

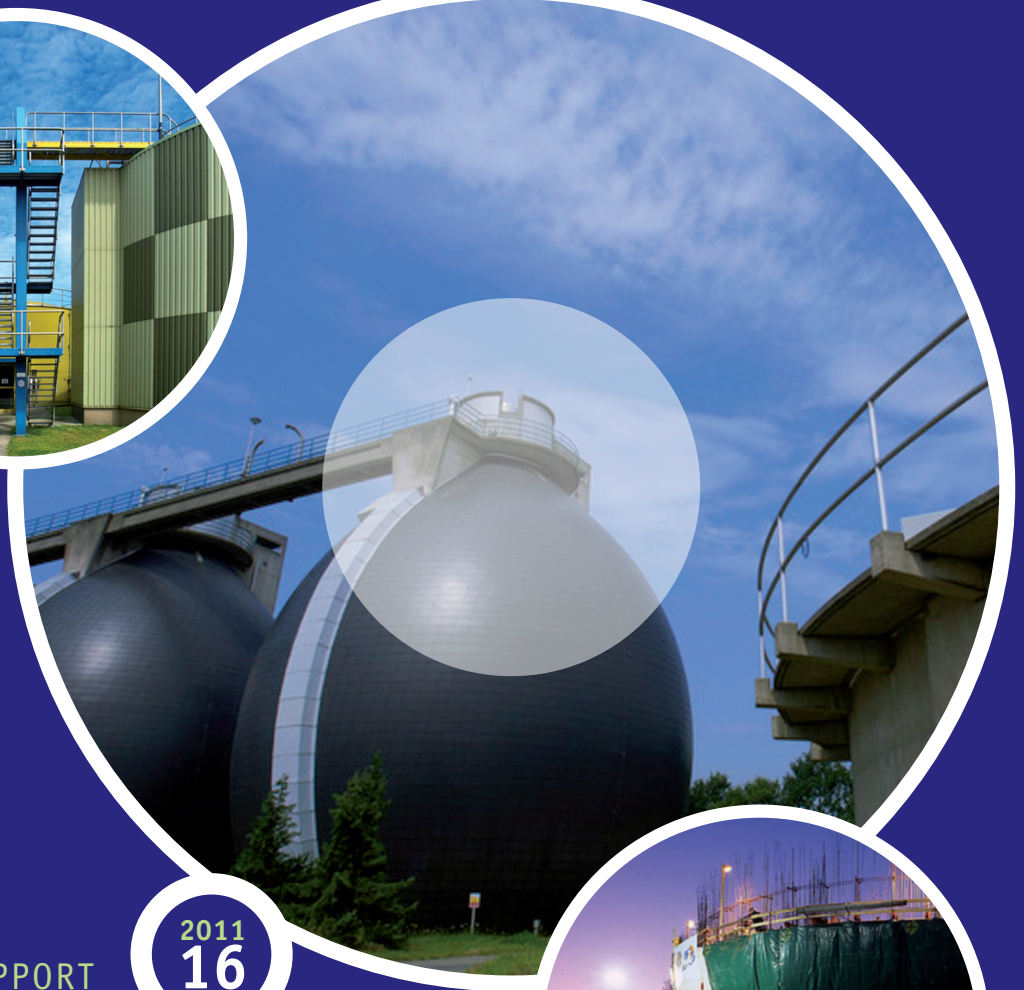
stowa



Agentschap NL
Ministerie van Economische Zaken,
Landbouw en Innovatie



HANDBOEK SLIBGISTING



RAPPORT

2011
16



HANDBOEK SLIBGISTING

RAPPORT

2011

16



Agentschap NL
Ministerie van Economische Zaken,
Landbouw en Innovatie



ISBN 978.90.5773.522.6



COLOFON

UITGAVE Amersfoort, 2011
STOWA, Amersfoort

PROJECTUITVOERING

A.F. van Nieuwenhuijzen - Witteveen+Bos
E. Koornneef - DHV
P.J. Roeleveld - MWH (thans Royal Haskoning)
A. Visser - Royal Haskoning
D. Berkhout - DHV
F. van den Berg van Saparoea - Witteveen+Bos
V. Miska - DHV
E. van Voorthuizen - Royal Haskoning
C. van Erp Taalman Kip - MWH

BEGELEIDINGSCOMMISSIE

F. Brandse - Waterschap Reest en Wieden (voorzitter)
C. Petri - Waterschap Rijn en IJssel
L. van Efferen - Waterschap Zuiderzeeland
T. Dekker - IMD
C.A. Uijterlinde - STOWA
K. de Korte - Waternet (extern lid)

FOTO'S OMSLAG

rwzi Amsterdam West (Witteveen+Bos)
rwzi Amstelveen (Witteveen+Bos)
rwzi Amsterdam in aanbouw (Witteveen+Bos)
rwzi Hengelo (Witteveen+Bos)

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau

STOWA STOWA 2011-16
ISBN 978.90.5773.522.6

SAMENVATTING

AANLEIDING

In Nederland wordt anno 2011 op bijna één kwart van de momenteel operationele communale riool- en afvalwaterzuiveringsinrichtingen (352 rwzi's) slibgisting toegepast waar ruw of ingedikt primair slib en secundair slib wordt uitgegist. In deze 86 slibgistinginstallaties wordt circa 50% van al het geproduceerde slib verwerkt dat op de rwzi's wordt geproduceerd. Slibgisting speelt een belangrijke rol in de slibstabilisatie, de slibreductie en de energie- en warmtevoorziening voor zuiveringsinstallaties. Doelmatige kostenreductie en duurzaamheid zijn een belangrijke drijfveer voor slibgisting. Tot een aantal jaar geleden werd slibgisting als een secundaire voorziening op een rwzi gezien. De aandacht voor het slibgistingsproces was sinds het begin van de jaren 90 van de vorige eeuw enigszins op de achtergrond is geraakt.

De recente opleving van de aandacht voor de slibgisting door aandacht voor duurzaamheid, energie en kostenbesparing is aanleiding om de kennis met betrekking tot slibgisting te analyseren en te bundelen. Tevens is een aandachtspunt het parate kennisniveau rondom het thema slibgisting. STOWA heeft deze aanleiding aangegrepen om het Handboek Slibgisting op te stellen om de kennis over slibgisting te borgen en gemakkelijk beschikbaar te maken voor technologen en bedrijfsvoerders van waterschappen en adviesbureaus.

De doelstelling van het handboek is het borgen van basiskennis over het slibgistingsproces. Het handboek is bedoeld als operationele leidraad voor het ontwikkelen, ontwerpen, optimaliseren en bedienen van slibgistinginstallaties voor communaal zuiveringsslib. In dit handboek worden adviezen gegeven om een slibgistingstank zo goed mogelijk te ontwerpen, te beheren en knelpunten op te lossen. Voorschriften worden daarbij niet opgelegd omdat de ontwerp- en beheersfilosofie van slibgistingstanks per betrokken organisatie nog wel eens verschillen. De doelgroep voor het handboek bestaat uit bedrijfsvoerders en technologen van waterschappen en medewerkers van adviesbureaus en opleiding- en onderzoeksinstituten. Speciale aandacht wordt daarbij besteed aan verstoorde bedrijfssituaties en calamiteiten.

SLIBGISTING

Bij de behandeling van afvalwater wordt zuiveringsslib geproduceerd. Over het algemeen gebeurt dit op grote rwzi's vooraan in het zuiveringsproces in de voorbezinktank en in het biologische actief-slibproces. In de voorbezinktank worden bezinkbare delen uit de inkomende afvalwaterstroom afgescheiden en als primair slib afgevoerd naar de slibverwerking. In het actief-slibproces wordt biologisch slib geproduceerd - voornamelijk bestaande uit bacteriemassa - dat als secundair slib afgescheiden wordt in de nabezinktanks. Primair en secundair slib wordt na indikking meestal gezamenlijk uitgegist in slibgistingstanks. Slibgisting is een biologisch proces waarbij organische stoffen uit zuiveringsslib voornamelijk worden omgezet in methaan, kooldioxide en water. Toepassing van slibgisting op een rwzi kent binnen de slibverwerking de volgende doelstellingen:

- omzetting van onopgelost organisch materiaal, waardoor de slibverwerkingskosten wordt beperkt;
- productie van biogas dat nuttig kan worden toegepast als energiebron;
- verbeteren van de ontwaterbaarheid;
- verdere stabilisatie van het slib, waardoor het slib niet meer tot rotting overgaat tijdens de eindverwerking;
- terugdringen van pathogene kiemen.

Het belangrijkste basisprincipe van slibgisting is het gisten van het organische deel van het zuiveringsslib en dit om te zetten in biogas. Het geproduceerde gas wordt biogas genoemd. Het conventionele slibgistingsproces vindt plaats in een slibgistingstank met een operationele hydraulische slibverblijftijd van ongeveer 20 dagen bij een temperatuur van 30 tot 38 °C. De voordelen van slibgistingsinstallaties liggen veelal in energierecuperatie (hogere energie-efficiency), stabilisatie van slib, een betere ontwaterbaarheid van het uitgeste slib (minder chemicaliënverbruik ontwatering) en vermindering van de slibproductie (minder reststofproductie). Daarnaast kan het geproduceerde biogas worden benut als energiebron. De eindproducten van het slibgistingsproces, biogas en uitgeste slib, kunnen op verschillende wijze gebruikt en benut worden.

INVLOEDSFACTOREN EN OPLOSSING CALAMITEITEN

Aan de hand van een samenvattend overzicht van de belangrijkste invloedsfactoren op het functioneren van een slibgisting wordt in het handboek het ontwerp, de bedrijfsvoering en het oplossen van calamiteiten besproken.

Aan de rechterkant van de slibgisting staan de resultaatgerichte aspecten die een belangrijke invloed hebben op de exploitatie van een rwzi, zijnde:

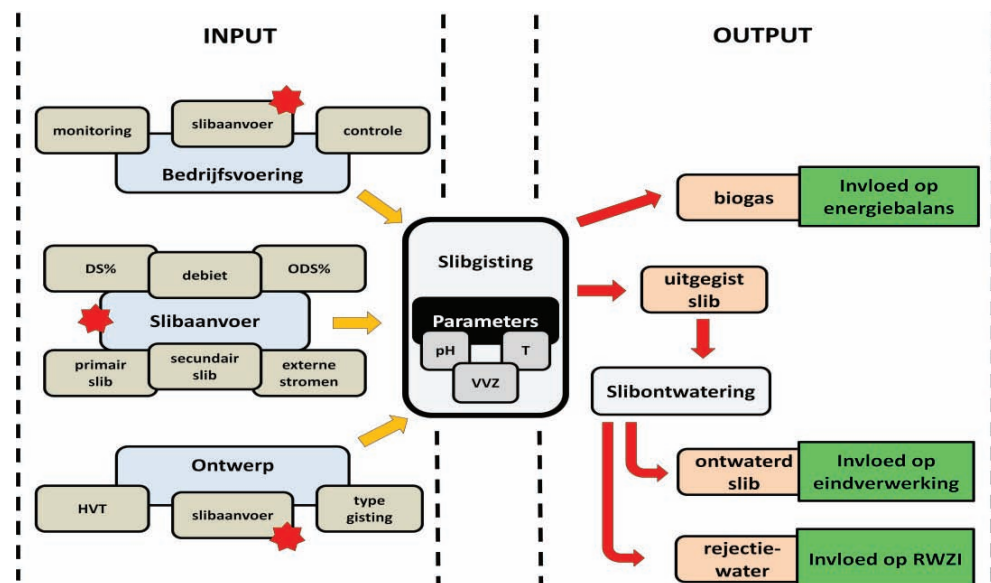
- invloed op de energiebalans via de productie van biogas;
- invloed op de eindverwerking van het slib nadat slibontwatering heeft plaats gevonden;
- invloed op de rwzi via het rejectiewater dat ontstaat bij slibontwatering. De belangrijkste invloed daarvan is het terugvoeren van stikstof en fosfaat naar de waterlijn van de rwzi.

Het functioneren van een slibgisting, en daarmee dus de invloed op de hiervoor genoemde resultaatgerichte aspecten, wordt in beginsel bepaald door de volgende twee factoren:

- dimensionering van de slibgisting;
- bedrijfsvoering van de slibgisting.

In zowel de dimensionering als de bedrijfsvoering is de voeding, in samenstelling en hoeveelheid, de meest bepalende invloedsfactor op het gehele functioneren en de prestaties van de slibgisting. Hieronder wordt de invloed daarvan beschreven via de slibkarakteristiek.

INVLOEDSFACTOREN RONDOM DE SLIBGISTING



ONTWERP

De belangrijkste technische kenmerken met het oog op het ontwerp en voor het goed functioneren van de gisting zijn:

- aantal, bouwwijze gisting en reactor vorm;
- type menging en verwarming;
- wijze van voeden;
- slibafvoerconstructie;
- schuim- en drijf laagafvoer;
- metingen en beveiligingen.

HANDLEIDING

Dit STOWA-rapport is als actief handboek opgesteld. De hoofdstukken zijn daarom individueel leesbaar gemaakt zodat de gebruiker de thema's en onderwerpen kan vinden en oplossingen gepresenteerd krijgt zonder dat het gehele rapport bestudeerd hoeft te worden. Hierdoor kan het voorkomen dat onderwerpen op verschillende plaatsen besproken worden die voor de lezer van het gehele rapport als dubbelingen kunnen worden geduid. Echter, de thema's en onderwerpen komen bewust terug in de hoofdstukken Ontwerp, Normale Bedrijfsvoering, Verstoorde Bedrijfsvoering en Bijzondere Bedrijfsvoering.

In dit handboek worden adviezen gegeven om een slibgistingstank zo goed mogelijk te ontwerpen, te beheren en knelpunten op te lossen. Voorschriften worden daarbij niet opgelegd omdat de ontwerp- en beheersfilosofie van slibgistingtanks per betrokken organisatie nog wel eens verschillen. De inhoud van de leidraadhoofdstukken is niet als samenvatting op te sommen vandaar dat hier verwezen wordt naar de uitgebreide inhoud van de individuele hoofdstukken en naar de inhoudsopgave.

DE STOWA IN HET KORT

De Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, kortweg STOWA, is het onderzoeksplatform van Nederlandse waterbeheerders. Deelnemers zijn alle beheerders van grondwater en oppervlaktewater in landelijk en stedelijk gebied, beheerders van installaties voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater en beheerders van waterkeringen. Dat zijn alle waterschappen, hoogheemraadschappen en zuiveringsschappen en de provincies.

De waterbeheerders gebruiken de STOWA voor het realiseren van toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk juridisch en sociaal-wetenschappelijk onderzoek dat voor hen van gemeenschappelijk belang is. Onderzoeksprogramma's komen tot stand op basis van inventarisaties van de behoefte bij de deelnemers. Onderzoekssuggesties van derden, zoals kennisinstituten en adviesbureaus, zijn van harte welkom. Deze suggesties toetst de STOWA aan de behoeften van de deelnemers.

De STOWA verricht zelf geen onderzoek, maar laat dit uitvoeren door gespecialiseerde instanties. De onderzoeken worden begeleid door begeleidingscommissies. Deze zijn samengesteld uit medewerkers van de deelnemers, zonodig aangevuld met andere deskundigen.

Het geld voor onderzoek, ontwikkeling, informatie en diensten brengen de deelnemers samen bijeen. Momenteel bedraagt het jaarlijkse budget zo'n 6,5 miljoen euro.

U kunt de STOWA bereiken op telefoonnummer: 033 - 460 32 00.

Ons adres luidt: STOWA, Postbus 2180, 3800 CD Amersfoort.

Email: stowa@stowa.nl.

Website: www.stowa.nl

HANDBOEK SLIBGISTING

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING	
	STOWA IN HET KORT	
1		
	INLEIDING	1
1.1	Achtergrond	1
	1.1.1 Gerelateerde projecten	1
	1.1.2 Het belang van het slibgistingsproces binnen de rwzi	3
1.2	Doelstelling	4
1.3	Uitgangspunten	4
1.4	Leeswijzer	4
2		
	THEORIE	6
2.1	Basisprincipe van slibgisting	6
2.2	Beschrijving theorie slibgistingsproces	7
	2.2.1 Algemeen	7
	2.2.2 Hydrolyse	8
	2.2.3 Acidogenese	8
	2.2.4 Acetogenese	8
	2.2.5 Methanogenese	8
2.3	Milieufactoren	9
	2.3.1 Effect van de ph	9
	2.3.2 Buffercapaciteit	10
	2.3.3 Effect van de temperatuur	10
	2.3.4 Beschikbaarheid nutriënten	12
	2.3.5 Toxiciteit	12
	2.3.6 Redoxpotential	13

2.4	Invloedsfactoren slibgisting	13
2.4.1	Introductie	13
2.4.2	Slibaanvoer en slibsamenstelling	14
2.4.3	Slibgisting en verblijftijd	17
2.4.4	Biogasproductie en karakterisering	18
2.4.5	Slibeindverwerking	20
2.4.6	Rejectiewater en karakterisering	22
3	STAND DER TECHNIEK	23
3.1	Nederland	23
3.1.1	Inleiding	23
3.1.2	Technologische kenmerken	23
3.1.3	Technische kenmerken	24
3.1.4	Wijze van voeden	26
3.1.5	Aanwezige metingen en beveiligingen	26
3.2	Inventarisatie actuele aandachtspunten	27
3.3	Verenigd Koninkrijk en Verenigde Staten	27
3.3.1	Inleiding	27
3.3.2	Meertraps slibgisting	28
3.3.3	Thermofiele slibgisting	30
3.3.4	Enzymatische hydrolyse	31
3.4	Duitsland	32
3.4.1	Inleiding	32
3.4.2	Technologische kenmerken	32
3.4.3	Technische kenmerken	32
3.4.4	Wijze van voeden	33
3.4.5	Metingen en beveiligingen	33
3.5	Scandinavië	33
3.5.1	Thermofiel versus mesofiel	34
3.5.2	Capaciteit	35
3.6	Actuele ontwikkelingen	35
3.6.1	Co-vergisting	35
3.6.2	Slibdesintegratie	36
4	ONTWERPRICHTLIJNEN	40
4.1	Inleiding	40
4.2	Ontwerpmodellen slibgisting	40
4.3	Verblijftijd en volume slibgistingstank	41
4.3.1	Hydraulische verblijftijd	41
4.3.2	Afvlakken van piekaanvoer	43
4.3.3	Economische afweging van de verblijftijd	44
4.3.4	Slibaanvoer	45
4.3.5	Slibbuffervoorzieningen	46
4.4	Temperatuur	46
4.5	Mesofiel versus thermofiel	47

5	SYSTEEMKEUZE	48
5.1	Inleiding	48
5.2	Aantal slibgistingstanks	48
5.3	Constructieve aspecten van slibgistingstanks	49
5.4	Vorm van de slibgistingstank	50
5.5	Slibafvoer uit slibgistingstanks	51
5.6	Menging	51
	5.6.1 Externe menging	52
	5.6.2 Menging door intern rondpompsysteem	52
	5.6.3 Menging door roerwerk	54
	5.6.4 Menging door gasinblazing	56
	5.6.5 Menging door heatamix systeem	57
	5.6.6 Ontwerp en keuze mengtechniek	59
5.7	Verwarming	60
5.8	Biogasbuffering	62
	5.8.1 Natte gashouders	62
	5.8.2 Droge gashouders	63
5.9	Biogasverwerking	64
6	NORMALE BEDRIJFSVOERING	67
6.1	Wat is “normale” bedrijfsvoering?	67
	6.1.1 Voorzuivering: roostergoed en zandverwijdering	67
	6.1.2 Drogestofconcentratie	67
	6.1.3 Remmende stoffen	68
	6.1.4 Metalen	68
	6.1.5 Parameters slibgisting	68
6.2	Wat meten, monitoren en waarom	69
	6.2.1 Monitoring van de efficiëntie	69
	6.2.2 Monitoring van de processtabiliteit	70
	6.2.3 Monitoring van de hoeveelheid en kwaliteit van het slib	70
	6.2.4 Monitoren technische aspecten	71
6.3	Setpoints en ranges van stuur- en controleparameters	71
	6.3.1 Voeding	72
	6.3.2 Menging	72
	6.3.3 Temperatuur	73
	6.3.4 Controleparameters	73
	6.3.5 Verblijftijd	74
	6.3.6 Biogasproductie	74
	6.3.7 Ph, alkaliteit en vluchtige vetzuren	74
	6.3.8 Nutriëntentekort	74
	6.3.9 Sulfidetoxiciteit	75
6.4	Hoe vaak meten en monitoren	75
6.5	Controleren functioneren slibgisting	75

7	VERSTOORDE BEDRIJFSVOERING	77
7.1	Situaties en problemen	77
7.1.1	Wat is verstoorde bedrijfsvoering?	77
7.1.2	Oorzaken verstoorde bedrijfsvoering	78
7.1.3	Wanneer wijkt iets af ten opzichte van normale bedrijfsvoering?	79
7.1.4	Wat controleren om afwijking te constateren / beoordelen?	79
7.2	Oplossingen en beheersing	80
7.2.1	Beheersstrategie	82
7.2.2	Technologische aspecten en acties	82
7.2.3	Technische aspecten en acties	85
7.3	Risicobeheersaspecten	88
7.3.1	Inleiding	88
7.3.2	Slibverblijftijd	89
7.3.3	Temperatuur	90
7.3.4	Slibmenging	90
7.3.5	Condensaat in gasleiding	91
7.3.6	Te hoog h ₂ s-gehalte biogas	92
7.3.7	Schuimvorming	93
7.3.8	Roostergoed en verstoppingen in slibgistinginstallaties	95
7.4	Procescontrole en bedrijfsvoering	95
8	BIJZONDERE BEDRIJFSVOERING	98
8.1	Opstart van slibgistingen	98
8.1.1	Inleiding	98
8.1.2	Opstartprocedure	98
8.2	Buiten gebruik stellen van slibgistinginstallaties	101
8.2.1	Inleiding	101
8.2.2	Zand-, en roostergoedophoping	101
8.2.3	Inspectie en onderhoud	103
8.2.4	Protocol leegzetten slibgistingstank	103
9	REFERENTIES	106
	BIJLAGEN	
1	ENQUÊTE RESULTATEN	
2	TOXICITEIT ORGANISCHE EN ANORGANISCHE STOFFEN	
3	ONTWERPOVERWEGINGEN SLIBGISTING WATERNET	
4	DRAAIBOEK SLIBGISTING VOORBEELD RWZI DONGEMOND - WATERSCHAP BRABANTSE DELTA	
5	VEILIGHEIDSPROCEDURES EN WERKPLAN SLIBGISTING STEENWIJK - WATERSCHAP REEST EN WIJEN	

1

INLEIDING

1.1 ACHTERGROND

In Nederland zijn anno 2011 24% van de momenteel operationele 352 communale riool- en afvalwaterzuiveringsinrichtingen (rwzi's) uitgevoerd met een slibgisting waar ruw of ingedikt primair slib en secundair slib wordt uitgegist. In deze 86 slibgistingsinstallaties wordt circa 50% van al het geproduceerde slib verwerkt dat op de rwzi's wordt geproduceerd. Slibgisting speelt een belangrijke rol in de slibstabilisatie, de slibreductie en de energie- en warmtevoorziening voor zuiveringsinstallaties. Doelmatige kostenreductie en duurzaamheid zijn een belangrijke drijfveer voor slibgisting. Tot een aantal jaar geleden werd slibgisting als een secundaire voorziening op een rwzi gezien. De aandacht voor het slibgistingsproces was sinds het begin van de jaren 90 van de vorige eeuw enigszins op de achtergrond is geraakt. Slibgistingsinstallaties zijn stilgezet of geamoveerd in verband met een minder goede combinatie met biologisch defosfateren. Dit was althans een periode de gangbare visie.

1.1.1 GERELATEERDE PROJECTEN

Met het in werking treden van het door de waterschappen ondertekende Meerjarenafspraken 3 zijn doelstellingen afgesproken voor verbetering van de energie-efficiency van rioolwaterzuiveringen. Hiernaast hebben de waterschappen zich gecommitteerd aan het klimaatakkoord, waarin wordt gestreefd naar zelfvoorzienende duurzame energie productie. Parallel aan MJA 3 en klimaatakkoord is de sector betrokken bij de Energiefabriek en rwzi 2030. Een gevolg van deze ontwikkeling is een hernieuwde aandacht voor slibgisting en productie van duurzame energie. Ook in de STOWA Slibketenstudie II uit 2011 is in tegenstelling tot de eerste versie uit 2005 veel meer aandacht voor slibgisting.

De opleving van de aandacht voor de slibgisting is dan ook aanleiding om de kennis met betrekking tot slibgisting te analyseren en te bundelen. STOWA heeft deze aanleiding aangegrepen om het Handboek Slibgisting op te laten stellen om de kennis over slibgisting te borgen en gemakkelijk beschikbaar te maken voor technologen en bedrijfsvoerders van waterschappen en adviesbureaus.

De initiatieven waarin slibgisting een belangrijke rol spelen zijn hieronder kort toegelicht.

KLIMAATAKKOORD

De Unie van Waterschappen en het Rijk willen een impuls geven aan de klimaatactiviteiten van de waterschappen en hebben hiertoe het 'klimaatakkoord Unie - Rijk' afgesloten. Dit akkoord houdt in dat de waterschappen in de periode 2010 - 2020 projecten en activiteiten zullen initiëren en ondersteunen die bijdragen aan:

- het halen van de landelijke energiedoelstellingen en
- de doelstellingen voor de vermindering van de uitstoot van broeikasgassen;
- het ontwikkelen en toepassen van innovatieve duurzame technologie;
- een duurzame ruimtelijke inrichting van Nederland.

Om dit akkoord na te kunnen leven, vooral op het gebied van de energie-efficiency en de uitstoot van broeikasgassen zoals CO₂ en methaan, kan slibgisting een belangrijke bijdragen leveren.

Kort samengevat zijn de belangrijkste ambities van het klimaatakkoord tussen Unie van Waterschappen en Rijk:

- 30% energie – efficiënter en zuiniger werken tussen 2005 en 2020;
- 40% zelfvoorzienend door eigen duurzame energieproductie in 2020;
- 30% minder uitstoot van broeikasgas tussen 1990 en 2020;
- 100% duurzame inkoop in 2015.

MEERJARENAFSPRAAK ENERGIE-EFFICIENCY (MJA3)

De doelstelling van de MJA3 is een energie-efficiencyverbetering van 30% voor alle waterschappen over de periode 2005 - 2020. Dat is een verbetering van gemiddeld 2% per jaar. Waterschappen die deelnemen aan MJA3 dienen eens per vier jaar een energie-efficiency plan (EEP) op te stellen. Daarin worden concrete maatregelen voorgesteld, zowel binnen de inrichting van de rwzi als binnen de keten. De slibgisting en beluchting zijn de meest essentiële procesonderdelen als het gaat om energie-efficiencyverbeteringen op zuiveringsinstallaties. Immers, met slibgisting wordt duurzame energie geproduceerd.

RWZI 2030

Met het oog op een dreigend tekort aan grondstoffen heeft de afvalwatersector zich verenigd om hierbij vooral kansen te zien. Het terugwinnen van grondstoffen is in het project 'Op weg naar de rwzi van 2030' uitgewerkt in een drietal richtingen: Nutriënten, Energie en Water (NEWater). De centrale doelstelling daarbij is: "Hoe ziet de rwzi er in de toekomst uit?". Daar waar het gaat om energie, grondstoffen en kosten speelt slibgisting een zeer belangrijke rol.

ENERGIEFABRIEK

De Energiefabriek - www.energiefabriek.com - is een initiatief van een aantal waterschappen om de behandeling van afvalwater energetisch neutraal of zelfs energieleverend te maken. De doelstelling van het project is om voor de samenwerkende waterschappen een businessplan te ontwikkelen. Daarmee kunnen de waterschappen rioolwater, eventueel in combinatie met andere energiehoudende organische stromen (bijvoorbeeld industriële reststromen) energie-neutraal, dus zelfvoorzienend, zuiveren, en mogelijk zelfs energie leveren, zoals groene elektriciteit, groen gas en warmte. Met de Energiefabriek leveren de waterschappen niet alleen een bijdrage aan het beperken van de CO₂ uitstoot, het is ook niet ondenkbaar dat ze de grootste groene energieproducent van Nederland worden. In de Energiefabriek neemt slibgisting een centrale rol in.

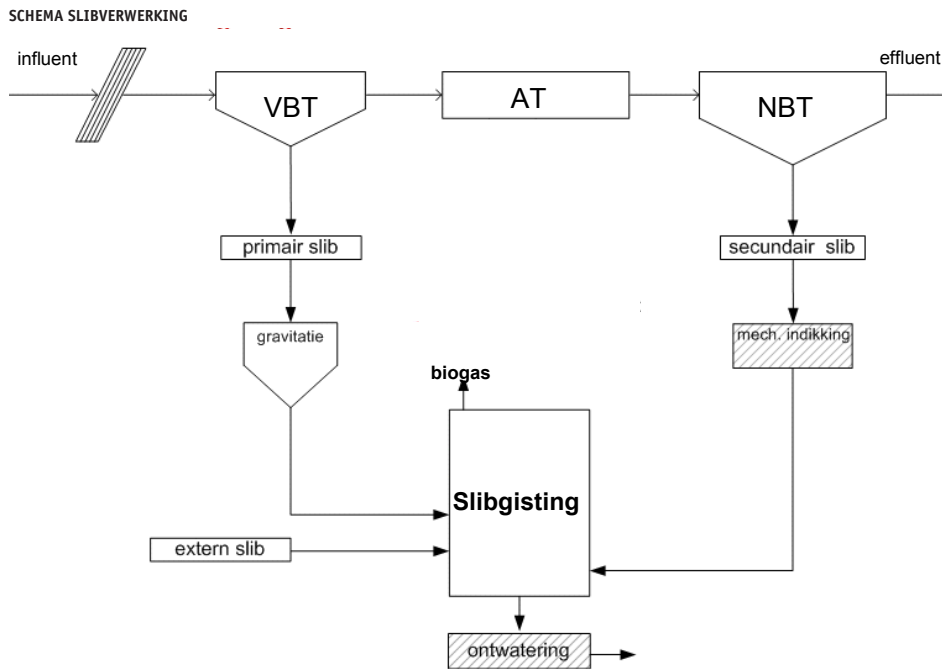
STOWA SLIBKETENSTUDIE II

De Slibketenstudie II is in de eerste plaats een aanvulling op en voortzetting van de eerste slibketenstudie, opgesteld in 2005. Met deze studie worden een aantal nieuwe technieken toegevoegd aan Slibketenstudie I, waarbij de focus vooral op energie en kosten ligt. De slibketenstudie is conceptueel belangrijk omdat de hele keten van influent tot en met de slibmineralisatie in de eindverwerking in beschouwing wordt genomen. Daarmee kan de studie een rol spelen bij de onderbouwing van fundamentele keuzes bij het inrichten van het afvalwaterzuiveringsproces en het slibeindverwerkingsproces met het oog op de toekomst waarin innovatieve duurzame technologieën worden ingezet om grondstoffen terug te winnen, om doelstellingen met betrekking tot energiebesparing te realiseren en/of om de uitstoot van broeikasgassen te verminderen. Slibgisting speelt hierbij een essentiële rol.

