kwaliteit* van het eindprodukt wordt in belangrijke mate bepaald door de kwaliteit van het in de zuiveringsinstallatie geproduceerde slib. De lange verblijftijd in de sliblagune heeft een gunstige invloed. Bij hoge omgevings-temperaturen kunnen de larven van vliegen nog wel eens moeilijkheden geven. Regelmatig ruimen van het afgescheiden water kan dit probleem grotendeels verhelpen.

7. Praktijkervaringen

Natuurlijke ontwatering van slib in lagunes is een zeer oude methode van slibbehandeling. In hoog geïndustrialiseerde landen (Verenigde Staten, Canada, West-Duitsland, Rusland) wordt het slib van enkele zeer grote rioolwaterzuiveringsinstallaties nog op deze manier ontwaterd, maar ook in ontwikkelingslanden is deze methode erg gangbaar.

Met de opkomst van de kunstmatige slibontwateringsmethoden en de uitgebreide toepassing van nat slib in de landbouw is

de slibdroging in lagunes enigszins op de achtergrond gedrongen. De meeste literatuur over dit onderwerp is niet erg recent en de voorhanden gegevens over opzet en bedrijfsvoering zijn vaak onvolledig. De ontwerpkapaciteit van de lagunes wordt meestal wel vermeld, maar niet de begin- en einddrogestofgehalten, zodat een goed inzicht in het rendement van sliblagunes moeilijk kan worden verkregen.

In de Verenigde Staten worden twee methoden van slibopslag in lagunes onderscheiden. Het eerste soort kent een verblijftijd van 2 à 5 jaar. Er wordt veelal gerekend met een jaarlijkse drogestofbelasting van 100 - 200 kg/m², hetgeen aan de hoge kant is, vergeleken met andere landen. De Environmental Protection Agency stelt dan ook lagere waarden voor (35 - 40 kg ds/m² . j) [10]. Men werkt vaak met 3-jarige cycli. In het eerste jaar wordt de lagune gevuld; daarna vindt gedurende 18 maanden droging plaats. In de laatste 6 maanden wordt het slib geruimd en de lagune schoongemaakt. De infiltratiecapaciteit van de bodem kan zich deels herstellen en eventuele verstopte drains kunnen worden schoongemaakt. Overigens zou de grondwaterstand minstens op 50 cm beneden de lagunebodem moeten staan.

Een tweede type lagune dient voor de definitieve opslag van slib. In Milwaukee is voor het slib van 300.000 i.e. een lagunevolume beschikbaar van 250.000 m³ (0,85 m³/i.e.).

Na 20 jaar zal men weer uit moeten gaan kijken naar nieuwe slibbehandelingsmethoden.

Ook in Canada komt grootschalige slibdroging in lagunes voor. De rioolwaterzuiveringsinstallatie van Winnipeg (400.000 i.e.) behandelt jaarlijks 115.000 m³ slib in lagunes. De drogestofbelasting is vrij laag (30 - 45 kg/m² . j) [11].

Door het Ruhr-verband in West-Duitsland wordt slibontwatering in lagunes veel toegepast voor uiteenlopende hoeveelheden slib. Voor de dimensionering gaat men van een totale oppervlaktebehoefte uit, die 2 à 3 maal zo hoog ligt als bij slibdroogbedden. Als ontwerpnorm wordt ook gehanteerd 1 m³ slib per m² per jaar, zodat de jaarlijkse drogestofbelastingen 30 à 60 kg/m² bedragen. Verblijftijden van 3 à 5 jaar worden toegepast, maar definitieve opslag komt ook voor.

Verder wordt er geëxperimenteerd met methoden om het proces te verbeteren en de capaciteit te vergroten. Vooral met versproeien van slib lijken goede resultaten mogelijk. Aërobe omstandigheden zijn beter gewaarborgd en hierdoor is naast een grotere verdamping een grotere infiltratiecapaciteit mogelijk. Ook worden

speciale inlaatkonstrukties toegepast, waardoor een (snelle) scheiding van water en vaste stof mogelijk wordt. In verband met verminderde kans op verstoppingen komen ook lagunes met verticale drainage voor [12].

