



De integrale slibketen gemodelleerd en geanalyseerd

WIM WIEGANT, ROYAL HASKONING
WIM KOOPMANS, ROYAL HASKONING
HANS KAMPHUIS, ROYAL HASKONING
CORA UIJTERLINDE, STOWA

Afvalwaterslib wordt gevormd tijdens de behandeling van afvalwater. De hele slibketen bestaat uit de vorming, behandeling, indikking, vergisting en ontwatering van dit slib op de rwzi en de verdere verwerking bij de eindverwerker van het slib. Deze keten werd in opdracht van de Nederlandse waterschappen (via de STOWA) door Royal Haskoning in samenwerking met Jacobs Consult gemodelleerd om inzicht te krijgen in het energieverbruik, de kosten en de emissies van de verschillende processen en de onderlinge samenhang daartussen. Dit gebeurde voor een groot aantal combinaties van configuraties van rwzi's en mogelijk routes van de eindverwerking. In dit artikel wordt op basis van de modellering een analyse van de slibketen gepresenteerd en worden conclusies getrokken en aanbevelingen gedaan voor de slibketen van de toekomst.

In Nederland zijn circa 380 rioolwaterzuiveringsinstallaties in bedrijf die jaarlijks in totaal ongeveer 380.000 ton droge stof aan zuiveringslib produceren. Dit slib wordt mechanisch ontwaterd tot gemiddeld circa 23 procent droge stof en bijna de helft hiervan vervolgens verwerkt in twee verbrandingsinstallaties en éénderde thermisch gedroogd in zeven drooginstallaties. Zo'n 13 procent van het slib wordt biologisch gedroogd. De rest (ongeveer zeven procent) werd oorspronkelijk verwerkt in een installatie voor natte oxidatie te Apeldoorn, die echter uit bedrijf is genomen, en wordt nu geëxporteerd.

In dit artikel wordt bekeken hoe in de toekomst de beste manier van slibverwerking eruit zou kunnen zien. Vragen die hierbij centraal staan, zijn: wat zijn de effecten op de keten van het al dan niet toepassen van voorbezinking, het al dan niet toepassen van chemische/biologische defosfatering, energierugwinning - zowel decentraal (biogas) als centraal (op slibeindverwerking) - en het type eindverwerking? Hiertoe is de slibketen van het influent van de rwzi tot aan de mineralisatie na eindverwerking gemodelleerd. Met het rekenmodel kunnen geselecteerde ketenscenario's met elkaar worden vergeleken. Centraal staan de energie, kooldioxide-emissie en verwerkingskosten. Het rekenmodel gaat uit van een 'groene weide'-situatie: een nieuw te reali-

seren slib/waterlijn en eindverwerking van het slib. Een meer gedetailleerde beschrijving van de modellering is te vinden in de rapportage van het project¹.

In het rekenmodel is uitgegaan van 'gemiddeld' Nederlands afvalwater, dat wordt behandeld in rwzi's van 100.000 i.e., met de daarbij horende effluenteisen conform het Lozingenbesluit Stedelijk Afvalwater. In de studie is gekozen voor een schaalgrootte van de slibeindverwerking van jaarlijks 100.000 ton droge stof voor verbranding en 20.000 ton droge stof voor de overige technieken. Het rekenmodel bestaat uit twee samengevoegde

spreadsheetmodellen: één voor de water- en sliblijn waarmee het traject wordt gemodelleerd vanaf het influent van de rwzi tot en met de mechanische slibontwatering (binnen de inrichting van de rwzi) en één voor de slibeindverwerking, waarmee het traject wordt gemodelleerd vanaf de mechanische slibontwatering tot aan de mineralisatie van het slib (buiten de inrichting van de rwzi). Met het afronden van het project zijn beide modellen door de STOWA beschikbaar gesteld.

Waterschappen en slibeindverwerkers kunnen met deze modellen de eigen situatie modelleren en de effecten van aanpassingen in de water- en slibketen berekenen.

In de bestudeerde ketenscenario's zijn de volgende variabelen opgenomen:

- wel of geen voorbezinking,
- wel of geen slibgisting,
- wel of geen biologische fosfaatverwijdering.

Dit leidt tot acht verschillende configuraties van de rwzi. Andere keuzemogelijkheden in het model zijn de toepassing van mechanische of gravitaire indikking, de toepassing van voorbehandeling (ultrasone desintegratie) van het slib voordat het wordt vergist én verschillende typen ontwatering.