1.1.2 HET BELANG VAN HET SLIBGISTINGSPROCES BINNEN DE RWZI

Bij de behandeling van afvalwater wordt zuiverings-slib geproduceerd. Over het algemeen gebeurt dit op grote rwzi's vooraan in het zuiveringsproces in de voorbezinktank en in het biologische actief-slibproces. In de voorbezinktank worden bezinkbare delen uit de inkomende afvalwaterstroom afgescheiden en als primair slib afgevoerd naar de slibverwerking. In het actief-slibproces wordt biologisch slib geproduceerd - voornamelijk bestaande uit bacteriemassa - dat als secundair slib afgescheiden wordt in de nabezinktanks. Schematisch staat de slibgisting centraal in de slibverwerking zoals weergegeven in Figuur 1.1.

FIGUUR 1.1



Primair en secundair slib worden na indikking meestal gezamenlijk uitgedist in slibgistingstanks. Slibgisting is een biologisch proces waarbij organische stoffen uit zuiverings-slib voornamelijk worden omgezet in methaan, kooldioxide en water. Het geproduceerde gas wordt biogas genoemd. Het conventionele slibgistingproces vindt plaats in een slibgistingstank met een operationele hydraulische slibverblijftijd van ongeveer 20 dagen bij een temperatuur van circa 30 tot 38 °C. De voordelen van slibgistinginstallaties liggen veelal in energierugwinning (hogere energie-efficiency), stabilisatie van slib, een betere ontwaterbaarheid van het uitgediste slib (minder chemicaliënverbruik ontwatering) en vermindering van de slibproductie (minder reststofproductie). Daarnaast kan het geproduceerde biogas worden benut als energiebron.

De eindproducten van het slibgistingproces, biogas en uitgedist slib, kunnen op verschillende wijze gebruikt en benut worden. Uitgedist slib wordt veelal op locatie verder ontwaterd voordat het wordt opgehaald en verwerkt door een daarvoor bevoegd slibverwerkingsbedrijf. Het biogas wordt in de meeste gevallen in een warmtekracht(koppeling)installatie omgezet in elektriciteit (voor eigen of extern gebruik) en warmte (voor opwarming van de slibgisting, bedrijfsruimtes, en eventuele externe levering). In sommige situaties wordt biogas opgewerkt en extern benut via het aardgasnet of direct als transportbrandstof. Het opgewerkte biogas wordt vaak groen gas genoemd.

Bij de toepassing van slibgisting dient rekening gehouden te worden met de noodzakelijke investeringskosten voor de slibgistingstank en randapparatuur en de exploitatiekosten (energie, chemicaliën, beheer en onderhoud). Aangezien bij slibgisting nutriënten vanuit

de slibfase naar de waterfase overgaan, is tevens rekening te houden met de terugvoer van ammonium-stikstof en ortho-fosfaat met het rejectiewater van de ontwatering van uitgegist slib. De additionele investerings- en exploitatiekosten voor verwerking van deze rejectiewaterstroom (op de hoofdzuivering of in een deelstroomreactor) moeten verrekend worden.

1.2 DOELSTELLING

De doelstelling van het handboek is het borgen van basiskennis over het slibgistingproces. In dit handboek worden adviezen gegeven om een slibgistingstank zo goed mogelijk te ontwerpen, te beheren en knelpunten op te lossen. Voorschriften worden daarbij niet opgelegd omdat de ontwerp- en beheersfilosofie van slibgistingtanks per betrokken organisatie nog wel eens verschillen. De doelgroep voor dit handboek zijn technologen en bedrijfsvoerders van waterschappen die op een of andere manier betrokken zijn bij het slibgistingproces. Dit kan zijn in systeemkeuzen en ontwerpen, onderzoek of optimalisatie, of de bedrijfsvoering van slibgistinginstallaties. Het handboek is bedoeld als operationele leidraad voor het ontwikkelen, ontwerpen, optimaliseren en bedrijven van slibgistinginstallaties voor communaal zuiveringsslib. Speciale aandacht wordt daarbij besteed aan verstoorde bedrijfssituaties en calamiteiten.

1.3 UITGANGSPUNTEN

Dit handboek gaat in op slibgisting van communaal zuiveringsslib met speciale focus op de Nederlandse situatie. Buitenlandse ervaringen worden daarin meegenomen als doorkijk voor eventuele toekomstige toepassingen van slibgistingprocessen in Nederland. Centraal in dit handboek staat de slibgistingstank met de daarin afspelende processen en de daaraan gerelateerde installatieonderdelen. Als ingaande stroom is (ingedikt) primair en secundair slib gedefinieerd. De uitgaande stromen van een slibgistingstank zijn uitgegist slib en biogas (zie ook figuur 1.1).

Aan de slibgisting voorafgaande technieken, zoals indikking, voorbehandeling van slib etc. en de op de slibgisting volgende technieken zoals slibontwatering en biogasverwerking, c.q. biogastoepassing zijn hier alleen zijdelings beschreven.

1.4 LEESWIJZER

Dit handboek is opgesteld door een consortium van Witteveen+Bos, DHV, MHW en Royal Haskoning. Dit rapport is bedoeld als operationeel naslagwerk en handboek voor technologen en bedrijfsvoerders van waterschappen die bij systeemkeuzes, ontwerptrajecten en bedrijfsvoering van slibgistinginstallaties betrokken zijn. Het handboek geeft basisinformatie en oplossingsrichtingen over verschillende manieren van slibgisting, ontwerprijtlijn en maatregelen bij calamiteiten of verstoringen van het slibgistingproces. Daarbij gaat het boek niet diep in op fundamentele aspecten van slibgisting; hiervoor is wetenschappelijke informatie beschikbaar die in de referentielijst is benoemd. Het handboek geeft adviezen om een slibgistingstank zo goed mogelijk te ontwerpen, te beheren en knelpunten op te lossen. Voorschriften worden daarbij niet opgelegd omdat de ontwerp- en beheersfilosofie van slibgistingtanks per betrokken organisatie nog wel eens verschillen.

Hoofdstuk 2 beschrijft de basis van het slibgistingproces met daarin de procesomstandigheden en de voor de Nederlandse situatie kenmerkende uitgangspunten. In hoofdstuk 3 is aandacht besteed aan een aantal internationale toepassingen en uitvoeringen van slibgistinginstallaties. Hoofdstuk 4 geeft een leidraad voor het ontwerp van het slibgistingproces

en de procestechnische keuzes die daarbij moeten worden gemaakt. Hoofdstuk 5 gaat in op de technische keuzes die moeten worden gemaakt bij realisatie van een slibgistingsinstallatie. Hoofdstuk 6 beschrijft de aspecten die van belang zijn voor een normale bedrijfsvoering en hoe kan worden beoordeeld of het proces normaal verloopt. Vervolgens gaat hoofdstuk 7 in op de oplossingen en beheersmaatregelen indien het slibgistingsproces verstoord is. Tenslotte is in hoofdstuk 8 aangegeven wat te doen bij bijzondere situaties, zoals het stoppen en starten van het slibgistingsproces.

Om het rapport actief als handboek te kunnen gebruiken zijn de hoofdstukken zo opgesteld dat ze individueel leesbaar zijn. Hierdoor ontstaat wel eens een dubbeling in de bespreking van thema's of onderwerpen voor de lezer die het gehele handboek bestudeert.

2

THEORIE

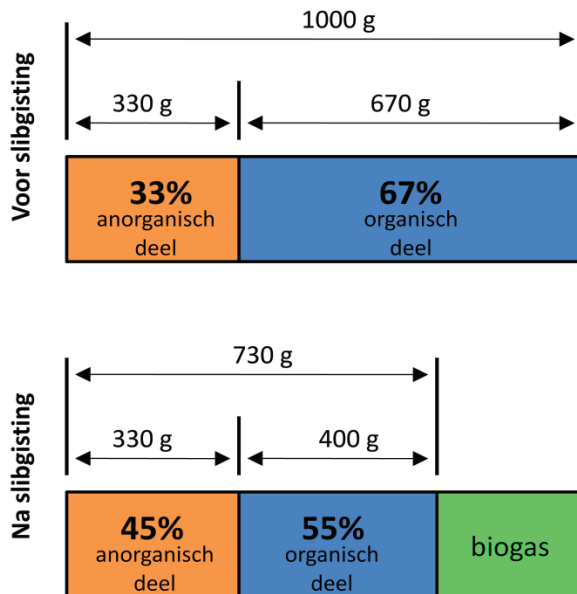
2.1 BASISPRINCIPE VAN SLIBGISTING

De slibverwerking en bijbehorende afzet inclusief transport van ontwaterd slib is een zeer kostbaar onderdeel van de afvalwaterzuivering. Zodoende kunnen kosten worden bespaard indien de massa en de hoeveelheid slib zoveel mogelijk wordt gereduceerd. Toepassing van slibgisting op een rwzi kent binnen de slibverwerking de volgende doelstellingen:

- omzetting van onopgelost organisch materiaal, waardoor de slibverwerkingskosten worden beperkt;
- productie van biogas dat nuttig kan worden toegepast als energiebron;
- verbeteren van de ontwaterbaarheid;
- verdere stabilisatie van het slib, waardoor het slib niet meer tot rotting overgaat tijdens de eindverwerking;
- terugdringen van pathogene kiemen.

Het belangrijkste basisprincipe van slibgisting is het gisten van het organische deel van het zuiveringsslib en dit om te zetten in biogas. Het effect van slibgisting kan als basisprincipe het beste worden gevisualiseerd aan de hand van Figuur 2.1. Uit deze visualisatie wordt direct duidelijk dat slibgisting is gericht op het reduceren van de hoeveelheid af te zetten slib. Biogas is een bijproduct dat efficiënt kan worden benut. Hoe meer biogas wordt geproduceerd, des te meer (elektrische) energie kan worden geproduceerd. De in de figuur genoemde waarden zijn gemiddelde waarden bij een goed lopende slibgisting.

FIGUUR 2.1 VISUALISATIE VAN HET BASISPRINCIPE VAN SLIBGISTING



Het slibgistingsproces verbetert daarnaast de ontwaterbaarheid van het slib; hoe verder het slib wordt uitgegist des te beter is de ontwaterbaarheid. Omdat zuiveringsslib van rwzi's al jaren niet meer wordt afgezet in de landbouw en de eindverwerking grotendeels bestaat uit het (biologisch) drogen en vervolgens (mono-)verbranden of meestoken van het slib, spelen vergaande stabilisatie en reductie van pathogenen nagenoeg geen rol meer bij de toepassing van slibgisting. Het tijdens de slibgisting geproduceerde biogas draagt bij aan de verbetering van de energie efficiëntie van een rwzi.

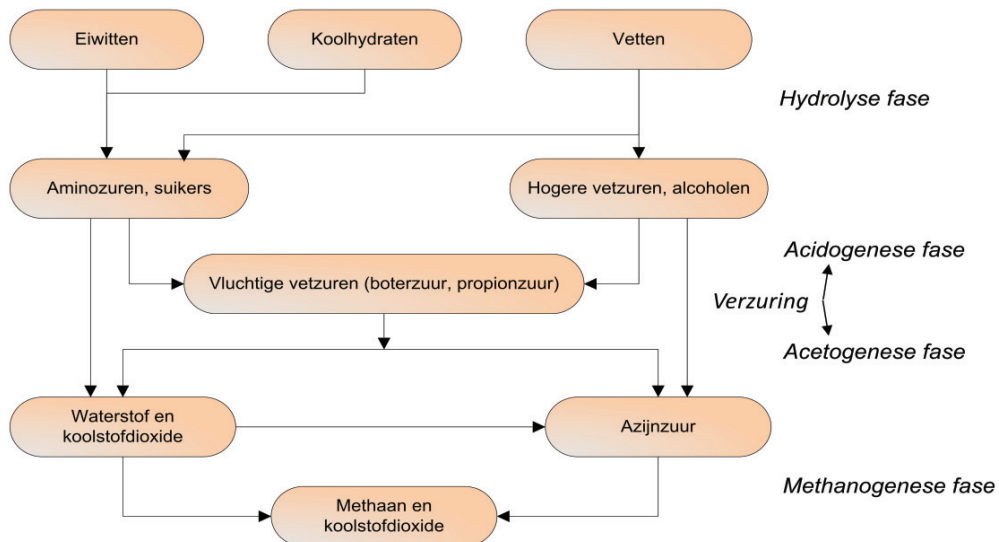
2.2 BESCHRIJVING THEORIE SLIBGISTINGSPROCES

2.2.1 ALGEMEEN

Tijdens het anaërobe slibgistingsproces wordt zuiveringsslib in een zuurstofloze omgeving door een groot aantal soorten micro-organismen omgezet in biogas. Het biogas bestaat uit een mengsel van hoofdzakelijk methaan en koolstofdioxide. Het uitgegiste slib dat overblijft na slibgisting, bestaat uit een organische en een inerte fractie. Bij de slibgisting van biomassa wordt uitgegiste slib ook wel digestaat genoemd, hoewel deze term minder gangbaar is bij de slibgisting van zuiveringsslib. Het uitgegiste slib wordt doorgaans ontwaterd en getransporteerd naar een slibeindverwerking. De eindverwerking is vrijwel altijd een vorm van verbranding, waarbij droging of compostering een voorbewerking is.

De afbraak van organisch materiaal tijdens de slibgisting vindt in vier fases plaats. Bij iedere fase zijn specifieke micro-organismen betrokken. Deze fases zijn achtereenvolgens hydrolyse, acidogenese of fermentatie, acetogenese en methanogenese (zie Figuur 2.2). Veelal worden de acidogenese en acetogenese fase gezamenlijk aangeduid als verzuringsfase. Iedere fase kent zijn eigen optimale procesomstandigheden.

FIGUUR 2.2 DE BELANGRIJKSTE METABOLISCHE OMZETTINGEN TIJDENS ANAËROBE SLIBGISTING (ACIDOGENESE EN ACETOGENESE SAMEN WORDEN OOK WEL VERZURING (OF FERMENTATIE) GENOEMD)



In een goed gemengde slibgisting vinden alle vier fases simultaan plaats. Slibgisting kan worden gezien als een serie van stappen waarbij het eindproduct van een micro-organisme uit een eerdere stap als substraat dient voor een micro-organisme in de volgende stap. Deze simultaneiteit betekent dat de traagst verlopende processtap, het eindresultaat bepaalt.

De vier fases die plaats vinden tijdens de slibgisting zijn hieronder nader toegelicht.

2.2.2 HYDROLYSE

Hydrolyse is een relatief langzaam proces en wordt beschouwd als de snelheidsbepalende stap van het slibgistingproces. Het is daarmee ook de snelheidsbepalende stap voor het ontwerpen van de verblijftijd in een slibgisting. Tijdens de hydrolyse worden complexe onopgeloste organische stoffen, zoals complexe organische bestanddelen en deeltjes, eiwitten, koolhydraten en vetten omgezet in opgeloste organische stoffen zoals aminozuren, suikers en hogere vetzuren. Met name de hydrolyse van deeltjes bepaalt de snelheid van omzetting. Dit gebeurt onder andere met exo-enzymen die worden uitgescheiden door fermentatieve bacteriën. Enzymen zijn proteïnen met de capaciteit om diverse reacties te katalyseren. Het functioneren van de enzymen is afhankelijk van zowel de pH als de temperatuur. Bij te lage temperaturen of pH-waarden wordt de hydrolyse negatief beïnvloed.

Voor secundair slib geldt dat hydrolyse altijd wordt voorafgegaan door afsterving van de aërobe biomassa. Biomassa bestaat grotendeels uit proteïnen (35-55% van de drogestof), koolhydraten (10-25% van de drogestof) en RNA (10-15% van de drogestof). Proteïnen en RNA zijn intracellulaire componenten. Koolhydraten zijn aanwezig in de celwanden en in de extracellulaire polysachariden (EPS).

Hydrolyse is veelal de snelheidsbepalende stap in het slibgistingproces vanwege de vorming van exo-enzymen en de benodigde bacterie populatie om de diverse substraten af te breken. Er bestaan momenteel processen die het hydrolyseproces kunnen versnellen, zoals thermische hydrolyse of de inzet van enzymen. Deze voorbehandelingen leiden tot een snellere slibafbraak in de slibgisting waardoor het mogelijk is de minimaal benodigde verblijftijd in de slibgisting te reduceren.

2.2.3 ACIDOGENESE

Acidogenese wordt samen met de acetogenese ook wel fermentatie of verzuring genoemd. In deze stap worden de opgeloste bestanddelen door fermentatieve bacteriën verder afgebroken tot eenvoudiger componenten zoals vluchtige vetzuren, alcoholen en melkzuur. De eindproducten variëren, afhankelijk van de gistingcondities, organisch materiaal en de actieve micro-organismen, in samenstelling en onderlinge verhouding. Hydrolyse en Acidogenese zijn relatief ongevoelige processen voor bijvoorbeeld pH en temperatuur. Het gevolg hiervan is dat onder verstoorde omstandigheden de acidogenese niet negatief wordt beïnvloed. Er kan in dat geval een ophoping van lagere vetzuren optreden met negatieve gevolgen voor de andere slibgistingfases. Indien het gehalte aan lagere vetzuren, in combinatie met een lage pH, te hoog is, is er sprake van verzuring.

2.2.4 ACETOGENESE

Tijdens de acetogenese, ofwel azijnzuurvormingsfase, worden de producten van de acidogenese verder omgezet in acetaat, waterstof en koolstofdioxide. De acetogene bacteriën zorgen er voor dat het overgrote deel van de biodegradeerbare CZV via de azijnzuurroute kan worden omgezet in methaan. Evenals de acidogenese is ook de acetogenese een relatief ongevoelig proces voor o.a. de pH. De acetogenese is niet de snelheidsbepalende stap in het slibgistingproces.

2.2.5 METHANOGENESE

Tijdens de methanogenese worden azijnzuur en waterstof omgezet in methaan, CO₂ en nieuw celmateriaal. In een conventionele slibgisting zijn in het algemeen twee typen methaanproducerende bacteriën actief. De ene groep zet waterstof en koolstofdioxide om in methaan (voor circa 30%), de andere groep zet acetaat om in methaan en bicarbonaat (voor circa 70%). Tijdens het gistingproces is de methanogenese van alle processen het meest gevoelige proces

voor veranderingen in pH en andere milieufactoren. Het betreft hier overigens de omzetting naar methaan die tijdelijk stopt en niet het afsterven van de bacterie. Zodra de omstandigheden weer beter zijn start de methaanproductie weer. De vorming van methaan levert de bacteriën netto zeer weinig energie op. Daarom zijn de opbrengstfactor, de groei per omgezette hoeveelheid substraat en de groeisnelheid van methaanproducerende bacteriën laag. Methanogene bacteriën hebben dan ook een delingstijd van enkele dagen.

2.3 MILIEUFACTOREN

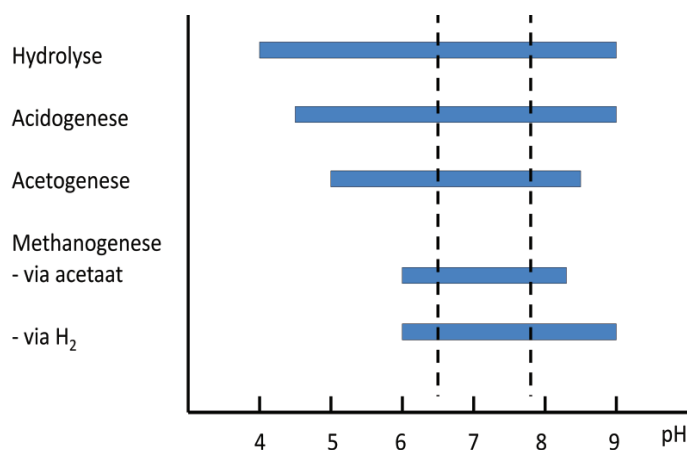
2.3.1 EFFECT VAN DE PH

Anaërobe bacteriën, en methaanproducerende bacteriën in het bijzonder, zijn gevoelig voor pH-schommelingen. Figuur 2.3 toont het theoretische pH-bereik voor de verschillende fases. Voor het goede verloop van een anaëroob slibgistingsproces is het van het grootste belang dat de vier genoemde fases in het proces goed op elkaar zijn (en blijven) afgestemd. Bij een stabiel proces zal de pH in de slibgisting op een goede waarde blijven doordat bicarbonaat die gebruikt wordt om vetzuren te neutraliseren gerecycled wordt (zie onderstaande reacties; referentiemateriaal uit Zeeman en Lettinga, Wageningen Universiteit):



Met betrekking tot de stabiliteit van het proces is een belangrijk gegeven dat zuurvormende bacteriën aanzienlijk minder pH-gevoelig zijn dan methaanbacteriën. Als bijvoorbeeld door een te hoge belasting, de methanogenese in snelheid achterblijft op de acidogenese, zullen er meer organische vetzuren worden gevormd dan er worden omgezet in methaan. Hierdoor lopen de vetzuurconcentraties op met het gevaar dat de pH te sterk daalt. Dit laatste zal het geval zijn als de buffercapaciteit (bijvoorbeeld bicarbonaat) is opgebruikt om de vetzuren te neutraliseren en er onvoldoende bicarbonaat wordt bijgevoerd vanuit de methaanvorming. De methaanvormende bacteriën zullen dan door de lagere pH's in sterke mate in hun activiteit worden geremd. Hierdoor wordt het systeem in nog ernstiger mate ontregeld doordat de vorming en ophoping van vetzuren doorgaat en de pH uiteindelijk sterk daalt tot beneden pH 6. In dit geval spreken we van verzuring van de slibgisting.

FIGUUR 2.3 THEORETISCH PH-BEREIK VOOR DE VERSCHILLENDE FASES IN EEN SLIBGISTING (BRON: WUR)

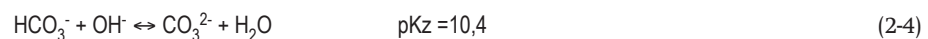


Om processtabiliteit te borgen mag een anaërobe slibgisting daarom ook niet te sterk worden overbelast met te veel vers organisch materiaal. Dit kan immers resulteren in een verstoring van het evenwicht tussen de verschillende deelprocessen (hydrolyse, acidogenese, acetogenese en methanogenese). Bij slibgisting moet er voor worden gezorgd dat de pH op het voor methanogenese optimale niveau (6,5 - 7,5) blijft.

2.3.2 BUFFERCAPACITEIT

Om de pH in een optimaal pH-gebied te houden moet voldoende buffercapaciteit in het systeem aanwezig zijn. De belangrijkste buffer in een slibgisting is het koolzuur - bicarbonaat systeem.

Voor dit systeem gelden de volgende evenwichten:



De pKz is gerelateerd aan de pH via de volgende relatie:

$$\text{pH} = \text{pKz} + \log \left(\frac{[\text{Z}^-]}{[\text{HZ}]} \right) \quad (2-5)$$

met [Z⁻] en [HZ] de concentraties van de gedissocieerde vorm en de niet gedissocieerde vorm. Uit de relatie valt eenvoudig op te maken dat bij een pH 6,3 50% van het in water opgeloste koolzuur aanwezig is in de vorm HCO₃⁻ en 50% als CO₂(aq). Het aandeel CO₃²⁻ is verwaarloosbaar. Vergelijking (2-5) geeft ook aan dat de sterkst bufferende werking optreedt bij een pH 6,3.

De hoeveelheid CO₂(aq) is gerelateerd aan de CO₂(g) in de gasfase. Hiervoor geldt:

$$C_{\text{CO}_2} = K_{\text{CO}_2} [\text{CO}_2(\text{g})] \quad (2-6)$$

met C_{CO₂} verzadigingsconcentratie CO₂ in water, K_{CO₂} constante, [CO₂(g)] concentratie in de gasfase.

Bij zuurvorming zullen de bicarbonaat evenwichten verschuiven waarbij bicarbonaat wordt omgezet in CO₂(aq) en waarbij meer CO₂ overgaat in de gasfase. Een daling van de pH leidt daarom ook tot een toename van het CO₂gehalte in het biogas.

Naast de bicarbonaatbuffer komen ook andere buffers voor in het slibgistingsproces. Deze buffers spelen onder normale omstandigheden echter nauwelijks een rol bij het in stand houden van de pH tijdens het slibgistingsproces.

2.3.3 EFFECT VAN DE TEMPERATUUR

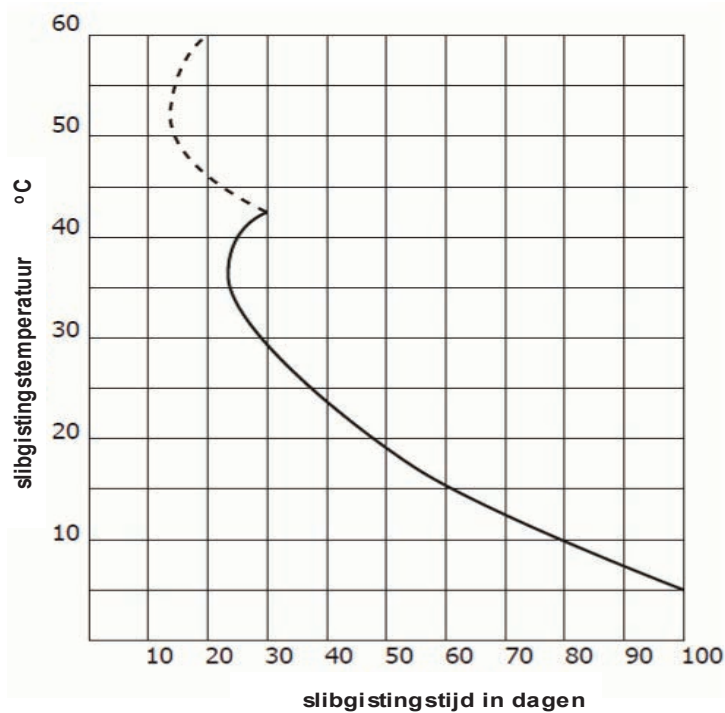
Bij de meeste biologische processen kan men globaal drie verschillende temperatuurgebieden onderscheiden, te weten:

- het psychrofiële gebied van 0 tot 20 °C;
- het mesofiële gebied van 20 tot 40 °C;
- het thermofiële gebied van 40 tot 65 °C.

Temperatuur beïnvloedt ook de prestaties en stabiliteit van een anaërobe slibgisting. De temperatuur bepaalt de groeisnelheid van de micro-organismen en de microbiële diversiteit in het systeem. Er is een positieve relatie tussen de temperatuur en de afbraaksnelheid van organisch materiaal. Een hogere temperatuur heeft een hogere afbraak van organisch materiaal en dus een hogere biogasopbrengst tot gevolg. Mesofiële en thermofiële slibgisting zijn

wereldwijd de meest gangbare uitvoeringsvormen. In Figuur 2.4 is de minimale slibgistingstijd versus de slibgistingstemperatuur uitgezet [1].

FIGUUR 2.4 GISTINGSTEMPERATUUR VERSUS SLIBGISTINGSTIJD [1]

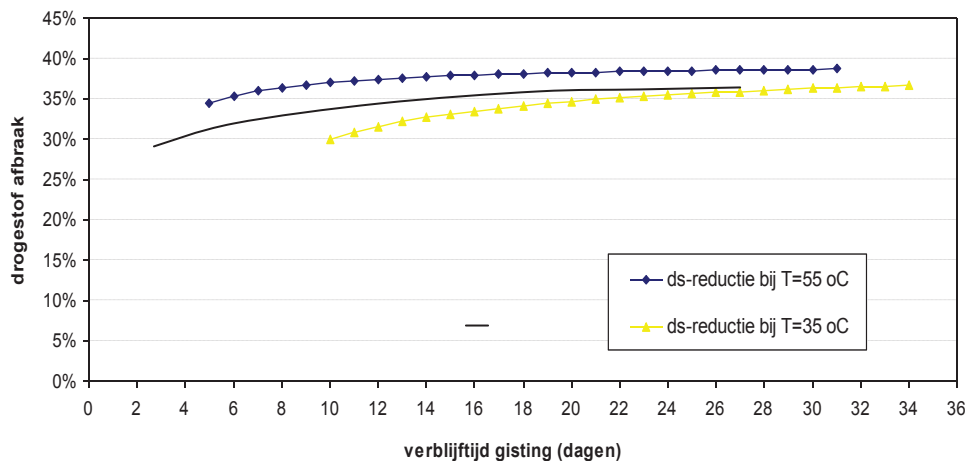


Zowel voor mesofiele ($T_{\text{optimaal}} = 33\text{-}35^{\circ}\text{C}$) als voor thermofiele ($T_{\text{optimaal}} = 55^{\circ}\text{C}$) slibgisting is het van belang dat de temperatuur stabiel wordt gehouden. Temperatuurschommelingen van meer dan 1°C per dag kunnen al resulteren in processtoringen. In een goed procesontwerp en bedrijfsvoering moeten temperatuurschommelingen dan ook zo veel mogelijk worden vermeden.

Voor de praktijk betekent dit onder andere dat als in de zomerperiode de slibgisting (bewust) op hogere temperatuur wordt bedreven, zoals bij verschillende slibgistingsinstallaties het geval is als gevolg van een overschot aan warmte (waarbij de gisting niet als koeler moet worden gebruikt), de temperatuursverhoging geleidelijk moet worden uitgevoerd. Hetzelfde geldt natuurlijk ook bij het verlagen van de temperatuur.

In Figuur 2.5 zijn de verschillen tussen thermofiele en mesofiele slibgisting weergegeven met betrekking tot de drogestofafbraak en toegepaste verblijftijd. Het is te zien dat vooral bij kortere verblijftijden thermofiele slibgisting een hoger rendement geeft dan bij mesofiele slibgisting. Tevens is te zien dat bij langere verblijftijden (vanaf circa 25 dagen) het rendementsverschil tussen thermofiele en mesofiele slibgisting snel afneemt.