In de oostbloklanden komt men het gebruik van sliblagunes ook tegen [13]. De rioolwaterzuiveringsinstallatie van Moskou schijnt goede ervaringen met deze wijze van slibontwatering te hebben. In de DDR maken de richtlijnen voor lagunebelasting onderscheid in het soort slib. Voor oxydatiebedslib houdt men 1,20 m³/m² . j aan, terwijl voor het slib van actiefinstallaties een drogestofbelasting van 1 m³/m² . j wordt gehanteerd. Vaak worden ook 3-jarige cycli toegepast [14].

In de ontwikkelingslanden komt de toepassing van sliblagunes ook zeer veel voor.

In Bangkok (tropisch klimaat) wordt het slib van septic-tanks gedroogd in lagunes [15]. Naast het feit dat de verdamping van open water het dubbele is van de Nederlandse waarde, is ook de neerslag veel groter, zodat het rendement uiteindelijk in dezelfde orde van grootte ligt als bij de meer gematigde klimaten.

Een speciaal probleem vormen de larven van muskieten die na een paar weken de gehele lagune kunnen bedekken. Zoals gezegd kan dit enigszins verholpen worden door regelmatig aftappen van het bovenste water.

In aride gebieden zijn de hoogste lagunebelastingen mogelijk. Voor primair uitgegist slib worden richtlijnen gehanteerd van 10 i.e. per m², tegenover 2 à 3 i.e./m² in andere klimaten. Helaas is hier het gebrek aan water vaak een probleem, zodat men waarschijnlijk meer belang heeft bij natte afvoer van slib. Plaatselijke omstandigheden zullen bepalend zijn voor de gekozen oplossing.

Ook in Nederland zijn enige toepassingen van sliblagunes bekend [16]. In Zaandam wordt het uitgegiste slib van oxydatiebedden ontwaterd van 6 % tot 20 à 25 % drogestof. Het slib wordt wekelijks opgebracht in dunne lagen van 8 cm en de verblijftijd is 5 jaar. In Amsterdam worden ook op enige installaties sliblagunes toegepast. Een drogestofgehalte van ca. 10 % wordt bereikt, deels veroorzaakt door de tamelijk hoge lagunebelasting. Een enigszins andere toepassing van sliblagunes komt men tegen in Den Bosch. De lagunes hebben een buffer- en indikfunctie terwijl hier een asfaltbekleding is aangebracht ter bescherming van het grondwater [17].

Een zeer belangrijke reden voor de toepassing van sliblagunes wordt gevormd door de kosten van het proces. Vooral als het

eindproduct geschikt is voor verdere toepassingen, zoals zwarte grondbereiding en landverbetering, zijn lage afvoerkosten mogelijk. Momenteel bedraagt de afvoerprijs in sommige gevallen ca. f 10,— per m³. Omgerekend naar nat slib betekent dit dat de afvoerkosten tussen f 2,— en f 3,—/m³ liggen. Daar de afvoerlasten in het totale kostenbeeld de voornaamste kostenpost vormen, lijken de sliblagunes in vergelijking met andere slibverwerkingsmethoden een economisch aantrekkelijke oplossing te zijn.

8. Evaluatie

Na de voorgaande beschouwingen waarbij nader is ingegaan op de grootheden die van invloed zijn op het droogproces in sliblagunes, is het zinvol te bekijken hoe in de praktijk berekeningen kunnen worden uitgevoerd en of er mogelijkheden tot optimalisatie bestaan.