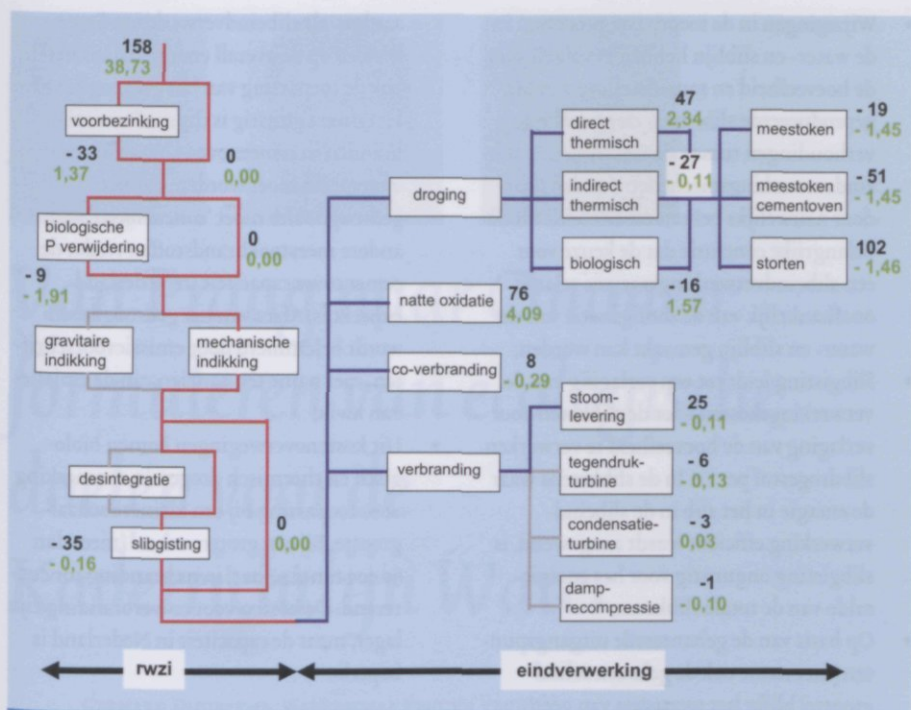
Voor de studie werden twaalf slibeindverwerkingstechnieken geselecteerd:

- biologische droging, directe thermische droging of indirect thermische droging gevolgd door meestoken, verbranding in een cementoven of storten,
- indirecte droging en verbranding in een wervelbed als nulvariant,
- natte oxidatie,
- meeverbranden in een afvalverbrandingsinstallatie.

Dit levert in totaal nog eens $3 \times 3 \times 3 = 12$ varianten op. De combinatie van de varianten

Overzicht van de belangrijkste berekeningsresultaten van de water- en sliblijn.

element	eenheid	variant							
		1	2	3	4	5	6	7	8
voorbezinking	1/0	0	1	0	1	0	1	0	1
slibgisting	1/0	0	0	1	1	0	0	1	1
bio-P	1/0	0	0	0	0	1	1	1	1
slibproductie	kg/d	4.559	4.794	3.623	3.468	4.089	4.321	3.141	3.005
droge stofgehalte	%	21	24	24	25	21	24	24	25
energieverbruik	kW	236	223	247	236	240	226	253	239
energieproductie	kW	0	0	64	107	0	0	64	107
investering	euro/i.e.	309	320	322	338	302	310	315	328
exploitatie	euro/i.e. ⁻¹ .j ⁻¹	34,10	35,60	35,10	36,60	32,90	34,00	33,90	35,10



Afb. 1: Schematische weergave van de elementen van de slibketen. Rood = RWZI, blauw = slibketen. Grijze lijnen zijn opgenomen in de modellen, maar worden hier niet besproken. Zwarte getallen staan voor energieverlies in MJ per i.e. per jaar. Groene getallen staan voor de kosten in euro per i.e. per jaar.

resulteert in $(8 \times 12) = 96$ configuraties die met elkaar zijn vergeleken. Deze configuraties zijn schematisch weergegeven in afbeelding 1. Als referentie voor de vergelijking is gekozen voor een variant zonder voorbezinking, vergisting of biologische fosfaatverwijdering in combinatie met indirecte droging en verbranding in een wervelbed.

Resultaten modelberekeningen

In de tabel op de vorige pagina is een overzicht gegeven van de belangrijkste resultaten van de modelberekeningen van de water- en sliblijn.