FIGUUR 2.5 THERMOFIEL VERSUS MESOFIEL (BEREKENMETHODE CHEN&HASIMOTO)



2.3.4 BESCHIKBAARHEID NUTRIËNTEN

De aanwezigheid van voldoende nutriënten in opneembare vorm voor bacteriële groei is een logische vereiste voor een goede slibgisting. Naast de macronutriënten (als N, P en S) zijn ook bepaalde sporenelementen van groot belang. Bij toepassing van slibgisting zijn doorgaans alle benodigde nutriënten voldoende beschikbaar in het aangevoerde zuiveringslib. Wat niet vergeten mag worden is dat naast de biologische processen, in de slibgisting ook verschillende chemische reacties plaatsvinden. Via deze chemische reacties is het mogelijk dat bepaalde sporenelementen irreversibel worden vastgelegd en daarmee niet meer in vrij opneembare vorm aanwezig zullen zijn. Een voorbeeld zijn neerslagreacties van metaalsulfides die mogelijk tot een limitatie van een specifiek metaal kunnen leiden. Dit aspect kan ook een belangrijke rol spelen indien veel specifieke organische reststromen (co-vergisten) worden verwerkt.

2.3.5 TOXICITEIT

Naast essentiële stoffen voor het slibgistingsproces, kunnen (toxische) stoffen in het aangevoerde zuiveringslib leiden tot remming of zelfs een volledige vergiftiging van de slibgisting. Als de concentratie van toxische stoffen toeneemt, kan dit leiden tot onstabiele omstandigheden in de reactor. Ondanks dat toxische lozingen in Nederland steeds minder voorkomen, dient rekening gehouden te worden met plotselinge hoge vrachten van toxische stoffen in het influent van de rwzi of een plotselinge verandering in de bedrijfsvoering van de slibgisting die kunnen leiden tot toxische omstandigheden in de slibgistingsreactor. Aangezien de zuurvormende bacteriën het minst gevoelig zijn, zal de remming door toxische stoffen vaak ook leiden tot verzuring van de reactor. Een goed monitoring- en controleprogramma waarin met regelmaat monsters uit de slibgisting worden genomen, kunnen problemen met toxiciteit tijdig voorkomen, zie hiervoor hoofdstuk 5.

De meest gebruikelijke toxische stoffen die direct gerelateerd zijn aan de anaërobe slibgisting zijn te hoge concentraties aan vluchtige vrije vetzuren, ammonium, waterstofsulfide en organische chloorverbindingen. Waterstofsulfide wordt hierbij doorgaans geproduceerd vanuit het aangevoerde sulfaat. Dit proces heet sulfaatreductie. Maar ook desinfectiemiddelen, reinigingsmiddelen en in sommige gevallen slachtafval kunnen toxisch zijn voor het slibgistingsproces. Voor bovengenoemde stoffen geldt dat de toxiciteit pH gerelateerd is. Immers, de toxische componenten zijn ongedissocieerde vetzuren, NH_3 en H_2S .

Op zich hoeven hoge concentraties van een bepaalde component niet direct toxisch te zijn, mits het systeem geadapteerd is aan dergelijke hoge concentraties, een goed voorbeeld hiervan is adaptatie aan hoge (tot wel 5.000 mg/l) ammoniumconcentraties. Evenals bij tempera-

tuur gevoeligheid is ook bij toxische stoffen de snelle overgang kwalijker dan de absolute concentratie.

2.3.6 REDOXPOTENTIAAL

De redoxpotentiaal geeft informatie over de aanwezige situatie met betrekking tot het evenwicht tussen oxidatie en reductie. In een dynamisch systeem als een anaërobe slibgisting vinden meerdere reductiereacties gelijktijdig plaats. Dit is afhankelijk van de samenstelling van het slibmengsel en de gasfase. De methanogenese verloopt goed bij een redoxpotentiaal < -260 mV (optimale range: - 400 tot - 300 mV).

2.4 INVLOEDSFACTOREN SLIBGISTING

2.4.1 INTRODUCTIE

In Figuur 2.6 is schematisch een samenvattend overzicht gegeven van de belangrijkste invloedsfactoren op het functioneren van een slibgisting.

Aan de rechterkant van de slibgisting staan de resultaatgerichte aspecten die een belangrijke invloed hebben op de exploitatie van een rwzi, zijnde:

- invloed op de energiebalans via de productie van biogas;
- invloed op de eindverwerking van het slib nadat slibontwatering heeft plaats gevonden;
- invloed op de rwzi via het rejectiewater die ontstaat bij slibontwatering. De belangrijkste invloed daarvan is het terugvoeren van stikstof en fosfaat naar de waterlijn van de rwzi.

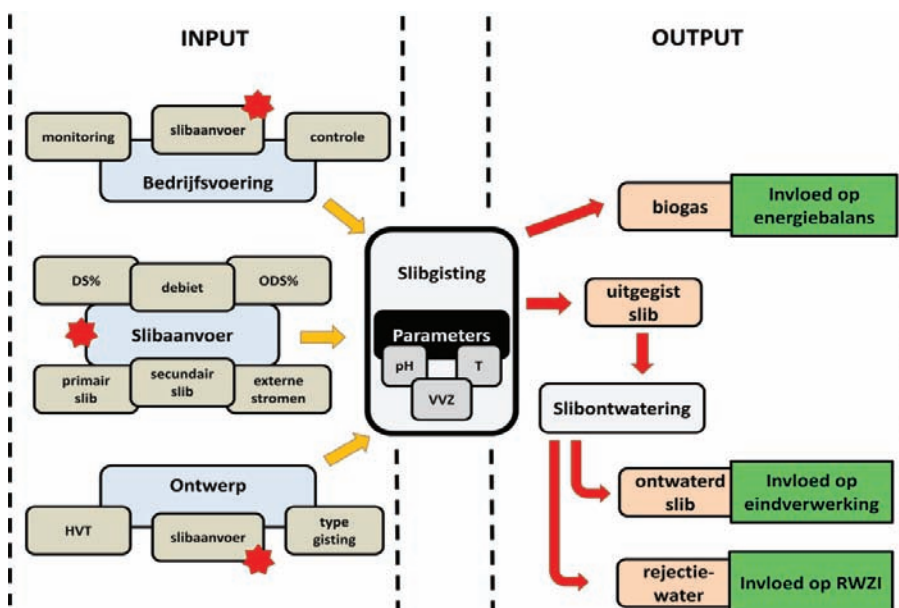
Het functioneren van een slibgisting, en daarmee dus de invloed op de hiervoor genoemde resultaatgerichte aspecten, wordt in beginsel bepaald door de volgende twee factoren:

- dimensionering van de slibgisting;
- bedrijfsvoering van de slibgisting.

In zowel de dimensionering als de bedrijfsvoering is de voeding, in samenstelling en hoeveelheid, de meest bepalende invloedsfactor op het gehele functioneren en de prestaties van de slibgisting. Hieronder wordt de invloed daarvan beschreven via de slibkarakteristiek.

FIGUUR 2.6

INVLOEDSFACTOREN RONDOM DE SLIBGISTING



2.4.2 SLIBAANVOER EN SLIBSAMENSTELLING

Voor het beschrijven van de karakteristiek van het te vergisten slib worden de volgende parameters het meest toegepast in de dagelijkse praktijk van slibgisting:

- slibvracht;
- slibsamstelling;
- drogestofgehalte;
- organisch-stofgehalte;
- vergistbaarheid.

Om balansen over de slibgisting te maken worden ook van het uitgegiste slib het drogestof- en organisch-stofgehalte regelmatig gemeten, zie hiervoor ook hoofdstuk 5. Hetzelfde geldt voor de meting van de zandhoeveelheden.

Voor onderzoeksdoeleinden is het ook gebruikelijk om van het slib, voor en na slibgisting, meer parameters te meten, zoals CZV en het stikstof- en fosforgehalte. Op basis van CZV neemt de betrouwbaarheid van een sluitende massabalans toe. De meting van stikstof en fosfor hoeveelheden geven een indicatie voor de mogelijke vorming van struviet. Voor de dagelijkse bedrijfsvoering wordt hier echter nauwelijks gebruik van gemaakt.

SLIBVRACHT

Bij het opgeven van de slibvracht zijn de volgende parameters van belang voor de dagelijkse bedrijfsvoering:

- het dagelijkse volume aan te behandelen slib in m³ per dag;
- de dagelijkse vracht aan slib in kg drogestof per dag;
- de dagelijkse vracht aan slib in kg organisch stof per dag.

Voor het weergeven van de totale capaciteit van de slibverwerking, en daarmee de slibgisting, wordt doorgaans gesproken in tonnen drogestof per jaar.

SLIBSAMENSTELLING

In rwzi's wordt onderscheid gemaakt tussen primair slib en secundair slib (zie ook Figuur 1.1). Primair slib bestaat uit bezinkbare zwevende stoffen die door voorbezinking worden afgevangen. Het bestaat voornamelijk uit gemakkelijk afbreekbaar organisch materiaal. Secundair slib is biologisch slib dat in de nabezinktank afgevangen wordt en minder makkelijk afbreekbaar organisch materiaal bevat dan primair slib. Bij de rwzi's waarbij geen voorbezinktank aanwezig is, is de samenstelling het secundaire slib anders dan bij rwzi's waarbij wel een voorbezinktank aanwezig is. Er is dus sprake van twee soorten secundair slib.

De mate van afbreekbaarheid van het secundair slib wordt behalve het type secundaire slib ook in grote mate bepaald door de gehanteerde slibbelasting van de waterlijn van de rwzi. Een lagere slibbelasting resulteert in de regel tot een verdergaande mineralisatie van het slib en daarmee een lager organisch-stofgehalte en een lagere mate van afbreekbaarheid in de slibgisting. Omdat in Nederland in de regel lage slibbelastingen worden toegepast, is het secundair slib relatief slecht afbreekbaar. Maar bij de rwzi's, waarbij geen voorbezinktank aanwezig is zal het fijne organische materiaal dat niet afgevangen wordt in de roostergoed- en zandverwijdering wordt in het secundaire slib opgenomen. Dit betekent dat bij deze rwzi's de kwaliteit van het secundair slib sterker wijzigt bij wisselende DWA-RWA omstandigheden dan bij rwzi's met een voorbezinktank.

De verhouding van primair en secundair slib bepaalt de vergistbaarheid van het gemengde zuiveringsslib en dus de prestatie van de slibgisting. Het is een algemeen gegeven dat de beschikbaarheid over primair slib een gunstige invloed heeft op de slibgisting van secundair

slib. Hieronder in Tabel 2.1 staan voor primair en secundair slib een aantal kenmerken. Er zijn echter ook situaties bekend waarin bewust gescheiden slibgisting wordt toegepast om een hogere overall-afbraak te krijgen en maximale biogasproductie na te streven.

TABEL 2.1 SOORT EN SAMENSTELLING SLIB VOOR EN NA INDIKKING (DIVERSE BRONNEN)

Kenmerk	Primair slib (PS)		Secundair slib (SS)	
	range	gemiddeld	range	gemiddeld
Drogestofgehalte (%) zonder gravitaire voorindikking	0,5 - 4	1,0	0,5 -1,5	0,8
Drogestofgehalte (%) met voorindikking				
PS gravitair	2 - 10	4,0		
SS gravitair			1,5 - 3,5	2,5
SS mechanisch met PE			4,0 - 8,0	6,0
Drogestofgehalte (%) na zeving / zeefindikking	0,5 - 10	6	0,5 - 8,0	6
Organisch-stofgehalte (in % van DS)	60-80	70	50-85	65 - 70
Vergistbaarheid (in % van ODS) bijeen HVT van 20 - 25 dagen	50-60	55	25-50	30

DROGESTOFGEHALTE (DS IN %)

Het drogestofgehalte is een gangbare parameter voor karakterisering van zuiveringsslib. Het drogestofgehalte wordt afgekort tot DS en wordt uitgedrukt in massaprocenten (DS %). Het drogestofgehalte wordt gemeten door een hoeveelheid slibmonster (na filtratie) in een stoof te plaatsen bij 105 °C, totdat alle water verdampt is. Voor dun slib (bijvoorbeeld retour-slib, 0,2 - 1,0 %) dient te worden uitgegaan van een gefiltreerd monster en voor dik slib kan het monster als zodanig worden ingezet. In het laatste geval is het aandeel zouten in het water veel kleiner dan de hoeveelheid drogestof in het monster en hoeft dus niet meer voor het zoutgehalte gecorrigeerd te worden. De koepelnorm voor drogestof en gloeirest, NEN 6499 uit 2010, geeft een volledige beschrijving van de meetmethode. Wordt gesproken over een drogestofgehalte van 5%, betreft dit slib met een DS gehalte van 50 g/l, dit is te definiëren als dik slib. Droog 'steekvast' slib heeft (afhankelijk van de viscositeit) een drogestofgehalte van meer 15%. Het drogestofgehalte is een parameter die kan worden beïnvloed door toepassing van slibindikking. De klassieke vorm van slibindikking is gravitaire indikking. Tegenwoordig worden vooral voor de indikking van secundair slib steeds vaker mechanische indikkers gebruikt waarbij een verbeterde indikkingsgraad mogelijk is. Het gevolg van een verhoging van het drogestofgehalte is een verhoging van de hydraulische verblijftijd (HVT) in de slibgisting.

ORGANISCH-STOFGEHALTE (ODS IN %)

Het organisch-stofgehalte betreft het deel van de drogestof die organisch is en potentieel uitgestikt kan worden. Om dit gehalte te kunnen bepalen wordt het residu van de drogestofbepaling uit de 105 °C oven gehaald en in een oven van 600 °C geplaatst voor minimaal 45 minuten. Bij deze temperatuur verbrandt al het organische materiaal en blijft de anorganische stof over. Het verschil tussen de drogestof en de anorganische stof is het gehalte aan organische stof, afgekort als ODS, meestal uitgedrukt als percentage van de drogestof.

Primair slib heeft een organische-stofgehalte tussen 60-80% en secundair slib tussen 50-85%. Bij deze parameter moet goed worden gerealiseerd dat niet alle organische stof persé vergistbaar is. Haren maken bijvoorbeeld wel deel uit van de gloeirest, maar kunnen niet worden vergist.

VERGISTBAARHEID (% VAN ODS)

De vergistbaarheid of afbreekbaarheid van slib betreft de hoeveelheid organische stof die binnen een bepaalde tijd (5 - 25 dagen) bij een bepaalde temperatuur (25 - 55°C) kan worden omgezet in biogas. De afbreekbaarheid van primair slib ligt typisch tussen 55-60%, op basis van het organisch-stofgehalte. Voor secundair slib alleen ligt de afbraak van het organische materiaal tussen 25-50%. Afhankelijk van de verhouding primair/secundair slib ligt de afbraak van gemengd slib in mesofiele anaërobe slibgistingstanks tussen de 38 - 45%. Wel zijn er momenteel processen beschikbaar om de afbreekbaarheid van het secundaire slib te verhogen. Hierop wordt elders in dit handboek ingegaan.

PRIMAIR SLIB

Primair slib levert bij slibgisting de minste moeilijkheden. Het laat zich vrij gemakkelijk indikken en is sneller afbreekbaar dan secundair slib. Primair slib bevat verschillende componenten die in hun onderlinge verhouding kunnen variëren met de aard van het afvalwater, het toegepaste rioolstelsel en de procesonderdelen op de rwzi. De volgende cijfers geven een globale indruk van de samenstelling:

- lipiden (vetten) 14-34%;
- proteïnen (eiwitten) 19-27%;
- vezelbestanddelen 12-40%.

Naast deze hoofdgroepen komen talloze biochemische afbraakproducten voor, waaronder de praktisch niet afbreekbare humusverbindingen en looizuren. De lipiden of vetten in het primaire slib zijn in principe een voedingsstof met hoge energie-inhoud. De afbraak van vet is echter een langzaam proces, zodat bij korte verblijftijden vaak een hoog vetgehalte in het slib wordt waargenomen als teken van onvolledige hydrolyse. De aanwezigheid van traag dispergerende vetklompen en drijfslagen kan de afbraaksnelheid negatief beïnvloeden. Gegevens over de afbraak van proteïnen lopen uiteen. In principe vormen ook eiwitten een zeer algemene, goed afbreekbare voedingsstof, die door enzymen gesplitst kan worden in aminozuren, die verder gemakkelijk worden afgebroken. Plantenvezels bestaan uit een netwerk van celluloseketens die kunnen zijn ingebed in was- en/of ligninelagen. De afbraak van de celluloseketens is afhankelijk van de mate waarin ze toegankelijk zijn. Vrije cellulose, bijvoorbeeld papier, is goed afbreekbaar. De afbraak van sterk verhout materiaal, dat rijk is aan het zeer resistente lignine, verloopt echter langzaam.

SECUNDAIR SLIB

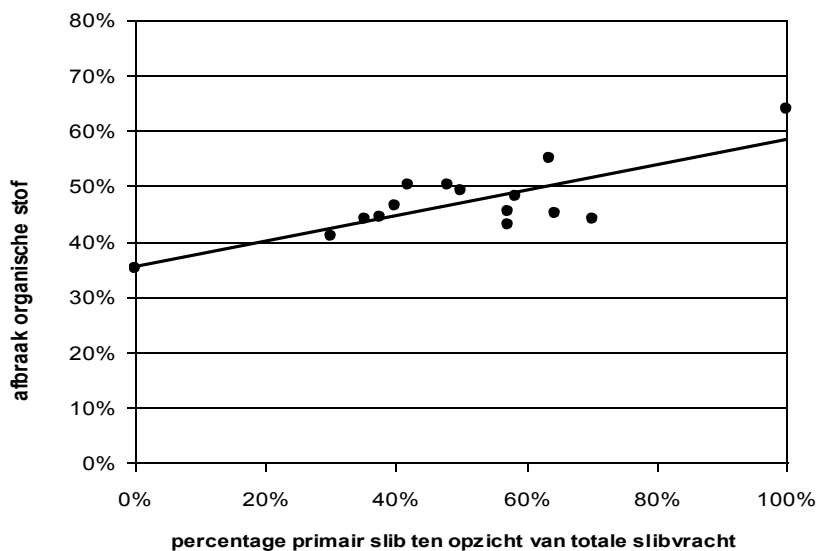
Secundair slib is slechter ontwaterbaar en moeilijker af te breken dan primair slib. Als surpluslib van het aërobe reinigingsproces bestaat het grotendeels uit bacterievlokken met enige ingesloten vaste stof en veel levende en dode micro-organismen. De afbreekbaarheid van secundair slib hangt af van de slibbelasting zoals deze op de rwzi wordt toegepast. Bij een lage slibbelasting van de beluchtingsruimte in de waterlijn, en een overeenkomstige hoge slibleeftijd zal het slib "zichzelf opeten" (mineralisatie). Hierdoor is er minder organische stof beschikbaar voor slibgisting en is het resterend deel slechter afbreekbaar. Bij hoog belaste systemen is er veel meer substraat voor anaërobe afbraak beschikbaar. In Nederland worden echter voornamelijk laag belaste systemen toegepast.

In het algemeen geldt dat er geen universeel geldige maat bestaat voor de afbreekbare fractie in zuiveringsslib, omdat teveel factoren een rol spelen die per land, per zuiveringstype en per rwzi uiteenlopen. De vraag of de slibafbraak in een bepaalde installatie optimaal is, kan niet goed worden beantwoord zonder kennis van de samenstelling en de afbreekbaarheid van het ingaande slib. Voorzichtigheid is dus geboden bij het doen van aannamen over de

afbreekbaarheid en bij het toepassen van vuistregels uit handboeken. Slibgistingproeven op kleine schaal kunnen een beeld geven van de maximale hoeveelheid gas die bij slibgisting van een bepaald slib kan worden verkregen. Dit wordt in de praktijk echter zelden toegepast bij ontwerp en bedrijven van slibgistingen. De gangbare praktijk voor ontwerp van slibgistingen is gebaseerd op het gebruik van vuistregels en standaardmodellen.

Onderstaande Figuur 2.7 geeft op basis van een wereldwijde evaluatie van 16 slibgistingstanks (Barber) een indruk van de relatie tussen het percentage primair slib en de haalbare afbraak van organische stof in procenten. De gepresenteerde resultaten geven echter niet aan wat de betrouwbaarheid van de gemeten ODS afbraak is en of de gevonden relatie ook is waar te nemen in de gemeten gasproductie. Het maken van een betrouwbare drogestofbalans blijkt in de praktijk namelijk lastig te zijn, omdat veelal van steekmonsters wordt uitgegaan, zie ook hoofdstuk 5.

FIGUUR 2.7 REDUCTIE ODS BIJ VERSCHILLENDE VERHOUDINGEN PRIMAIR EN SECUNDAIR SLIB



2.4.3 SLIBGISTING EN VERBLIJFTIJD

Naast de temperatuur (paragraaf 2.3) en het drogestofgehalte (paragraaf 2.4.1) is de hydraulische of slibverblijftijd een belangrijk technologisch kenmerk van een slibgisting.

De hydraulische verblijftijd in een slibgisting dient bij de heersende omstandigheden voldoende lang te zijn om:

- de hydrolyse als snelheidsbepalende stap voldoende lang te laten zijn voor een vergaande afbraak van het organisch materiaal in primair slib en het celmateriaal in secundair slib;
- de methanogenese als meest gevoelige proces stabiel te laten verlopen.

Voor een goed verlopend slibgistingproces in het mesofiele temperatuurbereik wordt uitgegaan van een minimale hydraulische verblijftijd van 12 -15 dagen. In Nederland worden slibgistinginstallaties voor verwerking van communaal zuiveringsslib over het algemeen op een maatgevende verblijftijd van minimaal 20 dagen bij volledige belasting van de rwzi ontworpen. In de jaarverslagen van de waterschappen over het technisch functioneren van de rwzi's wordt standaard een hydraulische verblijftijd vermeld als jaargemiddelde. Voor het beoordelen van de stabiliteit van een slibgisting is het beter om het bereik aan te geven van de minimum- en maximumwaarden die gedurende het jaar voorkomen. Door seizoensinvloeden en bedrijfsomstandigheden kan de hydraulische verblijftijd namelijk sterk variëren.

2.4.4 BIOGASPRODUCTIE EN KARAKTERISERING

Bij slibgisting ontstaat biogas. De kwaliteit en kwantiteit van het biogas is een maat voor de prestatie van de slibgistingsproces. Biogas is een mengsel van voornamelijk methaangas en koolstofdioxidegas. Methaangehaltes kunnen variëren van 45-75%, maar ligt voor rwzi slib over het algemeen tussen 58-70% bij een goed functionerende slibgisting. Ter vergelijking: het Nederlandse (laag calorische) aardgas heeft een methaangehalte van 83-87%. Het percentage koolstofdioxide ligt voor biogas tussen 30-40%. Daarnaast bevat het biogas een kleine fractie waterstof, water, waterstofsulfide en stikstof. De gemiddelde samenstelling van het biogas staat in Tabel 2.2.

De waterhoeveelheid in biogas is overigens sterk afhankelijk van de temperatuur van het gemeten gas en de wijze van condensaftrap.

De concentratie van H₂S wordt beïnvloed door de samenstelling van het slib (o.a. de hoeveelheid eiwitten die worden verwerkt) en of er wel of niet ijzer (houdend slib) wordt toegevoegd aan de slibgisting.

TABEL 2.2

SAMENSTELLING BIOGAS (DIVERSE BRONNEN EN PRAKTIJKREFERENTIES)

Product		Waarde		Eenheid
		Gemiddelde	Range	
CH ₄	Methaan	63	58-73	vol%
CO ₂	Koolstofdioxide	35	29-41	vol%
H ₂ O	Water	1,8	1-7	vol%
N ₂	Stikstof	0,2	0,1-0,4	vol%
H ₂	Waterstof	60	50-150	ppm (mg/m ³)
H ₂ S	Waterstofsulfide	400	100-5000	ppm (mg/m ³)
NH ₃	Ammoniak	2	1-500	ppm (mg/m ³)

Aan de biogasproductie zijn naast de samenstelling verder de volgende parameters gerelateerd:

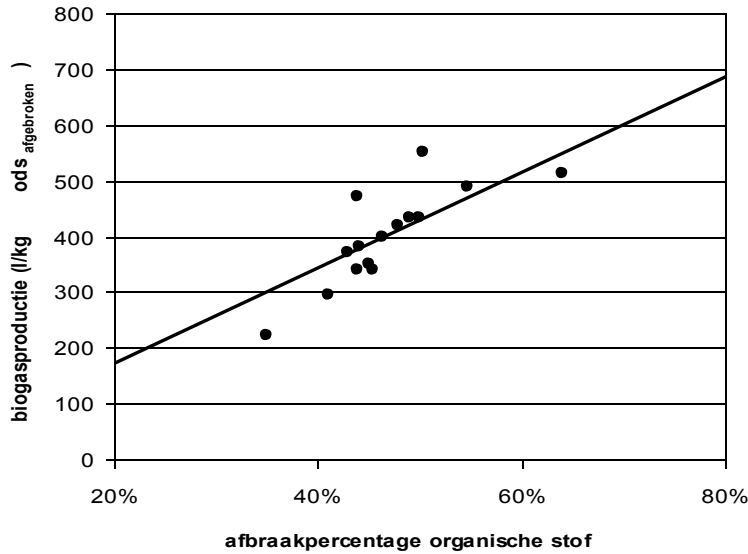
- specifieke biogasproductie;
- verbrandingswaarde;
- normaalkubieke meter;
- Wobbe-index.

SPECIFIEKE BIOGASPRODUCTIE

De specifieke biogasproductie wordt gedefinieerd als het volume biogas dat per gevoede of verwijderde kg drogestof (of kg organische stof of kg CZV) wordt geproduceerd. De productie van biogas is biochemisch direct gerelateerd aan de hoeveelheid organische stof die is afgebroken. De biogasproductie voor slibgisting die een combinatie van primair en secundair slib behandelen, ligt typisch tussen 200 en 500 liter biogas per kg gevoede organische stof en tussen 700 en 1.100 liter biogas per kg omgezette organische stof.

Omdat de biogassamenstelling kan variëren en de afbraak van organische stof gekoppeld is aan de vorming van methaangas zou om verschillende slibgistinginstallaties te vergelijken beter gesproken kunnen worden over specifieke methaanproductie. Figuur 2.8 geeft op basis van een wereldwijde evaluatie van 16 slibgistingstanks (Barber) een indruk van de relatie tussen het percentage afgebroken organische stof en de specifieke biogasproductie per kg gevoede organische stof.

FIGUUR 2.8 BIOGASPRODUCTIE PER HOEVEELHEID ORGANISCHE STOF TOEGEVOERD BIJ VERSCHILLENDE ORGANISCHE STOF REDUCTIES



VERBRANDINGSWAARDE

De verbrandingswaarde of stookwaarde voor gas betreft de hoeveelheid warmte die vrijkomt bij volledige verbranding, uitgedrukt in (mega)joule per normaalkubieke meter (Nm³). De verbrandingswaarde van biogas varieert tussen de 20-23 MJ/Nm³. Ter vergelijking de verbrandingswaarde voor aardgas is 32-35 MJ/Nm³.

NORMAAL-KUBIEKE METER

De normaalkubieke meter (Nm³) is de eenheid waarin het volume van gassen, bijvoorbeeld biogas, wordt uitgedrukt. Omdat bij gassen het soortelijk volume (uitgedrukt in m³/kg) afhankelijk is van druk en temperatuur, rekent men het volume om naar een volume bij een vooraf vastgestelde druk en temperatuur. Een normaalkubieke meter is een hoeveelheid gas, die bij een temperatuur van 0°C (273,15 K) en een druk van 1 atmosfeer (1,01325 bar of 101,325 kPa), een volume inneemt van 1 kubieke meter (m³).

Bij het opgeven van de gashoeveelheid dient rekening te worden gehouden of een gasmeter de geproduceerde of gebruikte hoeveelheid gas wel meet als Nm³, dus gecorrigeerd voor temperatuur, druk en dus ook vochtgehalte.

WOBBE-INDEX

De Wobbe-index is een belangrijke karakteristiek van brandstofgassen. Het is een maat voor de uitwisselbaarheid van verschillende gassen op een bepaalde brander. Gassen met eenzelfde Wobbe-index geven eenzelfde thermisch vermogen op een gegeven brander.

De Wobbe-index (W) is de verhouding van de verbrandingswaarde of calorische waarde van het gas (H) en van de vierkantswortel uit de relatieve dichtheid van het gas (ρ_r):

$$W = \frac{H}{\sqrt{\rho_r}} \quad (2-7)$$

De relatieve dichtheid is de dichtheid van het gas gedeeld door de dichtheid van lucht bij dezelfde temperatuur en druk (namelijk 273,15 Kelvin en 101,325kPa). De Wobbe-index wordt uitgedrukt in dezelfde eenheid als de verbrandingswaarde, namelijk (mega)joule per normaal-kubieke meter. De Wobbe-index van Gronings aardgas is circa 43,46 - 44,41 MJ/Nm³. De Wobbe-index van biogas is circa 20-22 MJ/Nm³.

Bij de interpretatie van de getallen moet gerealiseerd worden dat brandstofgassen een hoge en een lage verbrandingswaarde kennen. Voor de hoge verbrandingswaarde is de condensatiewarmte meegeteld van de waterdamp die bij de verbranding ontstaat. Voor de lage waarde is deze niet meegeteld. Analoog spreekt men van een hoge en een lage Wobbe-index: de hoge Wobbe-index is berekend op basis van de hoge verbrandingswaarde, en de lage Wobbe-index op basis van de lage verbrandingswaarde. "Wobbe-index" slaat normaal gesproken zonder meer op de hoge index. Een brander die is afgesteld voor een bepaald brandstofgas, zal bij omschakeling naar een andere gassenstelling zijn thermisch vermogen slechts behouden als de Wobbe-index van het gas niet teveel verandert. Bij een te grote afwijking in Wobbe-index zal de brander niet goed meer functioneren, en moet hij opnieuw worden afgesteld. In de praktijk wordt een schommeling van 5% nog aanvaardbaar geacht (uiteraard zijn er nog andere factoren waar men rekening mee moet houden zoals vlamtemperatuur, zwavelgehalte enz.).