Dat voor een optimale werking gestreefd zal moeten worden naar een zo hoog mogelijke waarde voor de drogingscapaciteit D, is duidelijk. De drogingscapaciteit kan afgeschat worden voor Nederlandse condities:

- de neerslag P is ca. 750 mm/j;
- de oppervlakte-afvoer R kan afhankelijk van de voorzieningen 500 à 1000 mm/j bedragen;
- de verdamping E kan worden geschat op 600 - 700 mm/j;
- de infiltratie F is afhankelijk van de ondergrond, 0 - 300 mm/j.

Onder ideale condities, met name wat betreft de oppervlakte-afvoer kan de drogingscapaciteit geschat worden op ca. 900 mm/j zonder infiltratie en 1.200 mm/j met infiltratie.

Als de vulduur op 5 jaar gesteld wordt en de vulhoogte op 1,50 m kan met behulp van formule (2) de lagunebelasting worden berekend op 1.200 resp. 1.500 mm/j, resp. zonder en met infiltratie.

Het drogestofgehalte van het eindproduct wordt met formule (4) 4 resp. 5 maal het drogestofgehalte van het aangevoerde slib. Uitgaande van een produktie aan uitgegist slib per inwonerekwivalent van ca. 1,1 l/d à 5 % ds, kan de nuttige terreinbehoefte worden berekend op 0,27 à 0,33 m²/i.e. (met en zonder infiltratie). Een eindproduct van 20 à 25 % ds kan worden bereikt.

Vanuit de theoretische beschouwingen kunnen tevens enige maatregelen worden overwogen ter optimalisatie van het drogingsproces:

- Ter handhaving van de volledige verdampingscapaciteit dient het nagestreefde drogestofgehalte van het eindproduct het

kritieke drogestofgehalte niet te overschrijden. Dit geldt ook voor het drogestofgehalte voor de afzonderlijk opgebrachte lagen. Een goede keuze van de doseringsfrequentie kan hier zorg voor dragen.

Van de andere kant moet de drogestofbelasting zodanig gekozen worden dat het kritieke drogestofgehalte zo hoog mogelijk ligt. Voor de gangbare slibsoorten betekent dit kleine laagdikten (10 - 20 cm). De korresponderende kritieke drogestofgehalten variëren dan tussen 20 en 33 % d.s.

2. Zoals reeds uiteengezet is, heeft het opbrengen van slib in dunne laagjes ook een duidelijk gunstige invloed op de infiltratie. Indien wordt gewacht met het opbrengen van de volgende laag tot het slib is gedroogd zal de infiltratiecapaciteit zich goeddeels hersteld hebben. Naarmate de lagune verder gevuld wordt, zal dit effect echter afnemen.

3. Oppervlakte-afvoer van water kan de grootste post zijn in de drogingscapaciteit. Daarom moet de mogelijkheid tot ruiming van dit water altijd aanwezig zijn. Het creëren van een natuurlijk verhang zal de afvoer bevorderen.

In Duitsland zijn goede ervaringen opgedaan met slibkegels. Hierbij is de inlaatkonstruktie in het midden van de lagune zodanig gekonstrueerd, dat het uitstromende en opdrogende slib een platte kegel vormt, met de inlaat als top en aldus het noodzakelijke verhang creërend [18]. Verstelbare overlaten in de vier hoekpunten van de lagune zijn gewenst om het water af te kunnen laten.

4. Een intensief drainage systeem en een goed onderhoud hiervan zijn nodig om het infiltratiewater zoveel mogelijk te kunnen blijven afvoeren. Geavanceerde drainagetechnieken (zoals vakuümdrainage) kunnen worden overwogen, maar zijn duur en eigenlijk in tegenspraak met de hoofdgedachte, welke aan sliblagunes ten grondslag ligt, nl. de eenvoud van het proces. In Duitsland worden wel verticale drains in de lagune aangebracht waardoor de verstopping beperkt zou kunnen worden.