Een analyse van de modelberekeningen heeft geleid tot een selectie van ketenscenario's die in aanmerking komt voor een nadere energie-optimalisatiestudie.

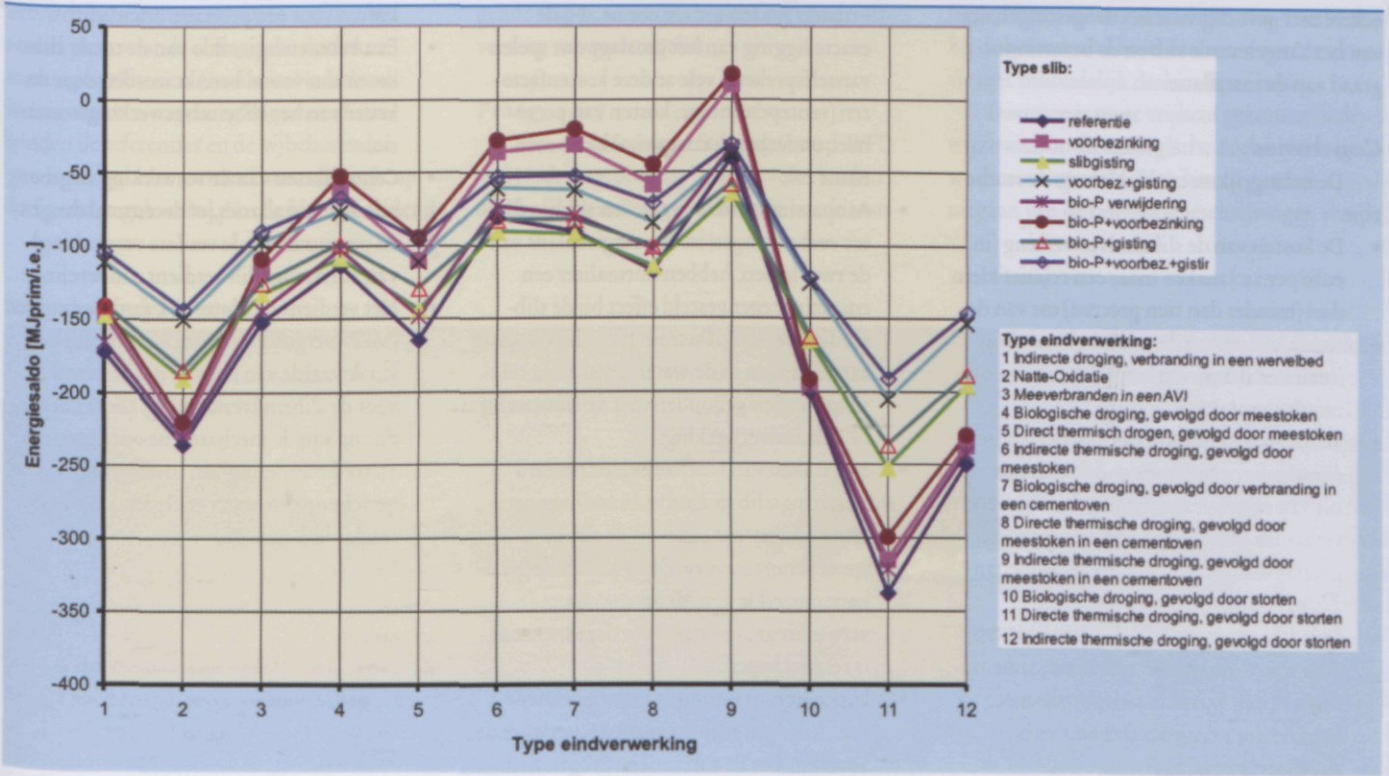
Analyse van de slibketen

Als varianten voor de slibketen bij de rwzi zijn de toepassing van voorbezinking, slibgisting en biologische fosfaatverwijdering gebruikt. Het toepassen van voorbezinking (zonder toepassing van gisting en zonder bio-fosfaatverwijdering) leidt tot een lichte stijging van de slibproductie ten opzichte van de referentie (rwzi-variant 1). Voorbezinking leidt tot een aanzienlijke reductie in de volumes van de beluchtingsruimten en een verlaging van de benodigde beluchtingsenergie.