2.4.5 SLIBEINDVERWERKING

Na slibgisting zijn er meerdere situaties denkbaar voor verdere verwerking. Meest voorkomend is dat na de slibgisting het slib direct wordt ontwaterd. Het kan echter ook voorkomen dat in het geval van een centrale slibontwatering het slib direct, of na eventuele indikking, naar de centrale slibontwatering wordt getransporteerd. Nadat het slib is ontwaterd, wordt het naar een slibeindverwerking getransporteerd, voor vrijwel al het slib is dit als laatste stap een verbrandingsstap. Hiervoor kennen we in Nederland de volgende gangbare praktijk:

- monoverbranden van slib;
- drogen van slib en afvoer naar een energiecentrale of cementindustrie;
- composteren (biologisch drogen) van slib voorafgaand aan verbranding;
- meestoken van ontwaterd slib bij een afvalverbrander.

Voor alle methoden van eindverwerking stelt de eindverwerker in zijn contract eisen voor de acceptatie van het slib. Deze acceptatie-eisen variëren per type eindverwerking en zijn gelijk belangrijke invloedsfactoren om rekening mee te houden bij het toepassen van slibgisting. In de slibketen vervult de slibgisting namelijk een belangrijke en strategische schakel.

VERBRANDINGSWAARDE

Anno 2011 wordt via alle slibeindverwerkers (dus ook na droging en compostering) het slib uiteindelijk verbrand of meegestookt. Vanwege deze eindbestemming is de verbrandingswaarde van het slib, in combinatie met het drogestofgehalte, de belangrijkste acceptatie-eis. De verbrandingswaarde wordt gedefinieerd als de hoeveelheid warmte die vrijkomt bij volledige verbranding van een stof of materiaal, voor zuiveringsslib uitgedrukt in MJ per kg DS. In plaats van verbrandingswaarde wordt ook wel gesproken over stookwaarde of calorische waarde. Het bereik dat door de verschillende eindverwerkers wordt opgegeven ligt voor ontwaterd slib gemiddeld tussen 11 en 16 MJ/kg DS. Binnen dit bereik vallen overigens slibben die wel of niet een slibgisting hebben doorgaan.

De verbrandings- of stookwaarde van slib kan als volgt worden berekend:

$$H_{\text{slib}} = (\text{ODS} * H_{\text{organisch}}) * \text{DS} - H_{\text{verdamping water}} * (1 - \text{DS}) \quad (2-8)$$

Met:

H_{slib}	= stookwaarde in GJ per ton slib materiaal;
$H_{\text{organisch}}$	= 21,318 GJ/ton ODS (organische drogestof);
ODS	= organisch gehalte in de drogestof in (%);
DS	= drogestof gehalte van het slibmateriaal in (%);
$H_{\text{verdamping water}}$	= 2,258 GJ/ton (verdampingswarmte van water).

Door toepassing van slibgisting verlaagt de verbrandingswaarde van het slib voor de eindverwerker, maar door de betere ontwaterbaarheid verandert de stookwaarde meestal niet heel veel. Als een waterschap slibgisting op een rwzi gaat introduceren of de slibgisting met een voorbehandeling wil verbeteren, heeft dit invloed op de verbrandingswaarde van het af te zetten slib. Als de waarde overigens binnen het acceptatiebereik blijft, is dit natuurlijk geen probleem en wordt de slibkwantiteit verminderd.

Belangrijk is wel om te beseffen dat bij toepassing van slibgisting de acceptatie-eisen van eindverwerking altijd worden getoetst en dat de eindverwerker van de ontwikkelingen op de hoogte is.

EIND-DROGESTOFGEHALTE (DS IN %)

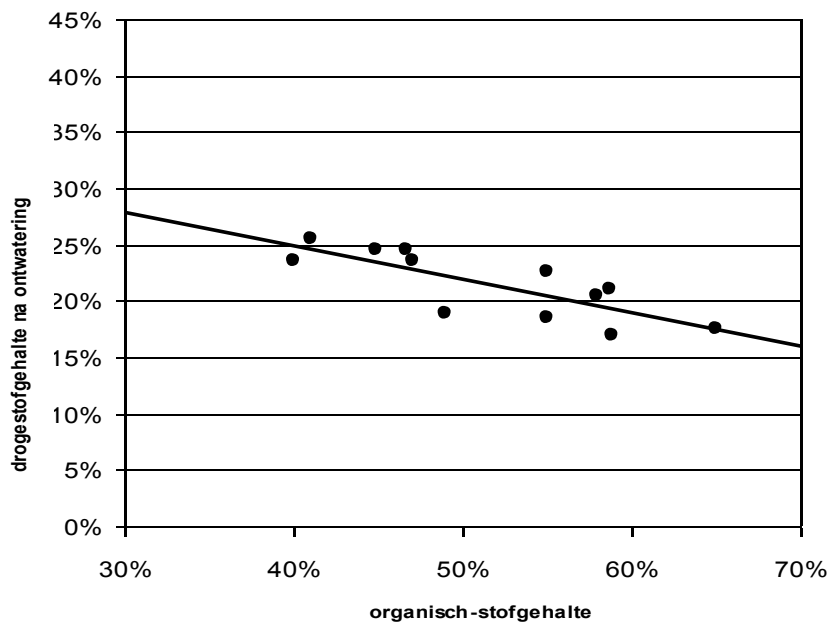
De belangrijkste doelstelling van slibontwatering is om de hoeveelheid water die uiteindelijk moet worden getransporteerd en verwerkt vergaand te verminderen. In Nederland hebben we het na slibontwatering doorgaans over percentages van tussen de 20 en 30%, waarbij wel moet worden opgemerkt dat laag in de 20% relatief vaker voorkomt. Na ontwatering wordt op de rwzi in plaats van drogestofgehalte of drogestofpercentage ook vaak gesproken over ontwateringspercentage. Al deze definities komen op hetzelfde neer. Slibeindverwerkers hanteren in hun contracten meestal de term drogestofpercentage.

De slibsamenstelling van de voeding (o.a. type en verhouding primair/secundair slib) en de prestaties van de slibgisting hebben een belangrijke invloed op het haalbare ontwateringspercentage. In de bedrijfsvoering van de slibgisting moet daarom rekening worden gehouden met de directe opeenvolgende interactie tussen slibgisting en slibontwatering. De relatie met ontwaterbaarheid en het fosfaatgehalte in het slib heeft vooral met keuze van bewuste struvieprecipitatie te maken en valt daarmee niet binnen de systeemgrens van dit handboek.

Figuur 2.9 geeft op basis van een wereldwijde evaluatie van 16 slibgistingstanks (Barber) een indruk van de relatie tussen het percentage organische stof in het uitgediste slib en het haalbare ontwateringspercentage.

Het is duidelijk dat bij een goede slibgisting waarbij meer organische stof wordt afgebroken een beter ontwateringsresultaat wordt gehaald. Ook wordt opgemerkt dat in het zomer betere ontwateringsresultaten behaald worden dan in de winter. Nader analyse van de ontwatering valt echter buiten de context van dit handboek.

FIGUUR 2.9 ONTWERD SLIB DROGESTOF VERSUS HET ORGANISCH STOFGEHALTE IN HET TE ONTWEREN SLIB



ORGANISCH-STOFGEHALTE

Het organisch-stofgehalte van het slib, voor en na slibgisting, is naast de gasproductie de parameter die de meeste informatie genereert over het functioneren van de slibgisting. Het organisch-stofgehalte van zuiveringsslib bepaalt tevens direct de hoogte van de verbrandingswaarde. Daarmee is ook het organisch-stofgehalte een acceptatie-eis in de contracten met eindverwerkers. In de praktijk leidt dit doorgaans niet tot problemen.

2.4.6 REJECTIEWATER EN KARAKTERISERING

Bij de ontwatering van zuiveringsslib ontstaat naast het ontwaterde slib een vloeibare interne (rejectie)waterstroom die wordt teruggevoerd naar het begin van het proces van de rwzi. Bij toepassing van een centrifuge heet deze interne stroom centraat en bij toepassing van zeefbandpersen en filterpersen spreken we over filtraat. De gangbare verzamelterm voor deze stromen is deelstroom of rejectiewater.

De samenstelling van het rejectiewater wordt voornamelijk bepaald door de aanwezigheid van slibgisting. Tijdens slibgisting komen namelijk de nutriënten fosfaat en ammonium in oplossing. De uiteindelijke concentratie is van veel factoren afhankelijk, te weten:

- type voorbehandeling;
- slibsamenstelling van de voeding;
- drogestofpercentage van de voeding;
- toepassing van biologische of chemische fosfaatverwijdering;
- dosering van chemicaliën op de slibgisting;
- de afvalwaterkarakteristiek (hardheid);
- het algemene functioneren van de slibgisting;
- de vorming van neerslagen (struviet) tijdens het slibgistingproces.

Als de rwzi ook extern slib verwerkt, kan het procentuele aandeel van de nutriëntenvracht in het rejectiewater aanzienlijk oplopen ten opzichte van de vracht in het influent. Dit percentage varieert van 10 tot 30%. Hiermee moet rekening worden gehouden met het oog op het behalen van de effluentkwaliteitseisen. In voorkomende gevallen kan het nodig of wenselijk zijn om een rejectiewaterbehandeling (of deelstroombehandeling) te implementeren. Hiervoor zijn meerdere gangbare technieken beschikbaar:

- BABE gericht op stikstofverwijdering in de waterlijn;
- SHARON, gericht op stikstofverwijdering in een aparte reactor via de nitrietroute;
- Anammox of DEMON, gericht op stikstofverwijdering in een aparte reactor via de anammoxroute;
- diverse uitvoeringsvormen van struvietreactoren, gericht op fosfaat teruggewinning.

Naast de concentraties zijn voor het ontwerpen van een deelstroombehandeling ook de temperatuur, alkaliteit, gehalte aan zwevende stof en de beschikbaarheid van micronutriënten een belangrijke parameter.

Ook kan het nodig zijn om struvietvorming gecontroleerd te voorkomen of struviet te verwijderen ter voorkoming van ongewenste neerslagen in leidingen en pompen.

3

STAND DER TECHNIEK

In dit hoofdstuk is een overzicht gegeven van wat de stand der techniek is op het gebied van slibgisting, zowel in Nederland als in het buitenland.

3.1 NEDERLAND

3.1.1 INLEIDING

In Nederland zijn er in 2008 op 352 rwzi's [CBS, 2008] in totaal 86 slibgistingsinstallaties¹ in bedrijf. De totale hoeveelheid slib die in deze slibgistingstanks wordt verwerkt bedraagt 335.000 ton ds/jaar². De kenmerken van de diverse slibgistingen zoals deze in Nederland worden toegepast zijn te verdelen in technologische kenmerken en technische kenmerken.

De belangrijkste technologische procesparameters van een slibgisting zijn:

- type gisting;
- type slib;
- verblijftijd;
- temperatuur;
- ingaande drogestofgehalte;
- prestatie-indicatoren; gasopbrengst, samenstelling gas, specifieke gasproductie.

De belangrijkste technische kenmerken met het oog op het ontwerp en voor het goed functioneren van de gisting zijn:

- bouwwijze gisting;
- reactor vorm;
- type menging;
- wijze warmte inbreng;
- slibafvoerconstructie;
- schuim- en drijfslaagafvoer;
- wijze van voeden;
- aanwezige metingen en beveiligingen.

3.1.2 TECHNOLOGISCHE KENMERKEN

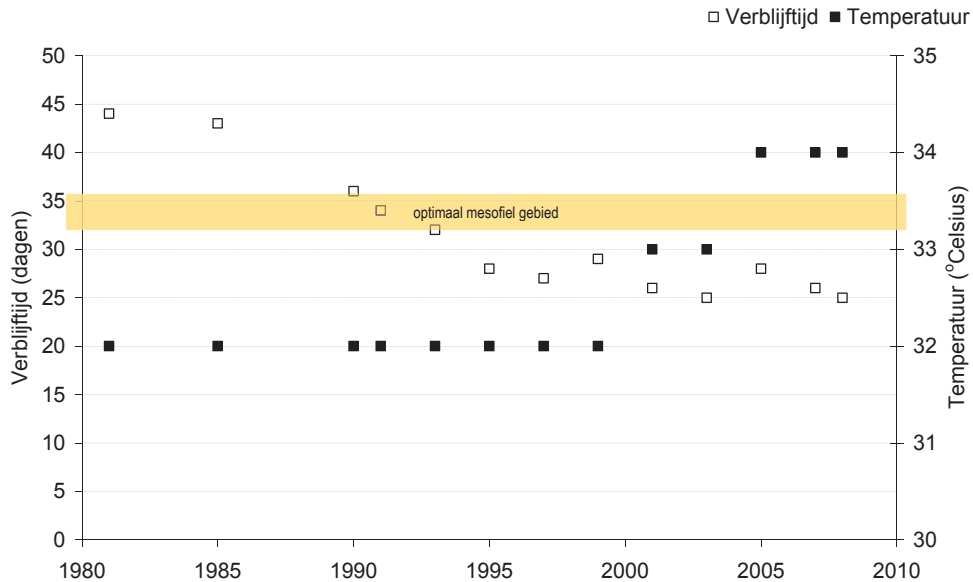
De verblijftijd en temperatuur bepalen samen met het ingaande drogestofgehalte (DS-gehalte) de mate van organische drogestof (ODS) afbraak en de biogasproductie. Het verloop in gekozen verblijftijd en temperatuur in de gistingen in Nederland zijn weergegeven in Figuur 3.1 (gegevens CBS). Uit deze figuur valt op te maken dat begin jaren '80 nog gekozen werd voor langere verblijftijden bij een relatief lagere temperaturen. Sindsdien is de verblijftijd verlaagd naar 25 – 30 dagen, en is vanaf 2000 de gemiddelde temperatuur in de slibgistingstanks verhoogd naar 33 – 34 °C. Deze waarden worden nu nog steeds gevonden zoals blijkt uit

1 Op basis van wat is opgegeven in EEP 2009 – 2012 in kader MJA-3

2 Enquête inventarisatie Biogas, uitgevoerd door Witteveen + Bos, in opdracht van Agentschap.nl, 2009

de uitgevoerde enquête onder waterschappen in het kader van de inventarisatie biogas. Uit deze enquête is gebleken dat de gemiddelde verblijftijd 27 dagen bedraagt en de gemiddelde temperatuur rond de 33,5 °C ligt. De optimale temperatuur voor een mesofiele slibgisting is 37 °C. Bij temperaturen boven 40 °C wordt het systeem snel instabiel. Uit dezelfde enquête is gebleken dat het ingaande DS-gehalte 4,2% bedraagt.

FIGUUR 3.1 ONTWIKKELING VAN VERBLIJFTIJD EN TEMPERatuur IN SLIBGISTINGSTANKS IN NEDERLAND (OPTIMAAL 33- 35 °C)



3.1.3 TECHNISCHE KENMERKEN

BOUWWIJZE

Voor de bouwwijze van een slibgistingstank kan onderscheid gemaakt worden tussen ronde slibgistingstanks en eivormige slibgistingstanks. In Nederland zijn met uitzondering van de rwzi Hengelo alleen ronde slibgistingstanks aanwezig. In een aantal gevallen is de bouwwijze en reactorvorm afhankelijk van het bestemmingsplan (maximale bouwhoogte). Dit kan leiden tot relatief lage tanks met een grote tankdiameter.

TYPE MENGING

In de praktijk kunnen de volgende technieken worden toegepast voor het mengen van het slib in de slibgistingstanks:

- rondpompsysteem;
- gasinblazing;
- mechanische menging met grote peddels of via 'draft tube' systemen;
- natuurlijke menging (Bima-systeem).

Van de bovengenoemde mengtechnieken wordt gasinblazing het meest toegepast in Nederland. Uit de eerder genoemde enquête (Bijlage 1) is gebleken dat van de 63 slibgistingstanks 58 gasinblazing toepassen als mengtechniek. Andere technieken die in Nederland worden toegepast zijn: Heatamix-systeem (o.a. in Emmen en Meppel), Bima-systeem (Veendam en Terneuzen) of mechanische menging (o.a. Elburg, Harderwijk, Garmerwolde en Assen). Zie paragraaf 4.6 voor een uitgebreidere beschrijving van de diverse systemen.

De toegepaste mengintensiteit bij de verschillende gistingen toont een grote variatie. Bij bijvoorbeeld gasmenging varieert het toepassen van biogasrecirculatie van 5 minuten per uur tot meer dan 20 minuten per uur. Dit geeft aan dat het nog onduidelijk is hoeveel mengenergie ingebracht moet worden en waarom gemengd moet worden.

WIJZE WARMTE-INBRENG

Het inbrengen van warmte aan de slibgistingstanks kan worden gedaan via:

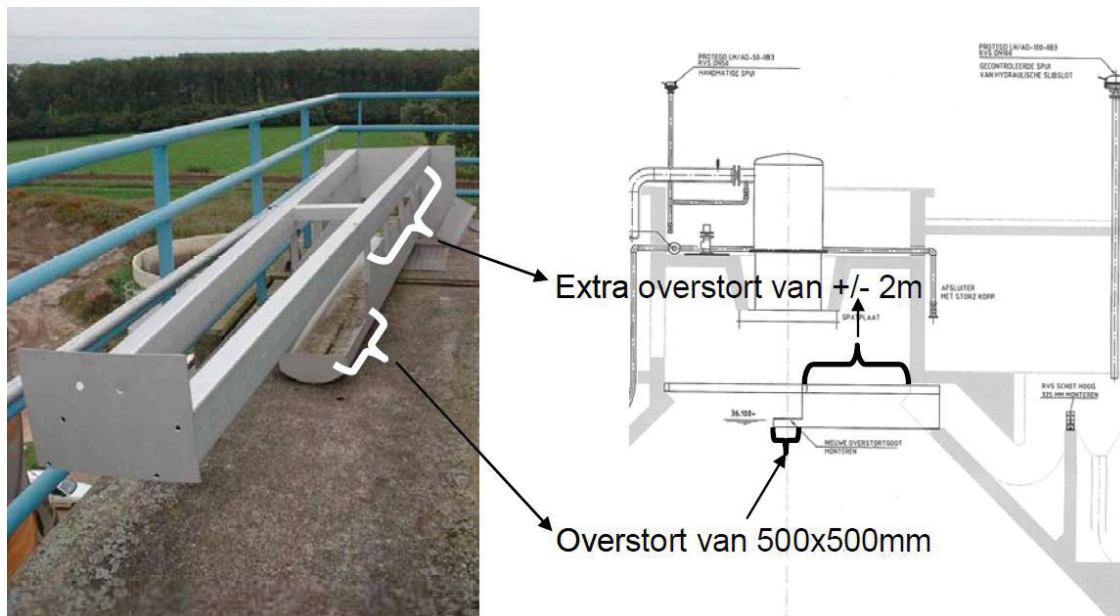
- een extern opgestelde warmtewisselaars, waarbij slib uit de tank door een warmtewisselaar wordt gepompt;
- een intern systeem (zoals Heatamix);
- wandverwarming, waarbij warm water door een leidingstelsel in de gistingstank wordt gepompt.

In Nederland wordt in de meeste gevallen de warmte ingebracht via een extern opgestelde warmtewisselaar. In een enkel geval zoals in Meppel wordt gebruik gemaakt van een intern opgestelde warmtewisselaar (Heatamix) of wandverwarming (Elburg en Harderwijk). Wandverwarming wordt vaak toegepast in combinatie met mechanische menging in slibgistingstanks en mestvergistingstanks.

SLIBAFVOERCONSTRUCTIE

De constructie voor de afvoer van slib kan zich in of buiten de tank bevinden. In Nederland bevindt de afvoerconstructie zich in de meeste gevallen buiten de slibgistingstank al worden bij renovaties ook meer interne constructies toegepast ter voorkoming van struviet vorming bij buiten de tank geplaatste (open) constructies (verdwijnen CO₂ uit het uitgegiste slib bevordert de struvietvorming).

FIGUUR 3.2 AFVOERCONSTRUCTIE SLIB EN SCHUIM IN SLIBGISTINGSTANK TE HENGELO



SCHUIM-EN DRIJFLAAGAFVOER

In een aantal slibgistingstanks in Nederland is er een speciale voorziening voor de afvoer van drijf- of schuimlagen aanwezig. Een voorbeeld hiervan is Hengelo waar in de slibgistingstanks de schuimafvoer is vergroot (zie Figuur 3.2). Hierdoor zorgde de schuimvorming niet meer voor operationele problemen, zoals dat in het verleden wel het geval was.

Ook worden bij steeds meer gistingstanks een dubbele hoogte meting toegepast, waarbij de ene meting de schuimlaag niet detecteert (bijv. drukdoos) en de andere meting wel (bijv. radar meting). Een toenemend verschil is een indicatie dat er een schuim- of drijfslag aan het vormen is, waarop de bedrijfsvoerder maatregelen kan nemen.

3.1.4 WIJZE VAN VOEDEN

De voeding van de slibgistingstank kan bestaan uit primair slib, secundair slib extern slib (van andere rwzi) of ander organisch materiaal (co-vergisting). Deze slibstromen worden in de meeste gevallen gravitair of mechanisch ingediktd. In sommige gevallen wordt het primair slib direct uit de slibzak van de voorbezinktank aan de slibgistingstank toegevoegd. Het in de meeste gevallen ingediktd slib wordt vervolgens continu of batchgewijs (pulse-pauze, slibspiegel, looptijd-wachttijd) aan de slibgistingstank toegevoegd. Inzicht in hoe dit in de meeste gevallen in Nederland gebeurt is nog onbekend. Wel bestaat de indruk dat secundair slib vaker continu wordt toegevoegd en primair slib vaker batchgewijs. In principe geldt hoe gelijkmatiger de slibgisting wordt gevoed hoe stabiel het proces en hoe gelijkmatiger het gas geproduceerd wordt.

Door onvoldoende buffercapaciteit voor primair slib komt het bij veel rwzi's voor dat bij een regenweelperiode na een lange droogweelperiode er veel slib moet worden verwerkt. Dit leidt tijdelijk tot een overbelasting van de gisting en een (te) grote piek in gasproductie. Zo kan bij voorbeeld tijdelijk de brug in de voorbezinktank stilgezet worden om slibindikking in de tank toe te passen en daardoor minder of dikker slib naar de gisting te pompen (let wel op voor dichtslibben van pompen en leidingen). Hierdoor kan actief met slibstromen gestuurd worden. In het algemeen kan worden gesteld dat het belangrijk is om voldoende buffercapaciteit te bouwen zodat een gelijkmatige voeding van de slibgisting met een zo constante mogelijke slibkwaliteit wordt toegepast. Er is momenteel onvoldoende inzicht hoe de verschillende waterbeheerders hiermee omgaan en welke richtlijnen voor buffervoorzieningen worden gehanteerd.

3.1.5 AANWEZIGE METINGEN EN BEVEILIGINGEN

Om het functioneren van de slibgistingstank te monitoren en deze veilig te bedienen zijn de volgende metingen en beveiligingen beschikbaar:

- temperatuur;
- pH;
- gasdebiet (productie);
- debiet in slibaanvoerleidingen;
- niveaumeting in slibgistingstank;
- gassamenstelling;
- Wobbe-index;
- druk slibaanvoerpompen;
- H₂S-gehalte biogas;
- overdrukbeveiliging.

Uit de enquête die onder het Landelijk Technologen Platform van de waterschappen is gehouden, is gebleken dat van de 26 ontvangen enquêtes (soms aangegeven voor hele waterschap, soms per locatie) in 22 gevallen ervaring is met bovengenoemde metingen en beveiligingen. De parameters die het meest (via BBS) worden geregistreerd zijn de temperatuur, debiet, en overdrukbeveiliging. De gassamenstelling en pH wordt in de meeste gevallen handmatig gecontroleerd, in sommige gevallen zoals voor H₂S gebeurt dat ook online. De in- en uitgaande slibstromen worden doorgaans handmatig bemonsterd voor de bepaling van het droge-stof

en as-gehalte. Op basis van deze metingen kan dan de drogestofreductie worden bepaald, een belangrijke parameter voor het functioneren van de slibgisting, maar door het incidentele karakter van de metingen zijn dergelijke berekeningen vaak niet meer dan een indicatie.

3.2 INVENTARISATIE ACTUELE AANDACHTSPUNTEN

Als basis voor het handboek slibgisting is een inventarisatie van actuele aandachtspunten rondom het thema slibgisting opgesteld. Dit is gedaan aan de hand van een workshop en een enquête onder de leden van het Landelijk Technologen Platform. Een overzicht van de vragen en de antwoorden is opgenomen in bijlage 1.

De vragen in de enquête hebben betrekking op het functioneren en op knelpunten van de bestaande slibgistingsinstallaties binnen de waterschappen. Hiervoor zijn 33 open vragen gesteld over bepaalde situaties, gebeurtenissen of mankementen.

Van de 23 waterschappen hebben 14 schappen de enquête beantwoord, daarbij zijn door enkele waterschappen meerdere specialisten geraadpleegd en zijn verschillende slibgistingsinstallaties als voorbeeld aangedragen. In totaal zijn daardoor 26 reacties ontvangen.

Op basis van de antwoorden is een top vijf van meest actuele aandachtspunten rondom slibgisting opgesteld. Deze zijn:

- roostergoed(problemen) in slibgisting (en sliblijn) met als gevolg verstoppingen van leiding en installatieonderdelen;
- vragen rondom toepassing van versnijders in de sliblijn (voorafgaande aan slibpompen, warmtewisselaars en slibgisting) met betrekking tot type, locatie, onderhoud, (gevolg) problemen;
- vragen rondom meet- en regelapparatuur op de slibgisting met betrekking tot soort, type, locatie, onderhoud, ervaringen;
- (problematische) condensaatvorming in leidingen gaslijn;
- zand(problemen) in slibgisting (en sliblijn).

Als belangrijke aandachtspunten worden verder genoemd:

- mankementen en verstopping aan gasinblaaslanzen;
- schuimvorming in slibgistingsinstallaties;
- H₂S(-problemen) in de gaslijn.

Opvallend is dat onderwerpen die vanuit lopende STOWA-projecten of voorgaande en volgende hoofdstukken als belangrijk naar voren, zoals limitatie van het gistingproces, mechanische mengers, (ongewenste) struviet- en siloxaanvorming als minder acute aandachtspunten worden aangemerkt.

3.3 VERENIGD KONINKRIJK EN VERENIGDE STATEN

3.3.1 INLEIDING

De ervaringen met slibgisting in het Verenigd Koninkrijk (UK) en de Verenigde Staten (VS) zijn gebundeld omdat in vergelijking tot Nederland voor beide landen geldt dat er een andere drijfveer aanwezig is voor het toepassen van slibgisting. In Nederland kan het slib sinds 1995 niet meer richting de landbouw afgevoerd worden vanwege het BOOM-besluit. In de UK en de VS is dit nog wel mogelijk en daarom is het realiseren van een pathogeenvrij en stabiel eindproduct de belangrijkste drijfveer voor het toepassen en ontwerpen van slibgistingsinstallaties. Het gaat hier dus in eerste plaats om pasteurisatie en minder om effect van slibgisting op

slibvermindering, ontwaterbaarheid en biogasproductie.

Een ander kenmerkend verschil met Nederland is dat in de VS en de UK de trend is ingezet richting grote centrale slibgistinglocaties. Waarin Nederland doorgaans slibgisting wordt toegepast voor de slibgisting van 1.000 tot 10.000 ton DS/jaar, is de schaalgrootte in de UK en de VS vele malen groter en gaat in de richting van 25.000 tot 50.000 ton DS/jaar en incidenteel zelfs tot 100.000 ton DS/jaar per installatie. In de afgelopen 10 jaar heeft in de UK en de VS een andere ontwikkeling rondom slibgisting plaats gevonden dan in Nederland. De slibgistingssystemen die hier de afgelopen jaren vooral zijn geïntroduceerd betreffen:

- meertraps slibgisting;
- thermofiele slibgisting;
- enzymatische hydrolyse;
- thermische hydrolyse.

Op verschillende zuiveringen in de UK en de VS worden deze technieken succesvol op praktischschaal toegepast. Hiermee zijn de UK en de VS de grootste producenten van de zogenaamde “Bioclass A solids”, een Engelse term voor kwalitatief hoogwaardig uitgegist slib dat als meststof in de landbouw mag worden afgezet.

Al de genoemde systemen hebben het kenmerk dat de specifieke afdoding van pathogenen gewaarborgd is en door de hogere temperaturen is vaak ook de specifieke biogasproductie hoger is in vergelijking met de traditionele mesofiele slibgisting. Energieproductie is echter in deze landen een secundaire doelstelling, waar dit in Nederland, naast vermindering slibproductie, wel een belangrijke drijfveer is om slibgisting toe te passen of te verbeteren. In de volgende paragrafen zijn de ontwikkelingen in de UK en VS aan de hand van praktijkvoorbeelden toegelicht.

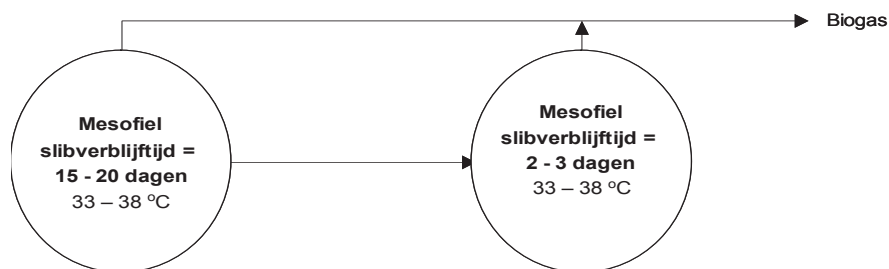
3.3.2 MEERTRAPS SLIBGISTING

Meertraps slibgisting is een uitbreiding van conventionele slibgisting. Bij meertraps slibgisting vindt het slibgistingproces in serie geschakelde reactoren plaats. Er wordt onderscheid gemaakt tussen tweetraps of meertraps slibgisting. In een getrappt slibgistingproces wordt per reactor (trap) naar optimale procescondities (T en verblijftijd) gezocht voor de populaties aan micro-organismen die in die reactor op dat moment het meest gewenst zijn.

Bij tweetraps mesofiele slibgisting wordt de eerste reactor vaak ontworpen op een voldoende lange verblijftijd voor een optimaal afbraakproces. In de tweede reactor kan hierdoor een relatief korte verblijftijd worden gehanteerd. Beide tanks worden verwarmd en gemengd. Dit vermijdt problemen met kortsluitstromen van slibstromen en verbetert het rendement van het proces. In Nederland is nauwelijks praktijk ervaring met tweetraps mesofiele slibgisting.