5. Versproeien van het slib zal ook de infiltratiecapaciteit van de bodem beter op peil houden. Tevens kan de verdamping hierdoor bevorderd worden. Deze methode wordt vrij veel toegepast in de Verenigde Staten. Er dient echter wel gewaakt te worden voor ongewenste verspreiding van het slib door de lucht (aerosol-vorming).

9. Samenvatting

Bij slibontwatering in lagunes wordt hoofdzakelijk gebruik gemaakt van natuur-

lijke processen (zonne-energie, zwaartekracht, filterende werking van de bodem e.d.). De factoren, die de drogingscapaciteit bepalen zijn neerslag, verdamping, oppervlakte-afvoer en infiltratie. Ontwerpen en bedrijfsvoering van sliblagunes kunnen deze factoren beïnvloeden en zodoende een verhoging van het rendement mogelijk maken.

Middels de dekanteeraflaten is het mogelijk het regenwater grotendeels direkt af te voeren, samen met eventueel van het slib gescheiden water. Door toepassing van een geschikte laagdikte en doseringsfrequentie kan de verdampingscapaciteit optimaal worden benut. De infiltratie is sterk afhankelijk van de bodemgesteldheid en de wijze van slibdosering. Na evaluatie van deze parameters blijkt, dat lagunebelasting van 1.200 à 1.500 mm/j goede drogingsresultaten kunnen opleveren.

In zijn algemeenheid kan worden gesteld, dat de sliblagunes betrekkelijk weinig negatieve invloed op het milieu hebben, zij het dat gepaste aandacht voor met name grondwaterverontreiniging geboden is. Tal van praktijkervaringen bevestigen de technische toepasbaarheid en economische haalbaarheid van het proces, zowel in binnen- als buitenland. Tenslotte zijn, voor Nederlandse omstandigheden, nog enige berekeningen gemaakt en optimalisatiemogelijkheden aangegeven.

Literatuur

1. Coppes, J. G. A. *Sliblagunes*, W+B-rapport. Deventer, januari 1977.
2. KNMI. Mededelingen en verhandelingen nr. 48. *Uit: Kley, J. van der en Zuidweg, H. Polders en Dijken*. Agon/Elsevier, Amsterdam/Brussel, 1969.
3. Nebiker, J. H. *Die Trocknung des Klärschlammes durch Verdunstung*; dissertatie. Schweiz. Zeits. Hydrol., (1965), 273-367.
4. Nebiker, J. H. *Drying of waste water sludge in the open air*. Journal of the Water Pollution Control Federation, (1967), 608-626.
5. Quon, J. E. and Tamblyn, Th. A. *Intensity of radiation and rate of sludge drying*. Journal of the Sanitary Engineering Division, Proceedings of the ASCE, (1965), Vol. 91, No. SA2.
6. Israelsen, O. W. and Hansen, V. E. *Irrigation principles and practices*. John Wiley and Sons, New York, 1962.
7. Sopper, W. E. and Kardos, L. T. *Recycling treated waste water and sludge through forest and cropland*. Pennsylvania State University Press, 1973.
8. Raadgevend Ingenieursbureau Witteveen+Bos. *Milieu aspecten rapport, Rioolwaterzuiveringsinrichting Horstermeer*. Deventer, februari 1977.
9. Breeuwisma, A. en Engers, L. E. van. *Verontreiniging en zuivering van grondwater bij vulstortplaatsen*. H₂O (1975), 1, 6-9.
10. Environmental Protection Agency. *Process Design Manual for Sludge treatment and Disposal*. Washington, 1974.
11. Imhoff, K. und Imhoff, K. R. *Die natürlichen Verfahren der Schlammwässerung sind immer*

De overloop van de nabezinkingsbekkens wordt via het effluentbekken (11) naar de Schelde gepompt.

De pH-, temperatuur-, opgeloste zuurstof-, TOD-waarden en debiet van het geloosde water (11) worden continu geregistreerd.