Door het toepassen van slibgisting neemt de productie van slibdrogestof sterk af (met circa 20 procent). Bovendien verbeteren in het algemeen de ontwateringseigenschappen van het slib, zodat ook een hoger gehalte droge stof kan worden gehaald na de mechanische ontwatering. Bij toepassing van voorbezinking in combinatie met slibgisting neemt de slibproductie nog verder af met circa 34 procent ten opzichte van de referentie. Hierbij wordt ook ongeveer 44 procent energie teruggewonnen.

De resultaten van de modelberekeningen laten zich redelijk goed samenvatten door het energieverbruik en de kosten beide op te vatten als het resultaat van de aanwezigheid van de elementen in afbeelding 1. In dat schema kan men zich 'door de slibketen heen puzzelen' van het influent linksboven tot aan de eindverwerking rechts en de elementen die men tegenkomt optellen om zo tot een eindbedrag te komen. Hoewel deze benadering natuurlijk niet volledig correct is, is de correlatie tussen de op deze manier benaderde kosten

Afb. 2: Energiesaldo per i.e. voor de totale slibketen voor de combinaties van de meest relevante slibeindverwerkingsvarianten.



en de berekende kosten heel goed ($R^2 = 0,98$). Hetzelfde geldt voor het energieverbruik ($R^2 = 0,89$). De kosten voor een rwzi met voorbezinking en slibgisting en zonder biologische fosfaatverwijdering (rwzi-variant 4) en met biologische droging van het slib gevolgd door meestoken in een energiecentrale zijn dus bijvoorbeeld (zie afbeelding 1): $K = 38,73 + 1,37 + 0 - 0,16 + 1,57 - 1,45 = 40,07$ euro per i.e. per jaar.

Dit komt goed overeen met de berekende kosten (40,06 euro per i.e. per jaar). De gemiddelde afwijking tussen opgetelde en berekende kosten bedraagt 0,12 euro. Omdat de overeenkomst voor de energie minder goed is, zijn de volledige uitkomsten gegeven in afbeelding 2.

De uitkomsten van de berekeningen laten zien dat de rwzi minimaal 81 en maximaal 151 MJ per i.e. per jaar aan primaire energie verbruikt. Bij de slibeindverwerking wordt maximaal 368 MJ per i.e. per jaar aan primaire energie wordt verbruikt. Ze levert per jaar maximaal 9 MJ op. Beide afbeeldingen laten zien dat de invloed van de keuze van de slibeindverwerkingstechniek op het energieverbruik bij een vergelijking van de slibketens veel groter is dan de invloed van de varianten in de water- en sliblijn op de rwzi.

De verwerkingskosten voor de water- en sliblijn variëren weinig: van 35,60 tot 36,60 euro per i.e. per jaar.

De kosten voor de slibeindverwerking liggen in de orde grootte van zeven tot tien procent van de kosten voor de totale slibketen, uitgedrukt in euro per inwonerequivalent. De berekende kosten voor de slibeindverwerking variëren van drie tot zes euro. De kosten zijn echter zeer gevoelig voor het drogestofgehalte van het aangeleverde slib en de bezettingsgraad van de installatie.

Conclusies

De belangrijkste conclusies van de studie zijn:

- De kosten van de slibeindverwerking (in euro per i.e.) maken maar een relatief klein deel (minder dan tien procent) uit van de totale kosten van de totale behandeling (inclusief slibverwerking) van een inwonerequivalent;
- Slibtransport maakt onder Nederlandse omstandigheden minder dan drie procent uit van de totale kosten van de slibketen en verbruikt minder dan vijf procent van de energie die nodig is voor de totale behandeling;
- De energiebalans van de totale slibketen (van water- en sliblijn tot en met slibeindverwerking) wordt in belangrijke mate bepaald door de gemaakte keuzes bij de slibeindverwerking;