FIGUUR 3.3

TWEETRAPS MESOFIELE SLIBGISTING



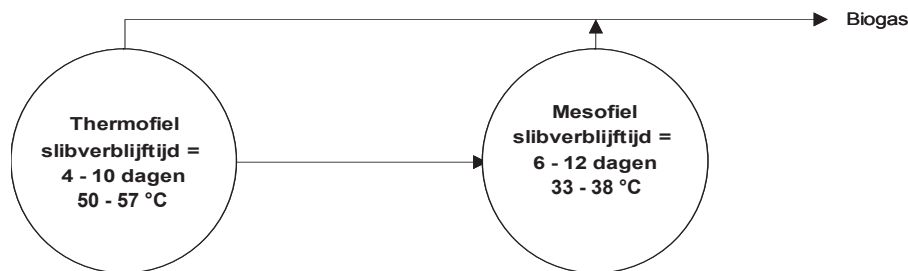
Getrapte slibgisting kan ook onder thermofiele omstandigheden plaatsvinden. Getrapte thermofiele slibgistingstanks zijn effectiever dan conventionele eentraps thermofiele slibgistingstanks bij het reduceren van pathogene organismen, omdat de kans op kortsluitstromen nauwelijks aanwezig is. In Minnesota staat sinds 2001 een viertraps thermofiele slibgistinginstallatie. Hier staan vier slibgistingstanks die allen onder thermofiele omstandigheden in serie worden bedreven. De verblijftijd in de eerste slibgisting bedraagt 17 dagen, de verblijftijd in de overige reactoren 2 dagen elk. De temperatuur in alle reactoren wordt rond de 55°C gehouden.

De gemiddelde organische-stofafbraak bedraagt 62-63%, op een mengsel van primair slib en oxidatiebed(humus)slib. Tijdens mesofiele slibgisting van dit zelfde type slib werd een afbraakpercentage van 47% waargenomen. Het slib uit de thermofiele slibgisting wordt succesvol toegepast als meststof in de landbouw.

Een andere configuratie is de combinatie van thermofiele en mesofiele slibgisting, om zo de prestatie van de slibgisting te verhogen. De hogere biologische activiteit tijdens de thermofiele fase zorgt voor een betere afbraak en hogere biogasproductie vergeleken met enkel getrapte mesofiele slibgisting. De mesofiele fase zorgt voor een aanvullende afbraak van organisch materiaal door de langere verblijftijd. Bovendien vermindert de mesofiele fase de concentratie vetzuren wat bij thermofiele slibgisting vaak tot geuroverlast leidt. Het systeem heeft ten opzichte van conventionele mesofiele slibgisting ook minder de neiging te gaan schuimen. De verblijftijd in de thermofiele gisting ligt tussen 4 en 10 dagen, de verblijftijd in de mesofiele gisting ligt tussen 6 en 12 dagen.

FIGUUR 3.4

TWEETRAPS THERMOFIELE/MESOFIELE SLIBGISTING

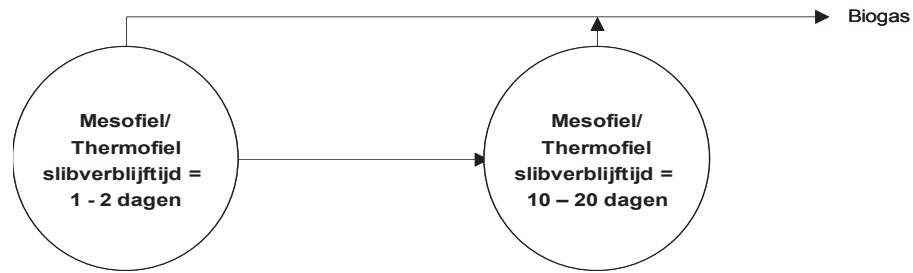


In de UK en de US wordt deze technologie vaak toegepast vanwege de pasteurisatie van het slib onder thermofiele omstandigheden. Een pasteurisatiestap is in deze landen vereist om het slib in de landbouw af te mogen zetten. In Nederland zou deze techniek interessant zijn vanwege de hogere biogasopbrengst. Het afbraakpercentage op organische stof ligt namelijk gemiddeld 10% hoger dan bij conventionele mesofiele slibgisting.

De laatste variant die hier wordt besproken is de slibgisting waarbij de twee anaërobe omzettingreacties (acidogenese en methanogenese) gescheiden van elkaar plaats vinden. Door een korte verblijftijd en hoge slibbelasting in de eerste reactor worden omstandigheden gecreëerd, waarin acidogene organismen beter gedijen dan methaanvormende bacteriën. De pH in deze fase ligt lager dan 6. De tweede fase bestaat uit een grotere slibgisting en dus langere verblijftijd, waardoor methaanvormende bacteriën de kans krijgen te groeien. De reactoren kunnen onder mesofiele of thermofiele omstandigheden worden bedreven. In praktijkinstallaties wordt vaak gekozen voor mesofiele temperaturen tijdens beide fases omdat dit minder complex is qua verwarming.

FIGUUR 3.5

TWEETRAPS THERMOFIELE/MESOFIELE SLIBGISTING



Over de voordelen van tweetraps slibgisting is de literatuur verdeeld. Enerzijds worden voordelen genoemd als een hogere organische-stofafbraak (en dus hogere biogasopbrengst) en hogere methaanconcentraties in het biogas. Door andere onderzoekers worden deze voordelen niet onderschreven. Tweetraps slibgisting staat er vooral om bekend minder problemen met schuimvorming te hebben en is stabiel en veerkrachtiger in de verwerking van piekbelastingen.

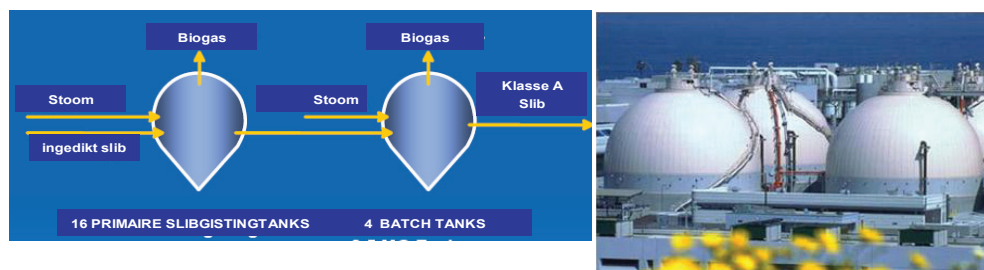
3.3.3 THERMOFIELE SLIBGISTING

De rwzi Hyperion zuivert al het afvalwater van de inwoners van Los Angeles en omgeving en heeft een capaciteit van circa 5 miljoen i.e. De slibgisting zoals deze er vandaag de dag staat, kent een lange geschiedenis van ontwikkelingen.

De slibgistingsinstallatie dateert uit de jaren '50. Oorspronkelijk werd gekozen voor een conventionele eentraps mesofiele slibgisting bestaande uit 18 cilindrische tanks. Tussen 1953 en 1957 is op de Hyperion Plant al geëxperimenteerd met thermofiele slibgisting. In de jaren '70 werd de installatie omgebouwd tot een tweetraps mesofiele installatie. Eind jaren '90 werden er twintig eivormige slibgistingstanks geïntroduceerd die ook eerst onder mesofiele condities werden bedreven. In 2003 werd overgeschakeld naar thermofiele tweetraps slibgisting. Ook nu wordt dat systeem nog steeds toegepast. In totaal staan er op het terrein 20 eivormige slibgistingstanks met elk een inhoud van 10.500 m³. De eerste trap van de thermofiele slibgisting (16 tanks) wordt bedreven als een continu gevoede compleet gemengde slibgisting bij een temperatuur van 53 °C en circa 13 dagen hydraulische verblijftijd. De tweede trap bestaat uit 4 tanks die in batchmodus worden bedreven bij ook een temperatuur van 53 °C, maar een minimale batchtijd van 16 uur. Hyperion is thans de grootste producent van Bioclass A solids ter wereld. Hyperion is ook voor veel andere rwzi's in de VS een goed praktijkvoorbeeld voor toepassing van thermofiele slibgisting. Voor een mengsel van primair en hoogbelast secundair slib wordt met het thermofiele tweetrapsysteem op Hyperion een afbraakpercentage op organische stof bereikt van gemiddeld 57%.

FIGUUR 3.6

TWEETRAPS THERMOFIELE/MESOFIELE SLIBGISTING

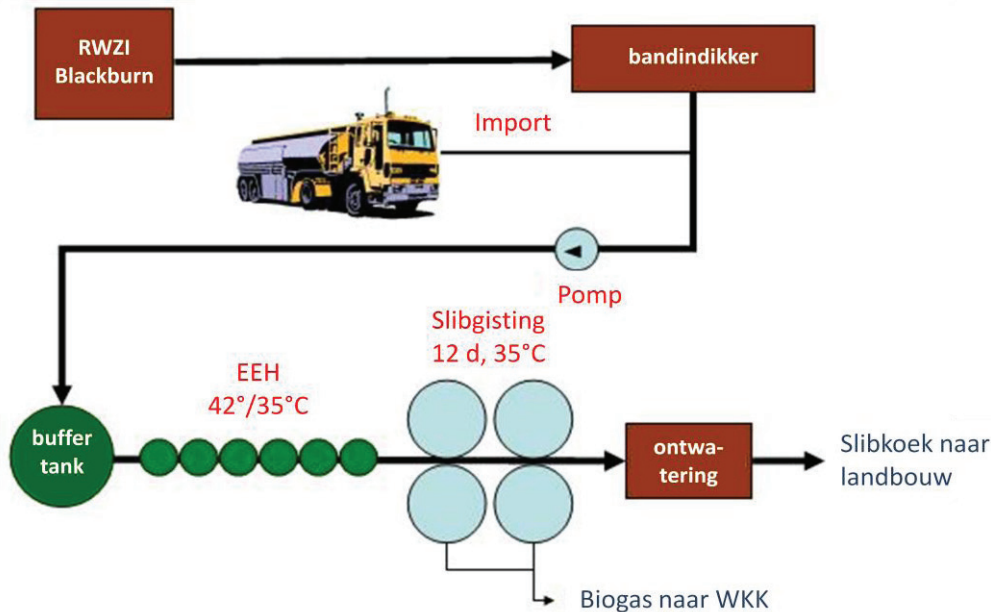


3.3.4 ENZYMATISCHE HYDROLYSE

Op de slibverwerkingsinstallatie in Blackburn wordt sinds 2005 een geavanceerd slibgistingsproces toegepast, waarbij stapsgewijs de omstandigheden voor bepaalde groepen enzymen wordt geoptimaliseerd, zie Figuur 3.7. De eerste trap is een gecombineerde hydrolyse en pasteurisatiestap. In de tweede trap vindt de verdere stabilisatie van het slib plaats onder mesofiele condities.

FIGUUR 3.7

TOEPASSING VAN ENZYMATISCHE HYDROLYSE



Op de slibverwerking Blackburn wordt het slib eerst tot circa 6% DS ingedikt met een bandindikker. Daarna wordt het ingedikte slib in zes batchtanks gehydrolyseerd en gepasteuriseerd. In de eerste drie batchtanks verblijft het slib bij een procestemperatuur van 42°C. Daarna verblijft het slib bij 55 °C in de overige drie tanks. Na terugkoeling met warmtewisselaars tot 35-39°C, wordt het in de slibgistingstank (8.000 m³) verder gestabiliseerd. De verblijftijd hier bedraagt nog slechts 12 dagen. De verhoogde temperatuur garandeert een goede afbraak van organisch materiaal tot 53% en dient als pasteurisatiestap. Jaarlijks wordt op deze wijze 13.500 ton DS verwerkt en als meststof afgezet in de landbouw.

De belangrijkste voordelen van dit systeem zijn de hoge organische-stofafbraak, de hoge biogasopbrengst en tot slot de pasteurisatie van het zuiveringsslib. Vanwege de lage procestemperaturen t.o.v. thermische hydrolyse werkt dit systeem goed op laagwaardige restwarmte van bijv. WKK-installaties. Naast Blackburn zijn in de UK ook installaties van dit type in bedrijf op de rwzi's Macclesfield, Bromborough, Crewe en Lancaster.

FIGUUR 3.8

OP DE VOORGROND DE KOELING VAN THERMOFIEL NAAR MESOFIEL EN OP DE ACHTERGROND DE 6 HYDROLYSETANKS



3.4 DUITSLAND

3.4.1 INLEIDING

In Duitsland zijn op circa 1.230 huishoudelijke afvalwaterinstallaties slibgistingstanks aanwezig [1]. De hierna volgende technologische en technische kenmerken zijn deels afkomstig uit de Duitse ontwerprichtlijnen voor slibgistingstanks [2].

3.4.2 TECHNOLOGISCHE KENMERKEN

In de Duitse ontwerprichtlijnen voor slibgistingstanks wordt voor mesofiele (35°C) slibgistingstanks een verblijftijd van tenminste 20 dagen aanbevolen. Een kortere verblijftijd wordt sterk afgeraden om pieken in belasting op te kunnen vangen en het doel van de gisting, stabilisering van slib niet in gevaar te brengen. Het drogestofgehalte dat wordt aangehouden voor het aan te voeren slib ligt tussen de 3 – 8%. Een hoger drogestofgehalte wordt niet aanbevolen, omdat boven de 8% een volledige menging van de tank niet gegarandeerd kan worden.

3.4.3 TECHNISCHE KENMERKEN

BOUWWIJZE GISTING EN TYPE MENGING

In tegenstelling tot Nederland zijn de meeste slibgistingstanks in Duitsland eivormig en groot (zie Figuur 3.9) met mechanische menging in plaats van gasmenging zoals meer gebruikelijk is in Nederland. Deze eivorm wordt als gunstig ervaren voor een goede menging en verwarming door de steile onderkant, het geringe sliboppervlak, de continue kromming van de tank en de gunstige verhouding oppervlak tank / inhoud tank. Voor de menging worden in Duitsland in de eerste plaats de volgende systemen ingezet:

- pompen (buiten gisting); voor kleinere installaties ($\ll 4.000\text{m}^3$);
- stijgbuis met bovenin een menger;
- roerwerk;
- gasmenging.

Vanwege gevaar voor verstoringen (kluwen, verstopping, zand, roostergoed) worden interne roerwerken nauwelijks toegepast in Duitsland. Afhankelijk van het drogestofgehalte en de grootte van de reactor wordt aanbevolen om 5 – 15 W/m³ aan mengenergie toe te voegen aan de slibgistingstank [3].

FIGUUR 3.9 VOORBEELD SLIBGISTINGSINSTALLATIE IN DUITSLAND (KLÄRANLAGE LANGEWIESE, ORTSCHAFT ESCHACH, STADT RAVENSBURG [3])



WIJZE WARMTE INBRENG EN SLIBAFVOERCONSTRUCTIE

Net als in Nederland wordt in Duitsland de warmte meestal via een externe warmtewisselaar aan het slib overgedragen. De slibafvoerconstructie bevindt zich net als in Nederland buiten de slibgistingstank.

3.4.4 WIJZE VAN VOEDEN

In de ATV wordt aanbevolen om met een zo een hoog mogelijk droge-stofgehalte van het slib (max 8%) de slibgistingstank te voeden. Overwegingen hierbij zijn een kleiner volume en besparing op verwarmen van slib. Verder wordt een continu voeding van de slibgistingstank aanbevolen, met uitzondering van kleine slibgistingstanks. In dit laatste geval kan door de lage debieten het slib niet continu worden verpompt (te lage snelheid in leidingen) en wordt een discontinue voeding aanbevolen.

3.4.5 METINGEN EN BEVEILIGINGEN

Belangrijke metingen die dienen te worden uitgevoerd zijn:

- temperatuur;
- druk;
- pH;
- mate van menging;
- gaskwaliteit.

3.5 SCANDINAVIË

Deze paragraaf beschrijft de verschillen in configuratie van anaërobe slibgistingsinstallaties in Nederland ten opzichte van de Scandinavische landen (Noorwegen, Zweden, Denemarken). Het aantal anaërobe slibgistingstanks per tak van (water)behandeling (biologisch slib of industriewater) is weergegeven in Tabel 3.1 voor Nederland, Denemarken, Noorwegen en Zweden.

TABEL 3.1 AANTAL ANAËROBE SLIBGISTINGSTANKS IN NEDERLAND EN SCANDINAVIË[4]

	communaal zuiveringsslib
Nederland	86
Denemarken	64
Noorwegen	17
Zweden	134

3.5.1 THERMOFIEL VERSUS MESOFIEL

Zoals al is gesteld in de beschrijving van de slibgistinginstallaties in de USA en de UK is in tegenstelling tot Zweden en Denemarken in Nederland nog nauwelijks ervaring opgedaan met thermofiele slibgisting van communaal zuiveringsslib. Wereldwijd is mesofiele gisting de meest gangbare techniek. In Denemarken wordt mesofiele gisting echter nog maar slechts in 35% van de gevallen toegepast. Thermofiele gisting wordt in 65% van de gevallen toegepast om kortere benodigde verblijftijd van circa 12 dagen, in combinatie met een kleiner tankvolume te realiseren. Net als in de USA en de UK is het pasteurisatieeffect belangrijk vanwege potentiële afvoer van uitgegist zuiveringsslib naar de landbouw en de verplichte stabilisatie in verband met lange opslagtijden.

Uit ervaringen in het buitenland, vooral in Scandinavië, blijkt dat thermofiele gisting, bij gelijkblijvende verblijftijd tot circa 25 dagen leidt tot toename van de drogestofafbraak, verhoging van de biogasproductie en verbetering van ontwateringseigenschappen van het uitgegiste slib. Bij lange verblijftijden is de specifieke gasproductie van mesofiele slibgisting vrijwel gelijk aan de thermofiele slibgisting, zie ook paragraaf 2.3.3.

De belangrijkste tegenargumenten in Nederland om thermofiele slibgisting toe te passen is de bedrijfsvoering op een rwzi (niet stabiel). Tevens kan struvietvorming in Nederland een probleem vormen, omdat biologische P-verwijdering op veel Nederlandse rwzi's wordt toegepast en dat dit in mindere mate op Deense rwzi's plaats vindt.

In Denemarken is gedurende meerdere decennia aangetoond dat wanneer het ontwerp juist is, het thermofiele slibgistingproces stabiel te bedrijven is op een rwzi. Hiermee lijkt de belangrijkste bedenking tegen thermofiele gisting te worden weggenomen. Weliswaar moet nog wel aandacht worden besteed aan struvietvorming en de biogasreiniging.

Zweden blijkt circa 7% van het totaal aantal gistinginstallaties (communaal en industrieel) waar biogas geproduceerd wordt, thermofiele slibgisting toepast. In Nederland ligt deze waarde onder de 1%.

Het aandeel van thermofiele slibgistingstanks zal in de toekomst toenemen in de Scandinavische landen. In Denemarken wordt thermofiele gisting vooral daar ingezet waar een capaciteitsprobleem in de bestaande gisting heerst of de restcapaciteit kan worden ingezet voor de behandeling van andere organische reststromen (co-vergisting). Het omschakelen van bestaande mesofiele slibgistingen naar thermofiel is mogelijk met relatief geringe aanpassingen aan bestaande onderdelen en verloopt doorgaans zonder operationele problemen.

In Denemarken zijn niet alle rwzi's uitgerust met biologische P-verwijdering. Dit betekent dat struvietvorming in leidingen en warmtewisselaars in mindere mate een probleem is in vergelijking met Nederland. Of struvietvorming in de Nederlandse situatie in verhoogde mate optreedt bij thermofiele slibgisting zal nagegaan moeten worden in de praktijk. Dit is wel de verwachting, omdat door een verdergaande afbraak van slib de concentraties ammonium en fosfaat zullen stijgen, waardoor het chemische evenwicht meer naar de kant van struviet verschuift.

3.5.2 CAPACITEIT

Over het algemeen hebben de anaërobe slibgistingstanks in Zweden en Noorwegen een kleinere capaciteit vergeleken met andere West-Europese landen. De gemiddelde capaciteit van een slibgistingstank is 8.000 tot 15.000 ton DS per jaar. In andere West-Europese landen ligt dit tussen 25.000 tot 50.000 ton DS per jaar.

3.6 ACTUELE ONTWIKKELINGEN

In Nederland wordt het gisten van rwzi-slib al vele jaren toegepast. Gezien de huidige slibeindverwerkingskosten en de intentie van waterschappen om minder energie te gaan gebruiken of zelfs energie te gaan produceren zijn een aantal nieuwe ontwikkelingen ontstaan. Deze ontwikkelingen zijn toepassen van co-vergisting, het verhogen van het drogestofgehalte in de slibgisting en het desintegreren van slib voor of tijdens de slibgisting. Over dit laatste onderwerp is ook een STOWA-rapport [6] verschenen, maar voor de volledigheid worden deze technieken hier kort toegelicht.

3.6.1 CO-VERGISTING

ALGEMEEN

Op rwzi's met slibgisting komt het voor dat de volledige capaciteit van de slibgisting niet volledig wordt opgevuld. Afhankelijk van de restcapaciteit is het mogelijk om deze op te vullen met organische reststromen. Het gelijktijdig gisten van zuiveringsslib met andere biomassastromen, zoals keukenafval van tehuizen, afval van de levensmiddelenindustrie, vethoudende reststoffen uit industrieën, e.d., wordt co-vergisten genoemd. Dit toevoegen van andere organische reststromen wordt meestal gedaan om het rendement van het slibgistingproces (hogere gasproductie) te verbeteren en extra inkomsten te genereren door het verwerken van afvalstromen van derden.

In de landbouw wordt co-vergisting vaak toegepast voor de slibgisting van organische materialen zoals maïs, gerst aardappelen etc. Hierbij moet echter vaak voor de organische reststroom worden betaald. Co-vergisten van mest valt een andere categorie. Co-vergisten van slib is in de wet gedefinieerd. Organische materialen, die als co-substraat mogen worden toegevoegd, staan op de zogenaamde "positieve lijst co-vergisting", die door het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit LNV is uitgegeven [7].

Co-vergisting mag niet zonder meer worden toegepast, maar moet voorafgaand vergund worden, waarvoor de eis geldt dat de verwerking doelmatig moet zijn voor de reststroom.

EFFECTEN

Co-vergisting van zuiveringsslib samen met andere reststromen wordt doorgaans toegepast voor de volgende doelen:

- additionele inkomstenbron (inkomsten doordat voor afval betaald wordt, levering van elektriciteit of groen gas aan energiebedrijf);
- duurzame energiebalans (minder afname elektriciteit, warmtebenutting);
- energetische inzet en milieuvriendelijke verwerking van biologisch afval en reststoffen;
- doelmatigheidsprincipe (benutting ruimte/restcapaciteit).

Het effect van co-vergisting is:

- grotere hoeveelheid uitgest gist slib en dus hogere slibeindverwerkingskosten;
- vermindering milieubelasting (alternatief van fossiele energie, gesloten CO₂-balans);

AANDACHTSPUNTEN

De volgende aandachtspunten kunnen worden genoemd.

- versturende factoren zoals grote hoeveelheid eiwitrijke of vetrijke stromen;
- eiwit bevat relatief veel stikstof en zwavel dat wordt omgezet in ammoniak en waterstofdisulfide (H_2S) met als gevolg een mogelijke verstoring van de slibgisting en of een hoog H_2S gehalte in het gas;
- vetten kunnen de aanvoerleidingen verstoppen, waardoor de pompcapaciteit afneemt en/of de vorming van drijfslagen bevordert wordt;
- pieken in gasproductie (hoger dan de verwerkingscapaciteit);
- dit kan vermeden worden door egaliseren/bufferen van aangeleverde stromen die sterk afwijken in kwantiteit en kwaliteit;
- risico's bij slibgisting van grote hoeveelheid monosubstraten, waardoor microbiële populatie in slibgisting wijzigt en gevoeliger wordt voor wijzigingen in substraat.

3.6.2 SLIBDESINTEGRATIE

Voor de verdergaande optimalisatie van het slibgistingsproces zijn een aantal nieuwe technieken ontwikkeld. Het doel is de biologische afbreekbaarheid van slib te verbeteren door de moeilijk afbreekbare cel en vlokstructuren kapot te maken, waardoor er meer gemakkelijk afbreekbare componenten vrijkomen. Deze technieken zullen resulteren in een verhoging van de organische stof afbraak in de slibgisting en van de biogasproductie. Naast een verhoging van de biogasproductie, wordt een verlaging van de hoeveelheid af te zetten slib bereikt. Onder het begrip slib desintegratie of -destructie worden zowel mechanische, als ook thermische, biologische en chemische technieken, of een combinatie hiervan, bedoeld.

Deze technieken kunnen leiden tot volgende effecten:

- afbreken van grote slibvlokken tot kleinere deeltjes;
- toename contactoppervlak van deeltjes;
- mobilisatie en activering van aanwezige enzymen;
- (gedeeltelijk) openbreken van aanwezige cellen;
- rendementsverbetering van ontwatering;
- toename biogasproductie;
- bij aërobe toepassing: meer C-bron beschikbaar voor stikstofverwijdering.

Nieuwe ontwikkelingen zijn hieronder de Thermische Slib Ontsluiting (thermische slibdesintegratie), de desintegratie met ultrasoon geluid (mechanisch) en enzymen (biologisch). Deze technieken zullen hieronder kort worden toegelicht.

THERMISCHE SLIB ONTSLUITING*Algemeen*

Deze techniek wordt als extra processtap opgenomen om de biologische afbraak van het slib te verbeteren. Bij de thermische slibontsluiting is het proces gebaseerd op een hoge temperatuur (150-170 °C) en hoge druk (6-8 bar). Het effect van de toepassing hangt af van de keuze van temperatuur en behandelingsduur. De techniek wordt op praktijkschaal toegepast in voornamelijk Groot-Brittannië en Scandinavië, maar lijkt ook in Nederland toegepast te gaan worden.

Effecten

- verhoogde biogasproductie (tevens hoger methaangehalte), waardoor meer energieproductie mogelijk is;
- door de thermische hydrolyse neemt de viscositeit van het slib sterk af, waardoor het

mogelijk is om de slibgistingstanks met een hoog drogestofpercentage (8-12 % van het ingaande slib) te voeden. Voor nieuwe installaties kan dit leiden tot kleinere slibgistingsvolumes. Voor bestaande installatie ontstaat er restcapaciteit;

- verhoogde afbraak van organische stof in de slibgistingstanks, waardoor vermindering van de hoeveelheid af te zetten slib bij de eindverwerker;
- snellere slibgistingstijd doordat hydrolysetijd afneemt, met als gevolg kleiner slibgistingstank volumes;
- verbeterde ontwaterbaarheid uitgegist slib, zodat minder tonnen slib moet worden afgezet;
- door de verdergaande afbraak nemen de concentraties fosfaat en stikstof in het rejectiewater toe, waardoor deelstroombehandeling noodzakelijker wordt of de mogelijkheid ontstaat voor gedeeltelijke terugwinning van nutriënten (bijvoorbeeld struviet);
- toenemende toxiciteit;
- grotere bruto energiebehoefte in verband met de hogere temperaturen (netto energiewinst).

De geclaimde voordelen zoals de extra biogasproductie, verhoogde afbraak en verbeterde ontwateringseigenschappen leveren een belangrijk financieel voordeel op. Daartegenover staat, dat investeringen moeten worden gedaan om thermische slibontsluiting te realiseren.

Aandachtspunten

- hoge druk en hoge temperatuur vragen extra technische, bedrijfsvoeringstechnische en financiële inspanning (veiligheidssystemen, koeling, geur, etc.);
- verhoogd risico op NH_4 -toxiciteit;
- verhoogd risico voor schuimvorming (in slibgistingstank), scaling en verstopping (in warmtewisselaar);
- onderzoeken of (gewenste) resultaten voor indikresultaat, slibhoeveelheden en -samenstelling, uitgegist slibkwaliteit, samenstelling rejectiewaterstroom bereikt kunnen worden. Eventueel dienen aanpassingen gerealiseerd te worden ter verbetering van de slib- en filtraatverwerking;
- onderzoeken van energiebalans;
- toepassen van deze techniek vergt extra opleiding en kennis voor operationeel beheer en onderhoud.

DESINTEGRATIE MET DOOR CAVITATIE

Algemeen

Bij de toepassing van ultrasoon geluid worden drukkrachten en schuifkrachten direct overgedragen op het slib. Er wordt bij deze techniek cavitatie in het slib opgewekt door het slib in trilling te brengen. Onder cavitatie wordt verstaan dat de plaatselijke druk in een turbulent bewegende vloeistof (hier slib) lager is dan de dampdruk van de vloeistof. Tijdens de cavitatie treden lokaal hoge drukken en temperaturen op, waardoor er grote krachten worden uitgeoefend op het slib. De celstructuur wordt hierdoor opengebroken, waardoor de celinhoud met gemakkelijk afbreekbare componenten vrijkomt.

Effecten

- grotere slibreductie door verbeterde anaërobe afbraak van organisch materiaal;
- toename biogasproductie;
- verbeterde ontwaterbaarheid van het slib;
- verminderde schuimvorming in slibgistingstank;
- verbeterde energiebalans.

Op basis van het STOWA-rapport [7] zijn deze bovenstaande effecten niet altijd eenduidig aangetoond als voorbehandeling van de slibgisting. Recente lopende ontwikkelingen met slibdesintegratie bij Waterschap Scheldestromen en Waterschap Rijn en IJssel geven naar verwachting nieuwe inzichten.

Aandachtspunten

- type sonotrode en opstelling (richting en aantal van opgewekte trillingen);
- keuze voor gebruik van een of meerdere frequenties kan invloed hebben op oplosbaarheid van aanwezige CZV en de snelheid van omzetting tijdens fermentatie;
- mate van desintegratie sterk afhankelijk van drogestofgehalte, viscositeit en polymeer-toevoeging;
- slijtage als gevolg van abrasief materiaal (zand) in het slib;
- energie-input.

HYDRO DYNAMISCHE DESINTEGRATIE

Hydro dynamische desintegratie is het onder hoge druk persen van slib door een klein gaatje. Hierdoor ontstaat cavitatie net zoals bij de ultrasone behandeling van slib, zie daarom verder onder ultrasone behandeling van slib [7].