C. Slibbehandelingssysteem

Zoals bij elke biologische zuivering het geval is, wordt ook hier het afvalwaterprobleem omgezet in een afvalslibprobleem. De slibbehandelingsinstallatie bestaat uit een slibconditioneertank en een decanteercentrifuge.

Deze laatste is cilindrisch-conisch en bestaat uit twee essentiële onderdelen: een roterende mantel en een roterende transport-schroef.

De mantel draait met een snelheid van 1800 tpm, en de schroef met een snelheid van 1797 tpm. De slibstroom die centraal in de centrifuge wordt gepompt, wordt eerst geconditioneerd met een oplossing van polyelektrolyten, welke sterk cationisch is. De doseringshoeveelheid is ongeveer 30 tot 50 mg per liter slib. Het droge stofgehalte van de slibcake varieert tussen de 12 en 15 %.

4. Besluit

Afb. 4 geeft een overzicht van de gehele installatie met uitzondering van het pompstation dat zich centraal in de fabriek bevindt.

Door het gebruik van zuivere zuurstof in het actiefslibproces neemt deze fabriekseenheid een speciale plaats in op het vlak van de Belgische industriële afvalwaterzuivering.

Zoals reeds in het begin van dit betoog werd aangestipt, bestaat een modern milieubeheer niet enkel in het bouwen en opereren van technisch sterke afvalbehandelingsinstallaties. Het grootste gedeelte van de afvalwaterproblemen kan immers worden opgelost in de verschillende fabriekseenheden zelf; dus *boven* de riool. Uitgaande van deze basis en door de integratie van 'environmental en process engineering know how', kon voor het afvalwaterprobleem van Union Carbide's linkerover fabriek een passende oplossing worden gevonden.

Dankbetuiging

Tenslotte dankt de schrijver de heer ir. H. van Cauwenberghe (Union Carbide

Engineering Center) voor zijn bijdrage in de algemene beschrijving van het UNOX systeem.

Literatuur

1. Okun, D. A., *System of Bio-precipitation of Organic Matter from Sewage*. Sewer Work Journal 21 - 1949.
2. Okun, D. A. and Lynn, W. R. *Preliminary Investigation into the Effect of Oxygen Tension on Biological Sewage Treatment. Biological Treatment of Sewages and Industrial Wastes. Vol. 1 Aerobic Oxydation*. Reinhold Publishing Corp. New York, 1956.
3. Albertson, J. G., McWhirter, J. R., Robinson, E. K., and Vahldieck, N. P. *Investigation of the Use of High Purity Oxygen Aeration in the Conventional Activated Sludge Process*. FWQA Department of Interior. Program Nr. 17050 DNW May 1970.
4. Boon, A. G. *Use of Oxygen in the Treatment of Waste Water*, H₂O 1977, Nr. 10.
5. Chapman, T. D., Matsch, L. C., Zander, E. H. *Effect of High Dissolved Oxygen Concentration in Activated Sludge Systems*. Journal Water Pollution Control Federation. November 1976 - Vol. 48, Nr. 11.
6. Houtmeyers, J., Verachtert, H. *Mondelinge mededeling, Laboratorium Industriële Microbiologie en Biochemie*. Katholieke Universiteit Leuven.
7. Kuiper, J. *De Rol van de Protozoën in de Waterzuivering*. H₂O (6) 1973, Nr. 19.

Afb. 4 - Luchtfoto van de Afvalwaterzuiveringseenheid te Zwijndrecht.

- | | |
|------------------------------------------------|---------------------------------|
| 1. olieafscheider | 6. Unox-zuid reactor |
| 2. noodbekken | 7. nabezinkingsbekkens |
| 3. egalisatiebekken | 8. bio-slib- en effluent bekken |
| 4. pH-regelings- en nutriënten doseringsbekken | 9. chemicaliën gebouw |
| 5. Unox-noord reactor | 10. slibbehandelingsinstallatie |