- Wijzigingen in de toegepaste processen in de water- en sliblijn hebben gevolgen voor de hoeveelheid en samenstelling van het geproduceerde slib, maar de onderlinge verhoudingen tussen de verschillende slibeindverwerkingsmethoden worden daarvoor nauwelijks beïnvloed. Dit leidt tot de belangrijke conclusie dat de keuze voor een slibeindverwerkingsvariant relatief onafhankelijk van de configuratie van de water- en sliblijn gemaakt kan worden;
- Slibgisting leidt tot een verlaging van de verwerkingskosten voor de slibketen door verlaging van de hoeveelheid te verwerken slibdrogestof per i.e. In de slibketens waar de energie in het slib in de slibeindverwerking efficiënt wordt aangewend, is slibgisting ongunstig voor het energie-saldo van de totale slibketen;
- Op basis van de gehanteerde uitgangspunten (met name ook de gekozen schaal-grootte) blijkt het toepassen van géén voorbezinking, wel slibgisting en wel bio-fosfaatverwijdering (variant 7) qua verwerkingskosten de meest gunstige variant. Dit komt mede door de relatief lage kosten voor de benodigde slibeindverwerking;
- De variant (8) met voorbezinking, slibgisting en bio-P is uit energetisch oogpunt de meest gunstige variant voor de gehele keten. Bij verdere stijging van de energieprijzen (of bij invoering van een MEP-subsidie op de daarbij geproduceerde extra energie) wordt deze variant ook uit een oogpunt van verwerkingskosten gunstig;
- Het omslagpunt voor de schaalgrootte van de rwzi waarbij slibgisting wel of niet gunstiger is, ligt - afhankelijk van de kosten van de eindverwerking van het slib - tussen 100.000 tot 200.000 i.e.. Bij de exacte ligging van het omslagpunt spelen vanzelfsprekend vele andere kostenfactoren (rentepercentage, kosten van personeel, onderhoud, energie) ook een voorname rol;
- Aanpassingen in de water- en sliblijn die tot verbeteringen in de energiebalans van de rwzi leiden, hebben normaliter een enigszins tegengesteld effect bij de slibeindverwerking. Daarom moet bij dit soort aanpassingen in de water- en sliblijn rekening worden gehouden met de effecten bij de slibeindverwerking;
- Meestoken van mechanisch ontwaterd zuiveringsslib in afvalverbrandingsinstallaties is eveneens een voor de slibeindverwerking in aanmerking komende goedkope optie. De beschikbare verwerkingscapaciteit voor deze methode is relatief beperkt;
- Uit energetisch oogpunt verdient thermisch drogen met restwarmte duidelijk de voorkeur boven thermische drogen met

aardgas als slibeindverwerking. Grote invloed op de overall energiebalans heeft ook de toepassing van het gedroogde slib. Het meest gunstig is daarvoor meeverbranden in cementovens, waarbij wel opgemerkt moet worden, dat het gedroogde slib moet 'concurreren' met andere meestookbrandstoffen en dat de cementovencapaciteit in Nederland beperkt is. Afzet van het gedroogde slib wordt belemmerd door emissievoorschriften, met name ten aanzien van de emissie van kwik;

- Uit kostenoverwegingen komen biologisch en thermisch drogen in aanmerking voor toepassing bij een kleinere schaal-grootte. Bij een grotere schaal (meer dan 50.000 ton d.s./jaar) is verbranding concurrerend. De kosten voor co-verbranding zijn lager, maar de capaciteit in Nederland is beperkt.

Aanbevelingen voor toekomstig beleid

Bij het vergelijken van de slibketenscenario's is uitgegaan van een 'groene weide'-situatie. Geen rekening is dus gehouden met bestaande situaties, lokale omstandigheden, het marktmechanisme, subsidiemogelijkheden en lokale kansen voor synergie. Desondanks kunnen de volgende aanbevelingen voor het toekomstig slibbeleid worden geformuleerd:

- Proceswijzigingen die op de rwzi's energetisch gunstiger zijn, zijn dat niet zonder meer voor de gehele slibketen;
- Het investeren in proceswijzigingen op de rwzi's leidt in veel gevallen tot hoge kosten per bespaarde MWh, vergeleken met de kosten voor een primaire brandstof;
- Een beter energiesaldo van de totale slibketen kan vooral bereikt worden door de keuze van het slibeindverwerkingsscenario;
- Centraliseren van de verwerking in groot-schalige installaties (of decentraal drogen en gecentraliseerde verdere verwerking) van zuiveringsslib verdient aanbeveling;
- Het verdient tenslotte ook aanbeveling een (MEP-)vergoeding toe te kennen aan de stookwaarde van het slib dat bestemd is voor de slibeindverwerking. Dit ter bevordering van de mechanische ontwatering en ter bevordering van investeringen gericht op een hoger energiesaldo van de totale slibketen. ☛

LITERATUUR

- 1) STOWA (2005). Slibketenstudie: onderzoek naar de energie- kostenaspecten in de water- en slibketen. Rapport 2005-06.