DESINTEGRATIE MET ENZYMEN

Algemeen

Bij deze desintegratietechniek leidt de activiteit van extra enzymen tot een verhoogde biologische hydrolyse van het slib en een toename van de reactiesnelheid. Enzymen katalyseren de afbraak van de celwand en dragen zo bij aan desintegratie van het slib. Daarbij worden verschillende enzymen voor verschillende omstandigheden toegepast. Bij het extern toevoegen van enzymen aan het slib wordt gebruik gemaakt van een enzymcomplex. Hiernaast zitten in de intracellulaire vloeistof van de bacteriën in secundair slib enzymen die vrijkomen bij mechanische desintegratie. De afbraak van slib door deze enzymen heet autolyse [7].

Effecten

- kan afbraak van drogestof en ontwatering verbeteren;
- kan schuimvorming bestrijden.

Aandachtspunten

- in praktijk nog lastig om effect van enzymen te kwantificeren, omdat bij de hydrolyse diverse enzymen een rol spelen (hierbij zijn veel chemicaliën nodig (voor pH-correctie) om omstandigheden te creëren);
- meer onderzoek nodig met verschillende types enzymen en procesomstandigheden.

Enzympreparaten worden al wel toegepast om overbelasting van slibgistingsinstallaties te voorkomen in gebieden met veel toeristen in een korte tijd, bijv. wintersportgebieden. De kosten zijn meestal te hoog om enzymen continu toe te passen [7].

VOEDEN MET HOGER DROGESTOFGEHALTES

Algemeen

Het voeden van een slibgisting met slib met een hoger drogestofgehalte komt overeen met het maximaliseren van slibverblijftijd in de slibgisting. Het is daardoor ook een mogelijke alternatieve methode bij een tekort aan slibgistingsvolume. Bepalend is daarbij de slibverblijftijd in de praktijk in relatie tot de verblijftijd in het ontwerp. Interessant is deze methode daarom voor slibgistinginstallaties met verblijftijden van 15 à 16 dagen. Er wordt dan uitgegaan van een drogestofgehalte van 12-15% in plaats van 3-7% (resultaat van gravitatie- of bandindikking) in de voeding van de slibgisting. Als randvoorwaarde moet naast de verpompbaarheid van het slib rekening gehouden worden met hoge gehalten van stikstof in de gisting en potentiële NH_4 -vergiftiging.

Voor het bereiken van dit hoge drogestofgehalte is de slibvoorbehandeling bepalend. Alleen mechanische indikking/ontwatering met bijvoorbeeld centrifuges in combinatie met dosering van poly-elektrolyet (PE) kan dit resultaat opleveren.

Effecten

- een kleiner slibgistingsvolume nodig per ton drogestof;
- extra kosten door vergaande indikking/ontwatering en de PE-dosering.

Aandachtspunten

- locatiespecifieke bepaling van benodigde instellingen/aanpassingen bij de voorbehandeling (aanpassing pompen, voldoende menging, type en dosering PE, etc.);
- menging in de slibgisting;
- verstoring van gisting door verhoging van concentraties (bijvoorbeeld NH_4^+);
- verhoging van concentraties in het rejectiewater.

4

ONTWERPRICHTLIJNEN

4.1 INLEIDING

Dit hoofdstuk geeft een inleiding in de ontwerprichtlijnen voor slibgistingsinstallaties voor communaal zuiveringsslib gericht op de actuele Nederlandse situatie. Deze leidraad is bedoeld als begeleidings- en toetsingdocument in het ontwerpproces van slibbehandelingsroutes waarin slibgistingsinstallaties een centrale rol innemen. In dit hoofdstuk wordt vooral ingegaan op de keuzes die gemaakt moeten worden ten aanzien van het aantal, de grootte van de slibgistingstank en de temperatuur van het slibgistingsproces. In hoofdstuk 4 wordt verder ingegaan op de technische aspecten bij het ontwerp en de keuzes ten aanzien van de diverse onderdelen van de slibgistingsinstallatie. De hier gegeven ontwerprichtlijnen zijn vooral gericht op de Nederlandse situatie bij toepassen van conventionele mesofiele vergisters.

In het algemeen wordt aanbevolen om gistinginstallaties redundant uit te voeren (minimaal twee tanks; afhankelijk van de schaalgrootte van de zuivering of slibverwerkingslocatie) waarbij rekening moet worden gehouden dat één van de tanks tijdelijk buiten bedrijf kan worden gesteld voor onderhouds- of renovatiewerkzaamheden. Daarvoor moet een gistingstank eigenlijk altijd leeg gezet kunnen worden (wat een tijdrovende en intensieve exercitie is). Ook voor de verwijdering van bijvoorbeeld zand uit de gisting dient een tank geleegd te kunnen worden.

4.2 ONTWERPMODELLEN SLIBGISTING

Hoewel er verschillende ontwerpmodellen zijn om een slibgisting te dimensioneren wordt het zogenaamde model van Chen en Hashimoto¹ veelvuldig toegepast. In dit model wordt de reductie van organische stof na gisting voor primair en surplusslib verschillende relaties worden aangehouden. De anaërobe afbraak wordt beschreven met:

$$\frac{R}{B} = \frac{\Theta - 1}{\Theta - 1 + K} \quad (3.1)$$

waarin:

- R = het percentage afbraak van de organische stof
- B = het maximum haalbare percentage afbraak
- Θ = de relatieve slibleeftijd (slibleeftijd gedeeld door minimum slibleeftijd voor methaangisting)
- K = de afbraakconstante.

De waarden voor de verschillende parameters voor primair en surplusslib zijn uitgaande van mesofiele gisting samengevat in deze zijn in goede overeenstemming met praktijkwaarden.

¹ Chen Y R & A G Hashimoto 1980. Substrate utilization model for biological treatment systems. *Biotechnology & Bioengineering* **22**: 2081-2095.

TABEL 4.1

PARAMETERS VOOR BEREKENING VAN HET PERCENTAGE AFBRAAK VAN DE ORGANISCHE STOF

Parameter	Eenheid	Primair slib	Secundair slib
Minimale sibleeftijd bij 30°C	d	3,0	3,0
Temperatuurfactor	-	1,07	1,07
Maximale reductie	%	65	40
Afbraakconstante	-	1,0	1,5
Biogasproductie	m ³ /kg DOS	0,8	0,6

Bij toepassen van thermische slibhydrolyse van secundair slib wordt de maximale afbreekbaarheid (reductie) verhoogd en verloopt het proces sneller (lager afbraakconstante). Ook bij thermofiele gisting verloopt het afbraakproces sneller. Het is hierbij wel de vraag of de totale afbraak hoger is dan bij een conventionele mesofiele gisting.

4.3 VERBLIJFTIJD EN VOLUME SLIBGISTINGSTANK

Met de gewenste verblijftijd en de geprognosticeerde slibaanvoer kan het volume van de slibgistingstank worden berekend. Het is raadzaam om bij het bepalen van het uiteindelijk te realiseren volume rekening te houden met het toepassen van buffers voor piekeliminaties in de slibstromen en mogelijke verstoring door sedimentophoping (zand/roostergoed) en de vorming van schuim. Ophoping van sedimenten kan voorkomen of beperkt worden door een goede roostergoedverwijdering en/of een zandvang in de waterlijn van de rwzi. Voor de problematiek omtrent schuimvorming wordt verwezen naar hoofdstuk 6.

Het is essentieel voor een goed functionerende slibgisting om zandverwijdering en roostergoedverwijdering doeltreffend in de waterlijn toe te passen of indien dat niet mogelijk is in de primaire en secundaire sliblijn voorafgaande aan de ingedikt slibpompen en de warmtewisselaars. Indien ook dat niet mogelijk is, dient in het ontwerp van de slibgistingstanks rekening te worden gehouden met een extra volume van 2 – 5%, de toepassing van versnijders (symptoombestrijding, geen oplossing) in de aanvoerpompen en de mogelijkheid om zand te verwijderen uit de slibgisting door bijvoorbeeld een zandaflaat te realiseren of een gistingstank uit bedrijf te kunnen nemen en manueel te legen (intensief en tijdrovend werk).

Schuimvorming in slibgistinginstallaties is ongewenst omdat het de bedrijfsvoering kan verstoren. Het kan verstoppingen en schade aan de biogasinstallatie opleveren. In het ontwerp van de slibgistinginstallatie kan hier op verschillende manieren rekening mee worden gehouden. Allereerst kan de installatie worden voorzien van een goede slibafvoer, zodanig dat gevormd schuim eenvoudig met het slib mee kan worden afgevoerd. Uit een recent STOWA-onderzoek naar schuimvorming in slibgistingstanks is gebleken dat het verbreden van de slibafvoer (uitgevoerd op rwzi Hengelo) of het voorzien van een aparte slibafvoerleiding op elke tank kan leiden tot vermindering van de schuimprobleem (STOWA, 2010-43). Een ander manier om in het ontwerp rekening te houden met ongewenste schuimvorming is om extra volume in de slibgistingstank te creëren tussen het slibafvoerniveau en de gasafvoer. In de slibgistingstank van rwzi Scheemda is een extra meter hiervoor aangehouden. Door deze extra hoogte zijn er vrijwel geen problemen meer door schuimvorming (STOWA, 2010-43).

4.3.1 HYDRAULISCHE VERBLIJFTIJD

De hydraulische verblijftijd voor een gemengde, conventionele anaërobie slibgistingstank wordt bepaald aan de hand van vergelijking 3-2. Hierbij wordt er bij het volume uitgegaan van het effectieve volume van de tank. Dit is altijd kleiner dan het berekende netto volume van

de tank op basis van de afmetingen van de tank. Zand, ophopingen van drijvend materiaal en dergelijke kunnen het tankvolume aanzienlijk verkleinen. Zo is bijvoorbeeld in 2007 bij het renoveren van een gistingstank met gasinblazing van 5.600 m³ ‘slechts’ 400 m³ aan zand er uit gehaald, maar ook 1.400 m³ aan ‘zwevende’ vezel/haarballen. Het netto volume van deze tank was dus nog maar 3.800 m³.

$$\theta = t = \frac{V_r}{Q} \quad (3.2)$$

met V_r = volume slibgistingstank [m³];

Q = voedingssnelheid [m³/d];

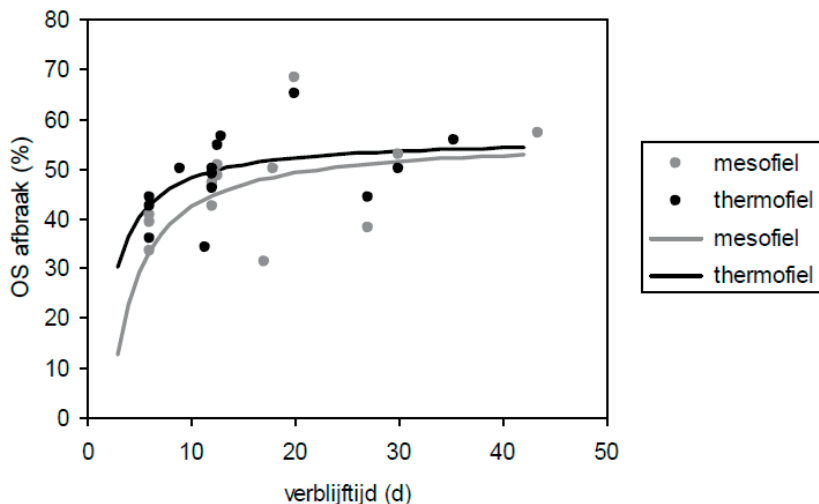
q = slibverblijftijd [d];

t = hydraulische verblijftijd [d].

Bij het ontwerpen van een slibgistingstank moet eerst de gewenste verblijftijd van het slib worden vastgesteld. Voor de verblijftijd van het slib in de slibgistingstank geldt dat pas vanaf een slibverblijftijd van circa 12 dagen een stabiel slibgistingsproces mogelijk is. Bij kortere verblijftijden is de kans op overbelasting zeer groot omdat de fluctuaties in de slibaanvoer kunnen leiden tot onvolledig afbraak, hoge vetzuurgehaltes in het effluent en een teruglopende biogasproductie, bovendien kan het herstel van de slibgisting enkele dagen of zelf weken in beslag nemen. Het effect van de verblijftijd op drogestof afbraak en biogasproductie kan met het model van Chen en Hashimoto berekend worden. Figuur 4.1 illustreert dit voor mesofiele en thermofiele gisting. Hieruit blijkt duidelijk dat bij kortere verblijftijden (< 25 dagen) bij thermofiele gisting meer slib wordt afgebroken dan bij mesofiele gisting.

In het ontwerp van een slibgistingsinstallatie speelt vooral een stabiele bedrijfsvoering een rol. Een stabiele bedrijfsvoering betekent dat de slibgistingsinstallatie in staat moet zijn om fluctuaties in de slibaanvoer eenvoudig te verwerken. Bovendien dient er rekening te worden gehouden met mogelijke ophoping van zand (en wellicht roostergoed). Als vuistregel is het voor de Nederlandse situatie raadzaam om voor een stabiele bedrijfsvoering van een slibverblijftijd van minimaal 20 dagen uit te gaan. Bij verblijftijden hoger dan circa 20 dagen wegen de geringe meer opbrengsten vaak niet meer op tegen de extra investeringen in een groter volume van de tank.

FIGUUR 4.1 THEORETISCHE (CURVES) EN PRAKTISCHE (PUNTEN) AFBRAAK VAN ORGANISCHE STOF TIJDENS DE SLIBGISTING ALS FUNCTIE VAN DE VERBLIJFTIJD



4.3.2 AFVLAKKEN VAN PIEKAANVOER

Voor het ontwerp van de slibgisting is het voortschrijdend gemiddeld slibdebiet na indikking over ongeveer 20 dagen van belang. Het volume dient echter kritisch te worden beschouwd in relatie tot de volgende aspecten:

- pieken in de slibproductie;
- (hydraulische) pieken in de indikking van primair en secundair slib;
- verschil in slibproductie in winter- en zomerperiode;
- verwerking van extern slib;
- verwachte toename tijdens de levensduur van de slibgisting.

Pieken in de slibproductie kunnen bijvoorbeeld ontstaan wanneer na een lange periode van droogte een rwzi een grote hoeveelheid aan gesuspendeerd materiaal krijgt te verwerken via bijvoorbeeld de zogenaamde “first flush” bij een zware neerslaggebeurtenis. Bij toepassing van voorbezinking kunnen deze pieken deels worden opgevangen via de voorbezinktank of deels in een voorindikker. Daarbij moet in het ontwerp wel gelet worden op functiescheiding van verschillende processen. Een voorbezinktank is om deeltjes af te vangen, een indikker is om slib in te dikken en een buffer is om pieken uit te vlakken. De invloed op de slibgisting door de variatie in slibvracht uit vooral de beluchtingstank kan worden ondervangen door de indikprestaties van de mechanische indikking te variëren van het minimale slibgehalte van 3% ds naar het maximum slibgehalte van circa 8% ds. Daarmee wordt het slibdebiet naar de slibgisting beperkt tot ongeveer hetzelfde debiet als het 20-daags voortschrijdend gemiddeld slibdebiet. Hierbij dient wel te worden bedacht dat de organische-stofbelasting wel toeneemt en er dus ook een toename van de gasproductie is te verwachten, evenals de kans op overbelasting. Dit laatste kan weer leiden tot een hoger risico van verzuring. Aandacht moet daarbij ook uitgaan naar een grotere kans op verzuring van de slibgisting door een hogere aanvoer van organisch materiaal.

Met de huidige stand der techniek wordt primair slib veelal gravitair ingedikt. Wanneer het gewenst is het ingaand drogestofgehalte naar de slibgisting te verhogen, kan mechanische indikking van primair slib worden overwogen. Secundair slib wordt tegenwoordig vrijwel altijd mechanisch ingedikt waardoor met toepassing van PE de indikgraad, of via een geringe mate van buffering in de beluchting, de hydraulische piek en daarmee de verblijftijd van het slib in de slibgisting kan worden afgevlakt. Uitgangspunt daarbij is dat onder hogere hydraulische aanvoer het drogestofgehalte van het slib in de aanvoer naar de slibindikking lager is en dat door de vaste indikprestatie extra vrij water wordt verwijderd. Veelal wordt de slibgisting ontworpen op het 20-daags voortschrijdend gemiddeld slibdebiet en -vracht, gecorrigeerd met:

- een piekfactor van bijvoorbeeld 1,1 ten opzichte van de aanvoer van de indikking;
- een slibdoorzet over de indikking van 95 % (5 % slibdebietverlies naar de slibgisting).

Voor de slibproductie wordt doorgaans gerapporteerd in jaarvrachten en wordt op basis daarvan de jaargemiddelde verblijftijd in de slibgisting berekend. Om een voortschrijdend gemiddelde van minimaal 20 dagen over het gehele jaar te handhaven, is het verstandig om rekening te houden met de seizoensinvloeden. Onder invloed van de temperatuur in de beluchtingstank zal de slibproductie bij gelijkblijvende slibbelasting in de winter 10 tot 20% hoger liggen dan in de zomer. Dit is gerelateerd aan de lagere afbraaksnelheid bij lagere temperaturen. In de praktijk kan deze variatie worden ondervangen door in de winter en zomer een ander slibgehalte in de beluchtingstank in te stellen. Indien dit niet mogelijk is, moet bij het ontwerpen van de slibgisting met deze variatie rekening worden gehouden. Verder wordt in het voorjaar/zomer bij diverse rwzi's het slibgehalte in de beluchtingsruimte verlaagd. Hierbij

speelt de veronderstelling van de aanwezigheid van moeilijk afbreekbare stoffen (zoals cel-lulose) een belangrijke rol. Dit betekent dat extra slib wordt gespuid, en als gevolg een extra piek in secundair slib die wordt afgevoerd. Bij het ontwerp van de slibgisting moet bekeken worden wat deze piek betekent en/of hierop ontworpen moet worden.

Bij het toepassen van een centrale slibgistingslocatie moet bij het ontwerpen van de slibgisting rekening worden gehouden met de dynamiek en de variatie in het verwerken van externe slibvrachten. Deze slibvrachten moeten goed in de prognose van de totale slibvracht worden meegenomen. Afvlakking van de dynamiek in externe slibvrachten kan worden verzorgd door een adequaat ingerichte sliblogistiek. Binnen deze sliblogistiek zijn het plaatsen van slibbuffers (op één of meerdere rwzi's) en het maken van goede afspraken met de transporteur belangrijke onderwerpen.

De operationele verblijftijd in de slibgisting zal in de praktijk overigens vaak langer zijn doordat in de praktijk de slibgisting met het gemiddelde slibdebiet wordt gevoed. Ondanks dat pieken in de afvoer van de indikking naar een volledig gevulde slibgisting zorgen voor een momentane verkorting van de slibverblijftijd in de slibgisting (wat er in gaat komt er ook direct uit) zal dit voor de operationele verblijftijd van het verse slib in de slibgisting niet direct gevolgen hebben aangezien de pieken gevolgd worden door een lagere slibaanvoer. Het vers ingevoerde slib zal zodoende op basis van het 20-daags voortschrijdend gemiddelde nog steeds operationeel 20 dagen in de slibgisting verblijven. Hetzelfde geldt voor het slib dat door de piekaanvoer uit de slibgisting is verdreven.

Bij de uitbreiding van rwzi's met een bestaande slibgisting wordt niet zonder meer extra gistingvolume bijgebouwd. Dit betekent dat al naar gelang de slibproducties toenemen slibgistingen hydraulisch hoger worden belast en bedreven worden bij kortere verblijftijden. Vermits de verblijftijd hoger is dan de minimale benodigde verblijftijd is dit voor de stabiliteit van het gistingproces geen probleem. Als de verblijftijd te kort wordt kan gekozen worden voor:

- verdergaande indikking van slib waardoor de hydraulische belasting afneemt en de verblijftijd weer toeneemt.
- slechts een deel van het slib te vergisten zodat de verblijftijd voldoende hoog blijft.

Bij vergaande slibindikking zal wel gecontroleerd moeten worden dat de specifieke drogestofbelasting van de slibgisting niet te hoog wordt. Verder kan worden opgemerkt dat bij toepassing thermische hydrolyse en/of thermofiele slibgisting kortere verblijftijden kunnen worden toegepast dan bij een conventionele mesofiele slibgisting. Als het aanwezige slibgistingvolume te klein is om al het slib te vergisten kunnen ook deze opties worden overwogen.

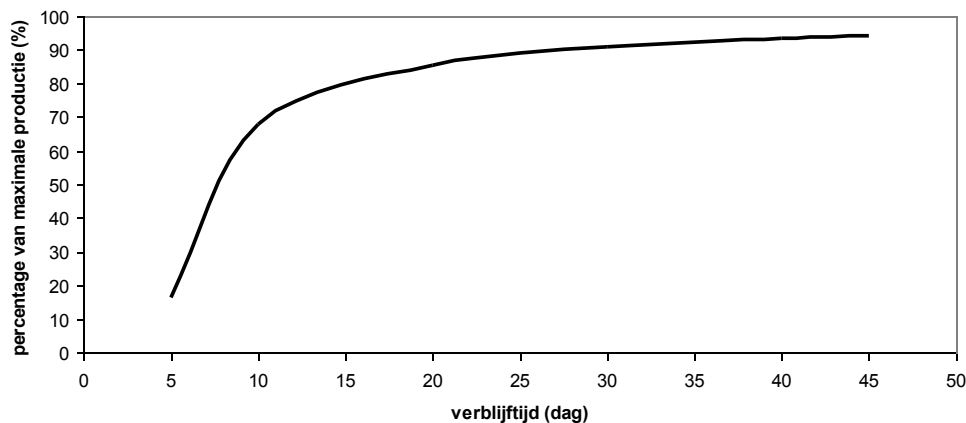
4.3.3 ECONOMISCHE AFWEGING VAN DE VERBLIJFTIJD

De verblijftijd is een afweging tussen de biogasopbrengst en de exploitatiekosten van de slibgistingsinstallatie. Een hoge biogasopbrengst wordt bereikt wanneer een lange verblijftijd (>=30 dagen) wordt gekozen, maar dit gaat gepaard met een groter volume en dus hogere investeringskosten. Dit wordt geïllustreerd aan de hand van Figuur 4.2.

Er is echter een punt waarop de extra opbrengst door een langere verblijftijd niet meer opweegt tegen de kosten die nodig zijn voor realisatie en exploitatie van een grotere slibgistingsinstallatie. Het uiteindelijke optimum tussen de gekozen verblijftijd en de exploitatiekosten is afhankelijk van de kosten die van toepassing zijn. Deze kosten zijn:

- kapitaalslasten;
- onderhoudskosten;
- kosten voor personeel;
- chemicaliën;
- verwerking extra N en P vracht in waterlijn.

FIGUUR 4.2 RELATIEVE METHAANPRODUCTIE ALS FUNCTIE VAN DE VERBLIJFTIJD



Deze kosten worden vervolgens afgewogen tegen de baten van een slibgisting welke zijn:

- vermeden elektriciteitsinkoop;
- reductie in sibeindverwerkingskosten;
- reductie in operationele kosten slibontwatering.

Uit Figuur 4.2 kan ook worden afgeleid dat als bij een waterschap niet al het slib wordt vergist en de gisting bedreven wordt bij een verblijftijd van 25 dagen, gekozen kan worden om meer slib te vergisten bij een kortere verblijftijd (bijvoorbeeld 20 dagen). Door de hogere doorzet van slib in de gisting kan de biogasproductie in m³/dag dan toch hoger zijn ondanks de kortere verblijftijd. Ook hier zullen economische overwegingen mede bepalend zijn.

4.3.4 SLIBAANVOER

Het debiet van de te vergisten slibstroom kan worden geminimaliseerd door het slib zover mogelijk in te dikken. Voor reductie van het slibvolume wordt daarom het drogestofgehalte verhoogd van de ingaande slibstroom. Het drogestofgehalte dat wordt gehanteerd heeft invloed bij het bepalen van het gewenste volume. Voordelen van een kleiner slibgistingvolume zijn:

- kleiner benodigd slibgistingvolume (kostenbesparing);
- minder energie nodig voor opwarming;

Het te kiezen drogestofpercentage is naast invloed op het benodigde volume tevens belangrijk bij de keuze voor het type pomp, menger en de warmteoverdracht. Voor het volume van de tank is het voordelig de slibgistingstank te voeden met een zo hoog mogelijk drogestofgehalte. Als het slib echter te dik wordt kunnen problemen ontstaan met het verpompen van het slib en het verwarmen met externe warmtewisselaars. Ook het energieverbruik van slibpompen zal bij dik slib sterk toenemen. Een optimaal drogestofgehalte ligt tussen de circa 4-8% drogestof en is afhankelijk van het mengsysteem. Bij gasinblazing ligt het maximum drogestofgehalte bij circa 6%, terwijl bij mechanische mengsystemen tot wel 9% kan worden gegaan. Een gemiddeld drogestofpercentage van meer dan 6% in de slibgisting is bij de communale afvalwaterbehandeling in Nederland een unicum. Veelal wordt bij moderne grootschalige

slibverwerking een range van 4 tot 5% DS gehanteerd. Een minimum drogestofgehalte heeft vooral te maken met de hoeveelheid warmte die benodigd is. Bij een laag drogestofgehalte (<2%) is zeer veel warmte nodig om de gehele slibstroom op te warmen. Verder is de kans op schuimvorming bij heel dun slib groter dan bij dikker slib (STOWA 2010-34).

Bij bestaande slibgistinginstallaties wordt het drogestofgehalte beperkt door de beschikbare pompen en mengtechnieken. Bij drogestofgehalten boven de 9% wordt het moeilijker het slib te verpompen zonder dat er operationele problemen ontstaan in de slibgistingstank met de menging. Om problemen met de menging bij gasinblaaslanzen te voorkomen wordt aanbevolen om het ingaande slib niet verder in te dikken dan 6%. Een concentratie van 6% in de aanvoer betekent in de slibgisting een drogestofgehalte dat circa 30% lager ligt, omdat een deel van de organische stof wordt afgebroken. Voor mechanische mixers kan de ingaande drogestof concentratie hoger liggen (tot maximaal 9%). Dit wordt onder andere toegepast op de rwzi Elburg.

Bij bovenstaande is nog uitgegaan van de huidige stand der techniek. Op dit moment wordt in Nederland op sommige plaatsen thermische ontsluiting getest. Door de hydrolyse die het gevolg is van de thermische ontsluiting wordt de viscositeit van het slib sterk verlaagd, waardoor het mogelijk is drogestofconcentraties van 11 – 12% toe te passen (STOWA, 2010-34). Daarnaast kunnen ook hogere drogestof gehalten worden toegepast als wordt uitgegaan van mechanische menging van de slibgisting en wandverwarming om de slibgistingstank op temperatuur te houden. Wandverwarming wordt bij communale slibgisting in Nederland nog slechts op enkele rwzi's toegepast (o.a. Harderwijk en Elburg); bij mestvergisting wordt het systeem meer toegepast. Bij wandverwarming of andere interne verwarmingssystemen zijn geen externe warmtewisselaars nodig waardoor de kans op verstoppingen van slib in de aanvoer naar de slibgisting kan worden vermeden. Wel is het bij dit soort systemen belangrijk dat de gistingstank goed wordt gemengd om voldoende warmteoverdracht te krijgen. De vraag of voldoende warmteoverdracht aanwezig is zal bij het ontwerp moeten worden nagegaan. Het kan echter voorkomen dat interne circulatie tot onvoldoende warmteoverdracht zorgt.

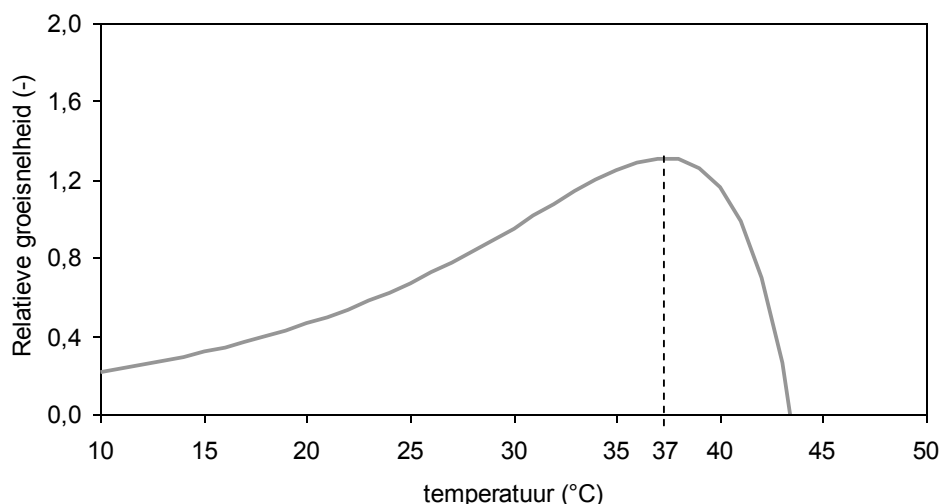
4.3.5 SLIBBUFFERVOORZIENINGEN

Een stabiele aanvoer van slib is belangrijk voor een zo optimaal mogelijke slibgisting. Dit geldt voor de hoeveelheid slib en de kwaliteit van het slib. Dit betekent dat naast de slibgisting voldoende buffervoorzieningen moeten worden getroffen voor de vergisting van de op locatie geproduceerde primair en/of secundair slib en eventueel extern aangevoerd slib. De benodigde buffercapaciteit volgt uit de gemiddelde en de maximale slibproducties. Bij vergisting van externe slibben zal bij het vastleggen van de benodigde buffercapaciteit rekening moeten worden gehouden met de buffervoorzieningen op de locatie van herkomst en de logistiek.

4.4 TEMPERATUUR

Voor een goede bedrijfsvoering van de slibgisting is de temperatuur van groot belang. Deze moet zo constant mogelijk worden gehouden en niet te snel fluctueren. Figuur 4.3 geeft het verloop van de relatieve groeisnelheid van mesofiele bacteriën weer. Zoals uit de figuur blijkt verandert de groeisnelheid aanzienlijk bij wijziging van de temperatuur. Hierdoor wordt de kans op uitspoeling van actieve biomassa groter als de temperatuur wijzigt. Voor het slibgistingsproces is het daarom van belang dat grote temperatuurschommelingen worden vermeden.

FIGUUR 4.3 VERLOOP VAN DE ACTIVITEIT VAN MESOFIELE BACTERIËN



In Figuur 4.3 is ook te zien dat de hoogste groeisnelheid van de mesofiele bacteriën wordt bereikt tussen de 35 en 38 °C. Afwijking van deze range zorgt snel voor vermindering van de activiteit, vooral bij hogere temperaturen. Daarom worden de meeste slibgistingstanks tussen de 30 en 35°C bedreven. Een nog lagere temperatuur betekent vermindering van de drogestofafbraak en de biogasproductie. Dit is voor Nederland in de winter het geval wanneer het moeilijker is een constante hoge temperatuur te handhaven zonder het bijstoken van aardgas. In deze situatie kan het de voorkeur hebben de slibgisting op een temperatuur te bedrijven die lager ligt dan de meest optimale temperatuur, maar die wel constant kan worden gehouden. Dit omdat met name methanogene bacteriën zeer gevoelig zijn voor temperatuurschommelingen (Ross et al., 1992). Wel moet de temperatuur zodanig worden gekozen dat de slibgisting stabiel verloopt.

4.5 MESOFIEL VERSUS THERMOFIEL

De benodigde verblijftijd voor een goede organische stofafbraak in een slibgisting is afhankelijk van de toegepaste temperatuur, zie ook paragraaf 2.3.3. Mesofiele slibgisting is wereldwijd het meest toegepaste proces vanwege de stabiliteit. De rendementen van mesofiele slibgisting zijn bij de in de praktijk toegepaste verblijftijden echter lager in vergelijking tot thermofiele slibgisting. Voordelen van thermofiele slibgisting ten opzichte van mesofiele slibgisting zijn:

- een kortere verblijftijd → besparing bouwkosten;
- vollediger afbraak → meer biogas en een kleinere slibvracht;
- betere navolgende ontwaterbaarheid.

Nadelen van thermofiele slibgisting kunnen zijn:

- het hogere energieverbruik voor de benodigde opwarming;
- hoger ammonium- en fosfaatgehaltes in het slibwater (als gevolg van hoger afbraakpercentage);
- een geringere processtabiliteit, waardoor kritischer met het optreden van pieken moet worden omgegaan; Bij een goed bedrijf en ontwerp is thermofiele gisting wel een stabiel proces.

5

SYSTEEMKEUZE

5.1 INLEIDING

In dit hoofdstuk wordt verder ingegaan op de technische aspecten bij het ontwerp en de keuzes ten aanzien van de diverse onderdelen van de slibgistinginstallatie. Nadat een keuze is gemaakt ten aanzien van de verblijftijd en het temperatuur traject en hoe om te gaan met piekaanvoeren, dient vervolgens een keuze te worden gemaakt voor het type tank, het meng- en verwarmingssysteem en dergelijke

5.2 AANTAL SLIBGISTINGSTANKS

Over het aantal gistingstanks dat voor een rwzi noodzakelijk wordt geachte verschillende de meningen. Vanuit oogpunt van investeringskosten is een zo laag mogelijk aantal tanks over het algemeen aan te bevelen. Echter vanuit flexibele, robuuste en redundante bedrijfsvoering is een zo groot mogelijk aantal tanks voordelig. Per locatie en ambitie van de beheerder dient daarom een afweging te worden gemaakt over het optimum aantal tanks. Vanuit dit handboek wordt aanbevolen om zeker voor centrale slibverwerkingsinstallaties minimaal twee onderling uitwisselbare tanks toe te passen om onderhoud en calamiteitensituaties zo veel mogelijk beheersbaar te houden. Hierbij dient de verblijftijd van de individuele tanks zo gekozen te worden dat bij normaal bedrijf een verantwoorde verblijftijd wordt gehandhaafd (bijvoorbeeld 20 - 30 dagen, zie ook 4.4 en verder) en in geval van onderhoud of calamiteitensituatie een minimale slibverblijftijd van 12 - 15 dagen wordt gegarandeerd.

Indien ervoor gekozen wordt om (vanuit kostenbesparing) slechts één tank te realiseren dient deze voorzien te worden van de nodige bijpassvoorzieningen om bij calamiteiten of urgent onderhoud de slibgistingtanks te kunnen leegzetten. In de sliblogistiek van de bedrijfsvoerder dient dan rekening gehouden te worden met uitval van de slibgisting gedurende minimaal vier weken en moet elders slibgistingcapaciteit aanwezig te zijn of geaccepteerd te worden dat tijdelijk geen gisting plaatsvindt.

Uitgangspunt bij het ontwerp van de slibgistingstank is een gemiddelde verblijftijd van 20 dagen bij de aanvoer van de maximale slibaanvoer voor primair, secundair en eventueel extern slib. De keuze van het aantal tanks wordt bepaald door:

- de bouwwijze: goedkopere industriële bouw (type mestvergister, uitvoering in staal, prefabsystemen) kan tot een volume van circa 3.000 m³. Indien op basis van de uitgangspunt een groter volume nodig is, dient voor meer tanks of een andere bouwwijze gekozen te worden;
- de grootte van de rwzi's; bij een grootte van de rwzi van circa 300.000 i.e., of bij rwzi's, die dienst doen als centrale slibgistinglocatie zijn twee of meer tanks veelal goedkoper;
- twee of meer tanks indien er hoogtebeperkingen zijn uit hoofde van bestemmingsplan of indien er hogere eisen worden gesteld aan de redundantie;
- één slibgistingstank bij kleinere rwzi's (met uitwijkmogelijkheden in de sliblogistiek);

- één centrale slibgistingstank indien uit financieel economische overweging blijkt dat de kosten van meerdere tanks niet opwegen tegen de grotere dimensionering van de slibverwerkingsapparatuur.

In principe zijn er geen technologische beperkingen aan de grootte van een slibgistingstank. Bij interne mengsystemen is de technische beperking van een afmeting van een gistingstank veelal ingegeven door de menging. Hoe groter de tank, hoe lastiger het wordt om de inhoud optimaal te mengen. Hierbij is ook de hoogte/diameterverhouding van belang. Toepassing van (meerdere) grote roerwerken of veel gaslansen kennen technische limitaties en kunnen in onderhoud en bedrijfsvoering tot beperkingen leiden. Goede modellering (bijvoorbeeld CFD-modellering) van het menggedrag in de slibgistingstank is daarom aan te bevelen.

In verband met onderhoud en leveringszekerheid is het bij grotere rwzi's met centrale slibgisting gunstig om de slibgistinginstallatie op te bouwen uit minimaal twee slibgistingstanks. Eén enkele grote slibgistinginstallatie (binnen zekere grenzen) is goedkoper om te construeren, maar brengt meer risico's met zich mee in geval de gisting uit bedrijf gaat (storing) of uit bedrijf moet (onderhoud). Door voldoende buffering in het systeem en de dimensies van de slibontwatering te vergroten (uitgestist slib is circa 30% minder dan niet uitgestist slib) en door het toepassen van een goed beheersbare bypass en uitwijkroutes kunnen de nadelen van één grote slibgistingstank overigens worden verminderd.

5.3 CONSTRUCTIEVE ASPECTEN VAN SLIBGISTINGSTANKS

Slibgistingstanks komen over het algemeen voor bij grote rwzi's met voorbezinktanks. Hierdoor hebben de meeste slibgistingstanks een relatief groot volume. Er zijn in principe geen (constructieve) begrenzings aan het tankvolume. Tankvolumes tussen de 1.000 tot 10.000 m³ komen voor, zoals toegepast op de rwzi Amsterdam-West, op rwzi Harnaschpolder of op rwzi Nieuwveer.

In Nederland worden cilindrisch gevormde tanks het meest toegepast. Dit hangt samen met de bouwkosten, de toegestane bouwhoogte en de toegepaste mengtechniek. Slibgistingstanks 1,5-2,0 m onder het maaiveld funderen heeft de volgende voordelen:

- droge grond is een relatief goede isolator (bij hoge grondwaterstand dient rekening gehouden te worden met eventuele afkoeling door koud grondwater);
- er kan een groter volume worden gebouwd zonder dat de maximale bouwhoogte wordt overschreden;
- aansluitend leidingwerk en putten kunnen op gelijk bodemniveau worden gefundeerd.

Voor de hoogte/diameterverhouding van de tank wordt veelal een verhouding aangehouden van circa 1:1 à 1:1,5. Als meest optimale waarde wordt voor de verhouding hoogte/diameter een waarde van 0,8 aangehouden. Daarnaast is het van belang dat de tank goed is geïsoleerd om zodoende warmteverliezen via straling en convectie naar de omgeving te minimaliseren. Hiertoe wordt de wand geïsoleerd met een thermisch isolatiepakket en afgewerkt met een buitenbeplating. Met behulp van een slibpomp wordt het verse slib regelmatig verspreid over de dag, gevoed aan de slibgistingstank. Hiertoe is een statische opvoerhoogte benodigd ter hoogte van de slibgistingstank, waarbij middels hydraulische berekeningen de dynamische opvoerhoogte moet worden opgeteld.

Slibgistingstank kunnen worden uitgevoerd in staal en in beton. Bij de communale rwzi's worden verreweg de meeste tanks in beton uitgevoerd. Er zijn echter ook slibgistingstanks

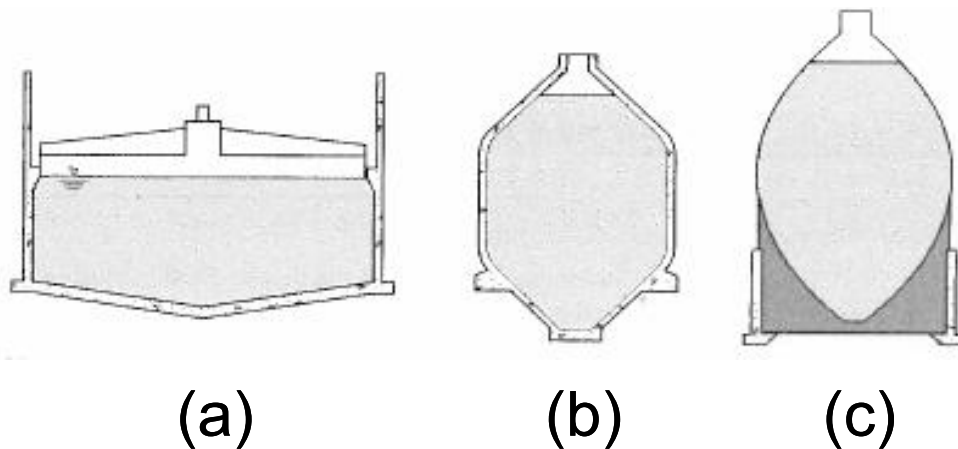
in staal uitgevoerd, bijvoorbeeld op de rwzi Olburgen en rwzi Deventer. Bij kleinere slibgistingstanks van industrieën en bij mestvergisting worden slibgistingstanks vaker in staal uitgevoerd. Door de toenemende verhoging van de efficiëntie bij het bouwen van betonnen tanks middels een zogenaamde glijbekisting, zijn de kosten voor het bouwen van grotere slibgistingstanks gedaald. Wanneer een tank kleiner wordt dan circa 5.000 m³, is een verkenning naar de toepassing van een stalen tank te overwegen. Naast de kosten van beton of staal kan bij de afweging ook worden meegenomen welk materiaal duurzamer is.

De uitvoering van menging is tevens van invloed op de keuze van de dakconstructie van de slibgistingstank en daarmee de materiaalkeuze. Bij de toepassing van mechanische menging moet rekening worden gehouden met optredende krachten van het menglichaam. Bij de toepassing van zogenaamde gasmenging moet rekening worden gehouden met de diverse doorvoeringen van de gaslansen.

5.4 VORM VAN DE SLIBGISTINGSTANK

In Figuur 5.1 zijn de meest voorkomende vormen slibgistingstanks weergegeven die wereldwijd worden toegepast. De cilindrische slibgistingstank (type a, met gashouder boven gisting) komt het meeste voor in Amerika en Nederland, al worden in Amerika de laatste jaren vooral de eivormige slibgistingstanks gerealiseerd (type c). De slibgistingstank type a en b wordt het meest toegepast in Europa.

FIGUUR 5.1 MEEST VOORKOMENDE VORMEN SLIBGISTINGSTANKS (A) CILINDRISCH, (B) CILINDRISCH MET CONISCHE ONDER- EN BOVENKANT, (C) EIVORMIG. UIT TCHOBANOGLIOUS ET. AL, 2003)



De vorm van de slibgistingstank heeft invloed op:

- het ontwerp van het mengsysteem;
- ophoping / verwijdering van zand/roostergoed (vooral operationeel);
- warmtehuishouding.

Naast bovengenoemde aspecten speelt ook het aspect kosten voor bouw (complexiteit constructie) een belangrijke rol bij de overweging welke vorm tank wordt gekozen. Op basis van dit aspect leidt de cilindrische tank (type a) tot de laagste bouwkosten (zie ook bijlage 3). Door de platte bodem kan gemakkelijk sediment ophopen en weer verwijderd worden (toegang tot gisting is van groot belang: bij voorkeur grote opening om met kleine graafmachine of Bobcat de tank te kunnen ruimen), ook doordat menging in dit type tank niet optimaal is en het aflaten van opgehoopt sediment complex is. De eivormige tank (type c) wordt gezien

als de tank die het beste scoort op menging en dus het voorkomen van sedimentophoping, door de gunstige oppervlakte / inhoud ratio scoort deze tank ook het beste op warmtehuishouding (afhankelijk van de isolatiemethode). Echter door zijn vorm leidt deze tank wel tot de hoogste bouwkosten. De slibgistingstanks die het meest in Europa wordt toegepast bevindt zich tussen de twee andere vormen in (type b). Door de conische boven- en onderkant wordt een betere menging verkregen dan in de cilindrische tank, maar is deze weer minder dan in de eivormige tank. Ook qua kosten zal deze tank tussen de beide andere tanks in liggen. In Nederland hebben de meeste tanks wel een conische bodem, maar vaak wel een platte bovenkant (type a; zonder gashouder boven op gisting).

5.5 SLIBAFVOER UIT SLIBGISTINGSTANKS

Om het slibniveau in de slibgistingstank, onafhankelijk van metingen en of beveiligingen constant te houden, wordt in slibgistingstanks veelal een overloopsysteem toegepast. Daarnaast wordt ter beveiliging naast de normale overloop een noodoverloop gerealiseerd indien de normale overloop via verstopping niet meer functioneert. Naast deze dubbele overloop is het raadzaam om in slibgistingstanks met drijf- en schuimlaagproblemen een aparte overloop te maken voor de drijfslagverwijdering. In de optimale situatie wordt de slibtoevoer zo gelijkmatig mogelijk wordt gespreid over de dag. Ladingsgewijze voeding van de slibgistingstank (zoals twee tot driemaal daags een grote hoeveelheid) is nadelig voor stabiliteit van de slibgisting. Dit kan resulteren in zones met koud vers slib op de bodem en een sterk fluctuerende gasproductie. Bij te hoge pieken in biogasproductie als gevolg van ladingsgewijze voeden kan het voorkomen dat biogas moet worden afgefakkeld of gespuid. Veelal zijn bij bestaande slibgistingstanks de voedingspompen nog niet frequentie gestuurd, waardoor de slibgisting wordt gevoed met een vast debiet gedurende een bepaalde tijd per uur.

5.6 MENGING

Menging van slibstromen is belangrijk voor een gecontroleerd slibgistingsproces. Het slib in de slibgistingstank moet gemengd worden om de volgende redenen:

- vers slib opmengen met het slib dat al gistend in het warmtecircuit of de slibgistingstank aanwezig is;
- homogenisatie van slibsamenstelling (primair, secundair, extern) in slibgistingstank;
- voorkomen dat het geproduceerde gas wordt ingesloten door het slib en het slibvolume gaat toenemen;
- vorming van een drijfslag en schuim tegengaan (dit is echter een subdoel aangezien drijfslagen en schuim via goed ontworpen aflatconstructies dienen te worden verwijderd);
- bezinking van vaste stoffen tegengaan (idealiter zijn deze delen door zand- en roostergoedverwijdering in de water- of sliblijn al uitgehaald).

Om een goede menging te realiseren bij een bepaald type tank dient een keuze te worden gemaakt voor een bepaald type mengsysteem. Het toe te passen mengsysteem moet aan de volgende eisen voldoen:

- geschikt voor mengen van ingaand slib met uitgestig slib (ingaand DS-gehalte kan variëren van 2- 10%);
- voorkomen van (zand)afzettingen;
- zeer grote beschikbaarheid (onderhoudsarm);
- zeer grote betrouwbaarheid (storingsarm);

- onderhoud aan het mengsysteem moet kunnen plaatsvinden zonder de tank leeg te zetten;
- een zo laag mogelijk energieverbruik;
- optreden micromilieus.

De hoeveelheid mengenergie die wordt toegevoegd hangt af van welk mengsysteem is geïnstalleerd (zie paragraaf 3.3.1) Grenzen zijn zeer moeilijk te geven, mede doordat soms ook aan de effectiviteit van menging wordt getwijfeld. Een aantal nadelen van te hard mengen zijn bijvoorbeeld:

- energievernietiging;
- destabilisatie van slibvlokken;
- ontstaan van fijn slib, met nadelige gevolgen voor de slibontwatering.

Voor het mengen zijn verschillende systemen beschikbaar:

- externe menging voorafgaande aan het gistingproces en de warmtewisselaars
- rondpompsysteem, intern via een stijgbuis of extern via een buiten de tank geplaatste pomp;
- roerwerk (langzaam of sneldraaiend);
- pompbuis met open vijzel;
- gasinblazing;
- het zogenaamde Heatamix-systeem.

5.6.1 EXTERNE MENGING

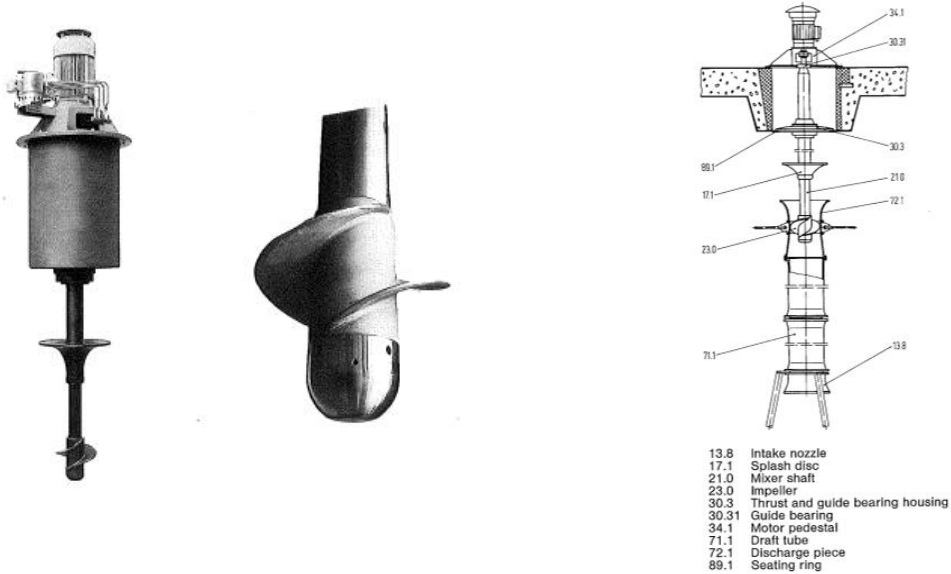
Bij externe menging wordt het verse primaire, secundaire en (eventueel) externe slib in een af te stemmen verhouding (ingegeven door de warmtebalans van de slibgistingstank) met het over de warmtewisselaars circulerende gistende slib gemengd door injectie van het verse slib in de slibcirculatieleiding. Menging vindt dan plaats in de aanvoerleiding de warmtewisselaar en de slibgisting zelf. Indien een juiste aanvoer aan de onderkant van de tank wordt gerealiseerd met de juiste afvoer aan de boven kant, is interne menging niet nodig aangezien het gistingproces zelf mede door gasproductie mengend werkt.

5.6.2 MENGING DOOR INTERN RONDPOMPSYSTEEM

Rondpompsystemen kunnen zowel intern als extern uitgevoerd worden. Bij het externe rondpompsysteem is het lastig kortsluitstromingen in de tank te voorkomen (CFD-modellering kan hier uitsluitel over geven) en wordt daarom vrijwel niet meer toegepast. Het grote voordeel is wel dat de hele pompinstallatie goed bereikbaar is. In deze paragraaf wordt verder enkel ingegaan op interne rondpompsystemen. Het interne rondpompsysteem, ook wel bekend als het Halberg-systeem (Sterling SIHI), bestaat uit een centrale verticale buis (draft tube) met daarin een buisaxiaalpompe (open vijzel), zie Figuur 5.2.

FIGUUR 5.2

MENGER SIHI HALBERG



Deze vorm van menging is in het verleden vaak toegepast en vooral in Duitsland veelvuldig toegepast. De tankbodem en het dak worden bij dit mengsysteem bij voorkeur conisch uitgevoerd om het gewenste stromingsprofiel in de slibgistingstank te bevorderen.

Een tweede voorbeeld hiervan is het 'Columbus'-concept, waarbij de bodem conisch is uitgevoerd. Om het rondpompsysteem beter te laten functioneren zijn slibgistingstanks ook wel eivormig gebouwd (vooral in Duitsland).

In het geval een drijfslaag ontstaat kan de draairichting van de circulatiepomp worden omgekeerd, waardoor de drijfslaag wordt gebroken. Aan de pompas wordt een schijf voorzien, die de drijfslaag moet breken. Tot een straal van circa 3 m uit de pompas heeft deze schijf invloed op de drijfslaag.

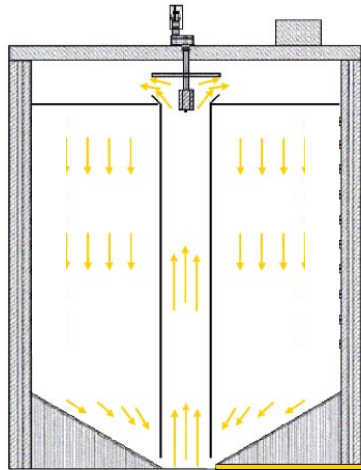
Ten opzichte van een cilindrische tank met vlakke bodem zijn de bouwkosten van een conische bodem hoger. Met de conische bodem wordt:

- zandophoping (bij voorkeur al vooraf verwijderen) en ander afzettingen onderin de tank vermeden;
- het vrije oppervlak voor een eventuele drijfslaag beperkt gehouden; met een 'spatschijf', gemonteerd op de pompas, wordt een eventuele drijfslaag gebroken; maar nog niet verwijderd;
- een hoge mengefficiëncy gerealiseerd. De benodigde mengenergie met deze bouwvorm en toegepaste menger bedraagt 0,5-1 W/m³ slibgistingvolume;
- volgens leveranciers, de kans op schuimvorming gereduceerd; in Boston zijn zowel gasinblazing als het Halberg-rondpompsysteem naast elkaar in bedrijf geweest; bij gasinblazing trad schuimvorming op; bij het rondpompsysteem niet;

Op de rwzi Assen zijn de twee slibgistingstanks met deze mixers uitgevoerd.

FIGUUR 5.3

SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN EEN INTERN RONDPOMPSYSTEEM (SYSTEEM MET OPWAARTSE KOLOM; OOK ZIJN SYSTEMEEN BESCHIKBAAR MET NEERWAARTSE KOLOM DIE OVER HET ALGEMEEN BETER WERKEN)



Voordelen:

- drijfslag en schuimvorming kunnen worden bestreden door de pomprichting op gezette tijden om te keren;
- lagere investeringskosten doordat minder voorzieningen nodig zijn ten opzichte van gasinblazing, zoals compressorinstallatie, veiligheidsvoorzieningen, leidingwerk,.
- laag energieverbruik. Het energieverbruik is onder optimale condities (onder ander hoogte/diameter verhouding) $0,5-1 \text{ W/m}^3$.

Nadelen:

- hogere bouwkosten door de gewenste conische vorm van bodem en dak van de slibgistingstanks;
- het systeem is geschikt tot slibgistingstanks tot 15.000 m^3 ;
- de praktijkgegevens maken niet duidelijk of ook zeer grote slibgistingstanks door één centraal circulatiesysteem voldoende kunnen worden gemengd;
- beperkt hoger energiegebruik in vergelijking met menging met roerwerk door de stromingsweerstand van het slib in de pompbuis;
- stevige fundatie en aandrijfwerk nodig voor pomp;
- versnijdende pompen of versnijders nodig omdat vezelophoping (haarballen) de buis kunnen blokkeren en/of de mengpomp kunnen slopen;
- bij inspectie van de pomp moet de slibgistingstank uit bedrijf en het slibniveau moet in ieder geval worden verlaagd.

5.6.3 MENGING DOOR ROERWERK

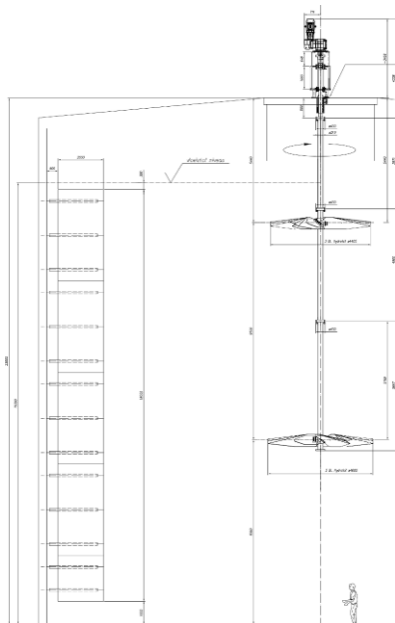
Menging met behulp van een roerwerk gebeurt met top-entry (door het tankdak) of side-entry (door de wand) mixers. Een top-entry menger is minder onderhoudsgevoelig dan een side-entry mixer door het ontbreken van een asdoorvoer door tankwand onder het slibniveau. Een dergelijke gas- en vloeistofdichte asdoorvoer is onderhoudsgevoelig.

Net als bij het interne rondpompsysteem worden de tankbodem en het dak bij dit mengsysteem bij voorkeur enigszins hellend uitgevoerd om het gewenste stromingsprofiel in de slibgistingstank te bevorderen en/of eventuele ophopingen op het laagste deel van de tank (recht onder de menger as) te concentreren, zodat bij een onderaflaat dit materiaal incidenteel kan worden verwijderd of bij manuele ruiming wordt verwijderd.

Bij toepassing van een snel draaiende top-entry menger moet bij sommige leveranciers de slibgistingstank worden uitgerust met zogenaamde 'baffle'-platen of anti rotatieschotten langs de omtrek om te verhinderen dat het slib in de tank met het roerwerk gaat meedraaien en daarom niet mengt. Er zijn echter ook leveranciers die deze baffle platen niet nodig hebben. Deze mixers bestaan uit twee roerwerken die op verschillende hoogten zijn geplaatst. Het bovenste roerwerk zorgt vooral voor het breken van de drijfslag. Op de rwzi's Elburg en Harderwijk zijn dergelijke mixers geïnstalleerd. In Figuur 5.4 is een dergelijk systeem weergegeven. Het benodigde motorvermogen is afhankelijk van de tankgeometrie, een richtwaarde is $0,7 - 1,5 \text{ W/m}^3$. Door periodiek het roerwerk van draairichting om te keren wordt bereikt dat aanhangend vuil van de bladen afglijdt.

FIGUUR 5.4

PRINCIPE TOP ENTRY MENDER



Voordelen:

- bij een juiste dimensionering van het roerwerk wordt een eventueel ontstane drijfslag "gebroken";
- relatief laag energieverbruik door interne menging met een laagtoerige menger;
- toe te passen bij hoge drogestofconcentraties in de slibgistingstank;
- indien de anti rotatieschotten zijn opgebouwd uit warmwaterleidingen, wordt ten behoeve van de slibopwarming warm water rondgepompt in plaats van ingedikt slib. Het rondpompen van (schoon) warmwater kost minder energie en vergt minder onderhoud aan de circulatiepompen.

Nadelen:

- mogelijke aangroei spinsel en ander materialen aan mengbladen waardoor onbalans kan optreden.
- hogere (civiele) bouwkosten door de conische vorm van bodem en dak van de slibgistingstanks;
- stevige fundatie en aandrijfwerk nodig voor top-entry menger met grote aslengtes en aandrijfmomenten;
- bij inspectie van het menglichaam moet de slibgistingstank uit bedrijf en het slibniveau moet in elk geval worden verlaagd;

- verdere energiebesparing door intermitterend bedrijf toe te passen is niet wenselijk, omdat bij inschakelen na een periode van stilstand het aanlopkoppel hoog kan zijn. De aandrijving moet in dit geval hierop worden gedimensioneerd;
- geen reservestelling voor mengers (is niet erg storingsgevoelig);
- indien de anti rotatieschotten zijn opgebouwd uit warmwaterleidingen, moet bij vervuiling van deze leidingen- de slibgistingstank worden leeg gezet.

5.6.4 MENGING DOOR GASINBLAZING

Zoals in hoofdstuk 2 al is aangegeven is gasinblazing met lansen het meest voorkomende mengsysteem in Nederland. Er zijn echter meer gasmengsystemen die werken met behulp van gasinblazen, te weten:

- gasinblazing met behulp van lansen;
- gasinblazing met behulp van diffussors;
- rondpompen door middel van gasinblazing in een 'stijgbuis', waardoor een zogenaamde 'gaslift' ontstaat.

Daarmee ontstaat een menging, die vergelijkbaar is met een intern rondpompsysteem via een stijgbuis. Door de stijgbuis uit te voeren met een warmwatermantel wordt het slib tevens verwarmd (Heatamix-concept).

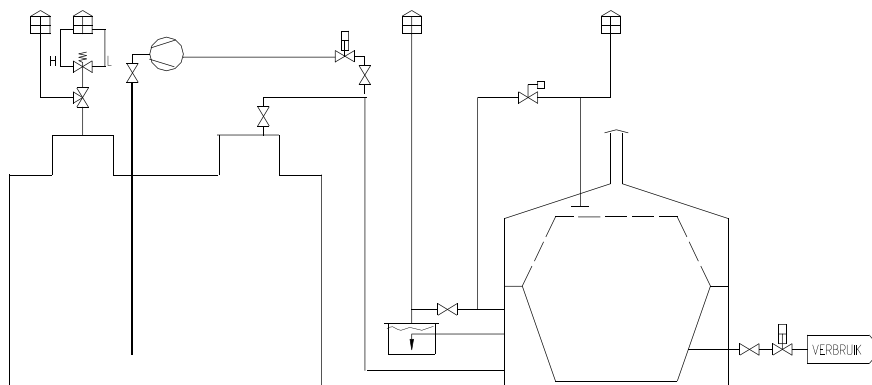
Bij gasinblazing met verticale trekbare lansen kan onderhoud en inspectie plaatsvinden zonder de slibgistingstank uit bedrijf te nemen. Bij gebruik van diffussors voor gasinbreng moet de tank leeg worden gemaakt. Ook kan bezinsel zich onder de diffussors afzetten. Het nadeel van de 'gaslift' is dat de mengenergie aan de oppervlakte van het slib te gering kan zijn om een eventuele drijfslag voldoende te 'breken'. Net als bij de andere interne circulatiesystemen is de werking het meest efficiënt bij conische uitvoering van de bodem en het dak. Een voordeel is dat er geen bewegende onderdelen in de slibgistingstank zijn. In Figuur 5.5 is het principe van gasinblazing weergegeven.

De dimensioneringsgrondslag voor gasinblazing is bijvoorbeeld:

- 1 lans per 10 m² (cirkeloppervlak)
- gasinblaascapaciteit 1, 8-2 m³/m³.h;
- elke lans ca. 0,5 m boven de vloer (allen op zelfde niveau installeren (inmeten) en houden (voorkom verbuiging);
- inschakelduur ca. 5-10 minuten per uur;
- gassnelheid in elke lans ca. 10 m/s.

FIGUUR 5.5

PRINCIPE GASINBLAZING



De voor- en nadelen van gasinblazing worden hier beschouwd voor de inblaaslansen, de meest toegepaste uitvoering:

Voordelen:

- de slibgistingstank kan met een vlakke bodem worden uitgevoerd, mits vooraf de verwijdering van zand is zorggedragen in de waterlijn voorafgaande aan de slibindikking;
- door turbulentie aan het sliboppervlak is drijfslagvorming meestal beperkt. Schuimvorming is echter niet uit te sluiten;
- de diameter en hoogte van de tank zijn vrij te kiezen, waarbij aantal en lengte van de lansen worden aangepast aan de tankafmetingen; geen 'schaaleffect' in het menggedrag;
- reparatie aan lansen is mogelijk zonder de tank leeg te maken (trekbare lansconstructie, mantelbuis tot onder minimaal slibniveau);
- met deze vorm van menging is veel praktische ervaring opgedaan (bij slib tot 6 % drogestof);
- eenvoudig intermitterend te bedrijven. Geen overbelasting bij inschakelen van compressoren na stilstand.

Nadelen:

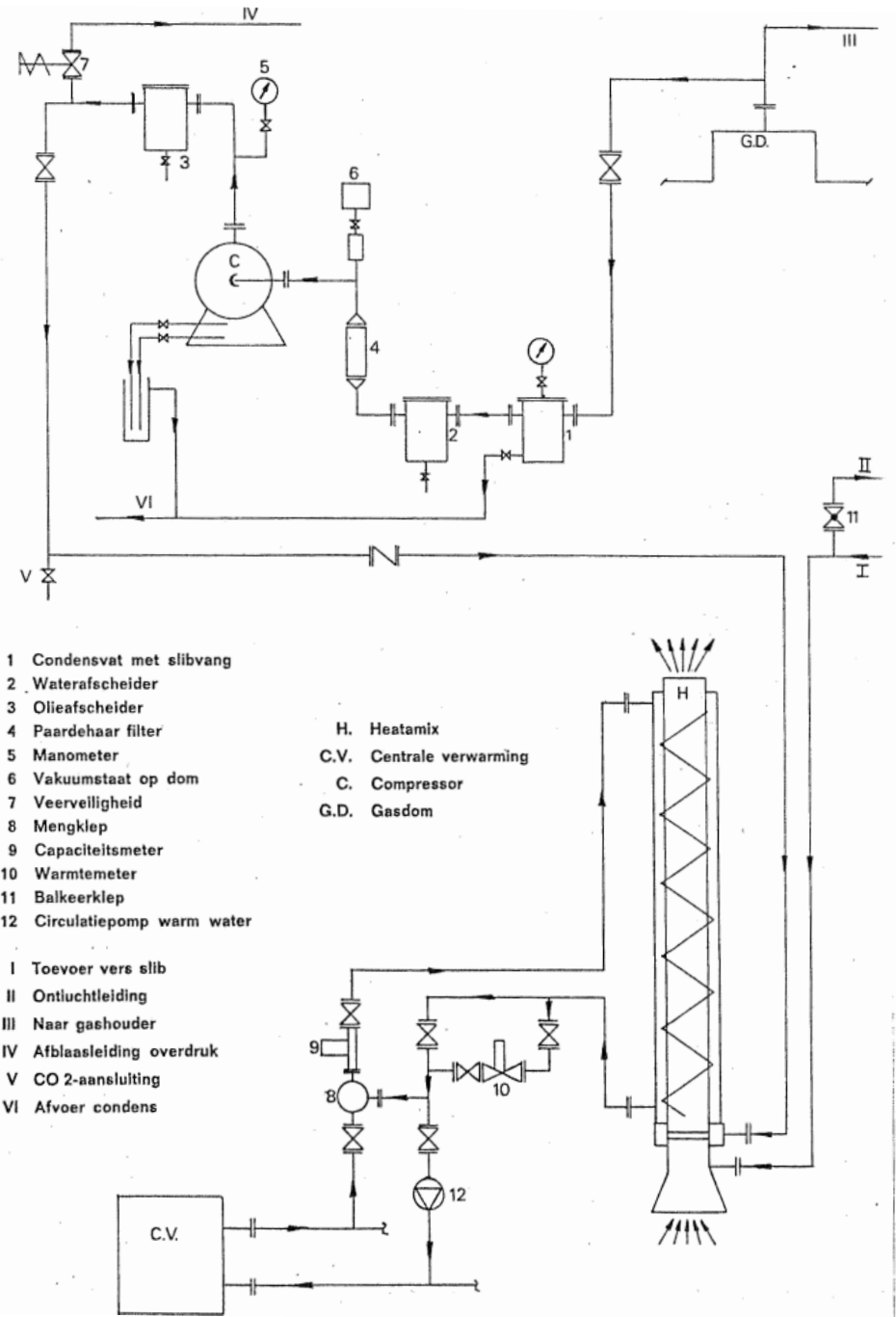
- er is een stijve dakconstructie nodig om de lansen te bevestigen;
- schuimvorming is niet uit te sluiten; indien dit optreedt, kunnen hoge onderhoudskosten ontstaan voor de gascompressoren;
- relatief hoge bouwkosten voor de vele gasinblaaslansen, doorvoerconstructies, gascompressorinstallatie;
- veel potentiële lekkageplaatsen door de vele lansdoorvoeringen in het dak;
- door de omvang van de gasvoerende installatiedelen, is dit mengsysteem in potentie minder veilig dan andere mengsystemen;
- gevoelig voor corrosie van leidingwerk en werktuigen;
- er is normaliter geen indicatie van de gashoeveelheidsverdeling over de lansen. Indien enkele lansen verstopten, wordt de gashoeveelheid over de overige lansen verdeeld;
- bij drogestof percentages boven 6% wordt de viscositeit van het slib zo hoog dat het meng-effect van gasinblazing afneemt (vorming van 'gaskanalen' in viskeuze slibsubstantie). Er zijn geen praktijkervaringen op rwzi's in Nederland met gasinblazing in slib met meer dan 6% drogestof;
- verwijdering van afgezet materiaal (zand) op de bodem is nauwelijks mogelijk, zeker niet in combinatie met een vlakke tankbodem;
- relatief hoog energiegebruik ten opzichte van andere mengsystemen.

5.6.5 MENGING DOOR HEATAMIX SYSTEEM

Heatmixers zijn zogenaamde inwendige slibverwarmers, waarbij warmwater door de Heatmixers stroomt en via de gasinblazing het verwarmde slib mee omhoog voert en daarmee het thermodynamische proces ondersteunt. Hierbij stroomt het te gisten slib van warm naar koud in neerwaartse richting. De schematische werking van een Heatmix systeem is weergegeven in Figuur 5.6.

FIGUUR 5.6

PRINCIPE HEATAMIX SYSTEEM



De Heatmixers zijn in Nederland geproduceerd door Hubert, maar zijn ontwikkeld in Engeland door Simon Hartley. Elke Heatmixer bestaat uit een verticale stalen binnenpijp, omgeven door een grotere buitenpijp. De ringvormige ruimte tussen deze twee pijpen, vormt daarom een watermantel met spiraalgeleider. Water van de centrale verwarmingsinstallatie circuleert spiraalsgewijs van boven naar beneden door deze mantel, waardoor het omringende slib wordt verwarmd. Het biogas wordt aan de onderzijde van de binnenpijp van de Heatmix onder druk ingelaten, waardoor het omringende slib wordt verwerveld en van beneden naar boven wordt gevoerd. Het zal duidelijk zijn dat slib met een hoger drogestofgehalte de slibcirculatie vermindert door de hogere viscositeit van het slib, en dat de ingaande warmwatertemperatuur hierop invloed heeft. De maximum ingaande temperatuur zal 65 °C

bedragen en de uitgaande temperatuur circa 50 °C. De door de fabrikant als maximum toelaatbare temperatuur bij de Heatamixer is gesteld op 70 °C. De effecten van warmwatertemperatuur en gascompressordebiet zijn onbekend. Het gemiddeld toegepaste mengoppervlak per Heatamixer bedraagt circa 60 m²/stuk.

5.6.6 ONTWERP EN KEUZE MENGTECHNIEK

Met betrekking op het ontwerp van de slibgisting is hier met name belangrijk bij welk drogestofgehalte welk type mengsysteem kan worden toegepast. Een rondpompsysteem kan worden toegepast tot drogestofgehaltes van maximaal 6%, maar de toepassing is ook afhankelijk van het reactorvolume. In de ATV (ATV-DVWK-M 368) wordt gemeld dat bij toepassing bij een slibgistingstank van 4.000 m³ het rondpompsysteem niet toereikend was om de gehele tank te mengen. Roerwerken worden in Nederland maar ook in Duitsland nog niet veel toegepast, maar kunnen wel ingezet worden bij drogestofgehaltes boven de 6%. In Duitsland worden met name pompbuizen gebruikt in combinatie met vijzels. Deze wijze van mengen in combinatie met de eivormige reactoren moet leiden tot een zeer goede menging over de gehele tank. In Nederland wordt deze techniek nog niet veel toegepast, maar is in staat om ook bij drogestofgehaltes boven de 6% de tank goed te kunnen mengen.

Gasinblazing is in Nederland de meest toegepaste techniek (zie paragraaf 4.6.3) voor menging. De grens voor deze techniek met betrekking tot het drogestofgehalte is circa 6%. Dit gehalte zal in de meeste slibgistingstanks niet worden behaald omdat 6%DS ook vaak als grens wordt gehanteerd voor de slibpompen.

Voor de menging in slibgistingstanks is er geen eenduidige relatie tussen menging en gasopbrengst. Mits het verse slib goed is gemengd met het gistende slib en de inhoud van de tank voldoende homogeen is, zal intensivering van de menging niet leiden tot een hogere gasopbrengst.

Naast de mechanische menging of circulatie wordt de inhoud van de slibgistingstank ook continu gemengd door de opstijgende biogasbellen. Deze specifieke gasproductie per m² tankoppervlakte is gemiddeld 0,8 m³/m²/uur. De exacte specifieke waarde is afhankelijk van het tankoppervlak en de gasproductie.

In Tabel 5.1 zijn de gepresenteerde mengtechnieken opgenomen en beoordeeld aan de hand van de eisen gesteld aan het mengsysteem.

TABEL 5.1 VERSCHILLENDE MENGSYSTEMEN BEOORDEELD AAN DE HAND VAN VEEL GESTELDE EISEN

	Extern mengen	Intern rondpompsysteem	Gasinblazing (gaslansen)	Roerwerk (langzaam draaiend)	Heatamix systemen
Geschikt voor > 6 %-ds	+/-	+	-	+	-
Voorkomen afzetting	+/-	Alleen bij conische bodem	Ook bij vlakke bodem	Alleen bij conische bodem	Ook bij vlakke bodem
Onderhoud zonder leegzetten tank	+	+/-	+	+/-	+
Energieverbruik*	+	+	-	+	+
Storingsgevoeligheid	+	+/-	+/-	+/-	+
Onderhoud	++	+/-	-	+	+/-

Mechanische menging heeft over het algemeen ongeveer een 5 keer lager energieverbruik per uur. Aangezien mechanische mixers volgens ontwerp echter altijd aanstaan (24 uur per dag) en gasinblazing frequentiegestuurd wordt (gemiddeld 8 uur per dag), is de totale energiewinst door toepassing van mechanische menging maar beperkt.

Het omslagpunt voor toepassing van mechanische menging wordt dan ook vooral ingegeven door het drogestofgehalte in de tank. Indien het mengsysteem in staat moet zijn ingaand slib met een concentratie van 6% tot 10 % drogestof te mengen, is de mogelijkheid van gasinblazing als mengsysteem niet goed mogelijk. Bij gasinblazing bij drogestofgehaltenes boven de 6% neemt het mengeffect af en worden gaskanalen gevormd.

Afzetting kan bij de mechanische mengsystemen worden voorkomen met een conische tankbodem en een aflat constructie voor het verwijderen van eventuele afzettingen. Bij gasinblazing in combinatie met een vlakke bodem is beperking van afzettingen niet mogelijk, omdat deze zich over de hele tankbodem bevinden. Op het gebied van energieverbruik, scoort het langzaam draaiende roerwerk het beste.

5.7 VERWARMING

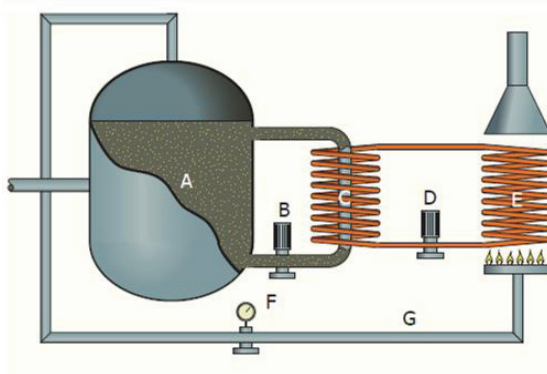
Verwarming van het slib is nodig om de procestemperatuur constant te houden. Ten behoeve van het slibgistingproces zijn er verschillende methoden om het slib te verwarmen. De verwarming van de tankinhoud geschiedt veelal door overdracht van warmte uit circulerend heet water via warmtewisselaars. Voor het opwarmen van het slib wordt in veel gevallen gebruik gemaakt van de warmte van een WKK. Deze warmte kan via verschillende systemen aan het slib worden overgedragen:

- interne warmtewisselaar (in de tank);
- externe warmtewisselaar (buiten de tank).

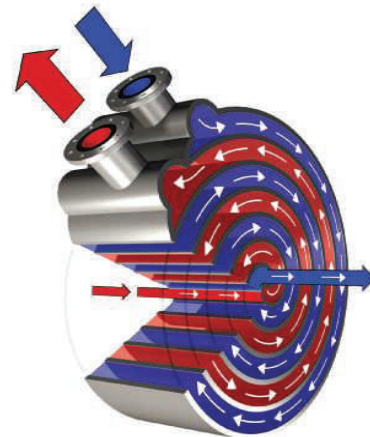
Bij interne warmtewisseling vindt de warmteoverdracht plaats in de slibgistingstank. Dit kan bijvoorbeeld met leidingen tegen de wand van de slibgistingstank of via interne buizen (zoals in Heatamix-systeem). Bij een betonnen installatie liggen de warmteleidingen meestal tegen de binnenwand of (bij nieuw te bouwen tanks) ingestort in het beton. In een metalen tank kunnen ze ook aan de buitenkant zitten, omdat het metaal de warmte zeer goed doorgeeft. Bij een externe warmtewisselaar wordt het slib uit de slibgistingstank gerecirculeerd over een warmtewisselaar. Hierbij wordt gebruik gemaakt van warmtewisselaars met spiralen of met pijpen/buizen. Het systeem met spiralen is meer gevoelig voor verstoppingen, maar neemt minder ruimte in beslag dan het systeem met pijpen/buizen, wat op zijn beurt weer minder gevoelig is voor verstoppingen.

In Figuur 5.7 is een externe slibverwarming door middel van een buizensysteem globaal weergegeven. In Figuur 5.8 is een spiraal warmtewisselaar weergegeven.

FIGUUR 5.7 EXTERNE SLIBVERWARMING DOOR MIDDEL VAN BUIZEN [5]



FIGUUR 5.8 EXTERNE SLIBVERWARMING DOOR MIDDEL VAN RONDE PLATEN [5]



Met betrekking tot onderhoud en mogelijke vervuiling van het systeem kan een extern systeem makkelijker worden schoongemaakt en worden onderhouden. Als dit namelijk niet tijdig gebeurt, kunnen scaling en vervuiling met aangekoekte slibresten de warmteoverdracht verminderen [5]. Het voordeel van een interne warmtewisselaar is dat het rondpompen van warm water minder energie kost en de kans op verstoppingen nihil is ten opzichte van een extern systeem. Een verstoring bij een extern systeem kan echter wel gemakkelijk verholpen worden zonder dat de slibgisting uit bedrijf hoeft te worden genomen. Dit in tegenstelling tot een intern systeem waarbij, wanneer er een verstoring optreedt, de werkzaamheden daaraan omvangrijker zijn en de slibgistingstank wellicht enige tijd uit bedrijf dient te worden genomen. Verder zal bij toepassen externe warmtewisselaars het energieverbruik voor het verpompen van het slib door de warmtewisselaar sterk toenemen als slib vergaand wordt ingedikt.

De temperatuur in de slibgisting is mede afhankelijk van de buitentemperatuur, de temperatuur van het slib en de isolatie en vorm/dimensie van de tank. De temperatuur van het slib kan gedurende het jaar variëren van circa 10 °C in de winter tot 20 °C in de zomer. Het verdient aanbeveling de slibtemperaturen voldoende te onderzoeken voordat een warmteberekening wordt gemaakt. Daarnaast kan worden gesteld dat er in de zomer minder warmteverlies door straling en convectie optreedt dan in de winter waardoor er in de zomer ook weer minder energie ten behoeve van de verwarming nodig is. Het energieverbruik is daarvoor lastig kwantificeerbaar.

5.8 BIOGASBUFFERING

Het geproduceerde biogas wordt voordat het wordt verwerkt opgevangen in een gashouder. De gashouder heeft tot doel om:

- fluctuaties in de biogasproductie op te vangen zodat biogasverbruikers zoals CV ketels en/of gasmotoren niet sterk in vermogen hoeven te fluctueren;
- geplande korte onderbrekingen van de gasverbruikers mogelijk, zonder dat daarbij direct gas moet worden gespuid;
- condens af te vangen dat gevormd wordt door het afkoelen van het biogas in het traject vanaf de slibgistingstank(s) naar de gashouder. De gashouder vormt daarbij een ideaal condensafvoerpunt;
- het opvangen van drukfluctuaties in de afstemming tussen gasproductie en gasverbruikers. De gashouder is vrijwel altijd voorzien van een overdrukbeveiliging die voorkomt dat de druk in de slibgistingstank te hoog oploopt, als de gasafvoer is geblokkeerd.

Als praktische dimensionering van de biogashouder wordt de inhoud gebaseerd op een maximum gasproductie van 3 uur. Voor de uitvoeringwijze van de gashouder zijn verschillende varianten mogelijk, deze zijn hieronder beschreven:

- natte gashouder;
- droge gashouders uitgevoerd in staal of roestvaststaal met een binnenmembraan;
- droge gashouders uitgevoerd in doek, met een flexibel binnenmembraan;
- gashouders geïntegreerd op de slibgistingstank.

5.8.1 NATTE GASHOUDERS

In Nederland zijn nog veel zogenaamde natte gashouders in bedrijf, die vanwege hun robuustheid een lange levensduur hebben. Deze gashouders worden gezien de hoge bouwkosten dan ook niet meer gerealiseerd. Ter illustratie zijn in Figuur 5.9 een voorbeeld gegeven van een dergelijke gashouder. In dit handboek wordt hier verder geen aandacht aan besteed aangezien de toepasbaarheid beperkt is.

FIGUUR 5.9

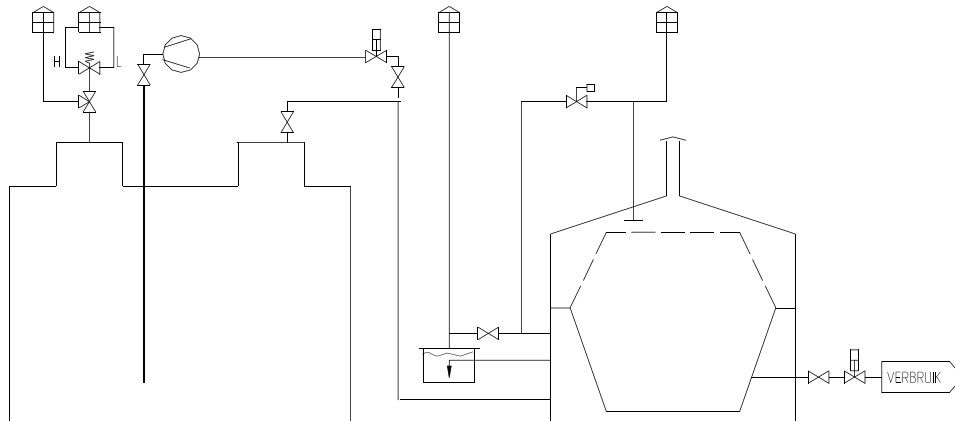
NATTE GASHOUDE



5.8.2 DROGE GASHOUDERS

Droge gashouders zijn uitgevoerd als tank met een inwendige gasballon. De gasballon is voorzien van de benodigde beveiligingen. Dit betreft: onder- en overdruk, ventielen gestuurde afsluiters uitgevoerd als snelafsluiters voor isolatie bij leidingbreuk en detectieapparatuur. De gastoevoer- en afvoerleidingen worden voorzien van condensafvoeren inclusief condensafvoerpompen en reparatieafsluiters. In Figuur 5.10 is het benoemde principe weergegeven.

FIGUUR 5.10 DWARSDOORSNEDE SLIBGISTINGSINSTALLATIE MET GASHOUDER EN GASINBLAZING



Binnen de beschreven constructie zijn mogelijk:

- membraangashouder (droge gashouder);
- ballongashouder (droge gashouder).

Membraangashouders zijn voorzien van een flexibel membraan dat zich in de ruimte van de gashouder beweegt. De gasdruk wordt gerealiseerd door middel van een geballaste plaat op de gasballon. De ruimte boven het membraan dient beschouwd te worden als besloten ruimte (Ex zone 1). De gewichtsbelasting van het membraan dient gelijkmatig verdeeld te worden rond de telescooppijconstructie (?). Voor membraangashouders en ballongashouders is het van belang dat deze worden voorzien van de volgende beveiligingen en regelingen, zie onderstaande opsomming:

- volumeregeling (inhoudsmeting);
- gekoppelde volumebegrenzing zodat bij een hoog niveau automatisch een spui bijvoorbeeld naar de gasfakkel wordt geopend;
- volumebegrenzing in de vorm van een mechanische beveiliging;
- vacuümbegrenzing doordat bij afnemend volume het membraan voor de afvoerleiding kan komen te liggen;
- een hydraulische overdrukbeveiliging.

In figuur 4.11 is een voorbeeld gegeven van een ballongashouder. Ballongashouders zijn voorzien van een binnen- en buitenmembraan. De ruimte tussen de membranen dient te worden beschouwd als besloten ruimte. Toegepaste ventilatoren (boosterventilator en draagluichtventilator) worden naast de gashouder opgesteld en dienen explosievrij te worden uitgevoerd. Een eventuele boosterventilator dient gasdicht te zijn. De laatste jaren zijn ballongashouders vaak toegepast vanwege de aanmerkelijk lagere bouwkosten in vergelijking met andere gashouders. Aanvullende voordelen zijn hieronder opgesomd.

- korte plaatsingstijd;
- geen constructiewerk op de rwzi nodig;

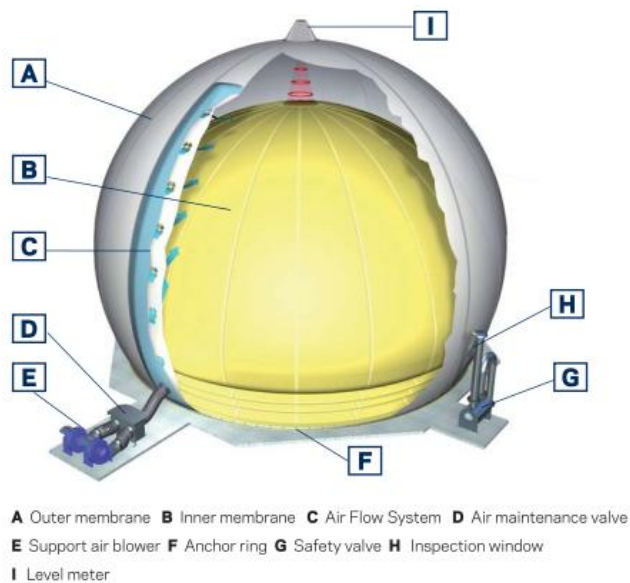
- geen onderhoud aan het membraan;
- geen conserveringsonderhoud nodig.

Enkele nadelen van een ballongashouder zijn:

- er is een draagventilator nodig;
- visueel wordt een ballon soms een minder fraai gevonden dan een membraangashouder. Om deze reden wordt de ballon soms voorzien van een stalen mantel;
- vrijwel alle delen zijn uitgevoerd in kunststof, hetgeen minder duurzaam is dan staal. Al kan hier tegen ingebracht worden dat staal een coating nodig heeft die ook niet duurzaam is;
- ballongashouder kunnen scheuren (deze calamiteit is de afgelopen jaren meerder malen voorgekomen, ondanks dat leveranciers volhouden dat dit een uitzondering is).

FIGUUR 5.11

WEERGAVE BALLONGASHOUDER



5.9 BIOGASVERWERKING

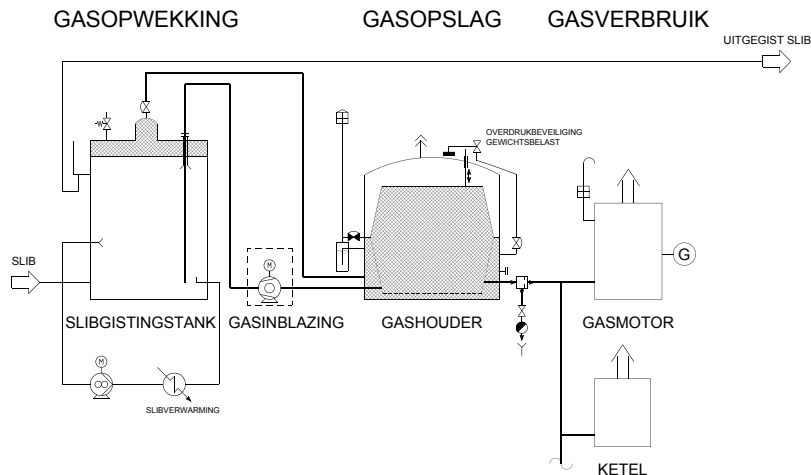
In het meest optimale geval kan het biogas worden benut met een zo hoog mogelijk energetisch rendement tegen zo laag mogelijke kosten. Biogasbenutting gaat uit van biogas dat direct uit de gasopslag onttrokken wordt. Dit is mogelijk met en zonder voorbehandeling van het biogas.

Het beschikbare biogas wordt vooralsnog voornamelijk zelf gebruikt op de gistinglocatie, waarbij met behulp van WKK of CV-ketels elektriciteit of warmte wordt gegenereerd. In Figuur 5.12 is deze wijze van biogasbenutting weergegeven. Sinds enkele jaren wordt ook steeds vaker overwogen om al het (overtollige) gas op te werken tot aardgaskwaliteit en te voeden in het gasnet of te verkopen als transportbrandstof.

Als het gewenst is om het biogas om te zetten in warmte en elektrische energie, dan kan het biogas worden verwerkt in een gasmotor-generatorcombinatie, oftewel WarmteKrachtkoppeling (WKK), een microturbine of in een brandstofcel (deze laatste techniek is nog volop in ontwikkeling maar wordt in de praktijk nog nauwelijks toegepast). De elektrische energie kan worden ingezet voor eigen gebruik of worden geleverd aan het net. De vrijkomende warmte wordt veelal gebruikt om het slib te verwarmen.

FIGUUR 5.12

BIOGASVERWERKINGSCONFIGURATIE



Voor de dimensionering van de benodigde capaciteit van de WKK zijn de volgende parameters van belang.

TABEL 5.2

INDICATIE DIMENSIONERINGSGRONDSLAGEN BIOGASVERWERKING

Dimensionering Biogasverwerking	WKK	CV	Eenheid
Elektrisch rendement	37-42	0	%
Warmte rendement	45	90	%

Het exacte thermische en elektrische rendement zijn afhankelijk van:

- motorkwaliteit en motorgrootte (specifieke gasmotor fabrikanten slagen erin een hoger mechanisch en daarmee elektrisch rendement te bereiken dan fabrikanten met minder specifieke kennis, motoren met hogere vermogens hebben veelal een hoger rendement dan de kleinere motoren;
- belasting van de gasmotor. Het beste rendement wordt verkregen bij een optimale belasting. Bij lagere belastingen kan het rendement afnemen;
- toepassing van een katalysator levert een hogere mechanisch rendement op, omdat de gasluchtverhouding niet wordt bepaald door de hoogte van de NOx-uitstoot;
- het thermisch rendement kan substantieel worden verhoogd door toepassing van rookgaskoeling, de rookgassen kunnen tot circa 100 °C worden teruggekoeld (let op H₂S en S₂SO₄), waarbij de teruggewonnen warmte kan worden gebruikt voor het verwarmen van het slib;
- Ook vochtgehalte kan problemen (corrosie) veroorzaken. Het vochtgehalte wordt dan ook op verschillende locaties gemonitord.

Gelet op het uitgangspunt maximale benutting van het biogas, wordt bij de keuze van een gasmotor het elektrische vermogen gebaseerd op de maximale gasproductie, en een elektrisch rendement van 40% aangezien moderne gasmotoren van deze grootte in staat zijn dit rendement te behalen. Maximalisatie van het elektrische rendement van WKK installaties kan bijvoorbeeld bereikt worden door ORC-technieken. ORC staat voor Organic Rankine Cyclus. Een Rankine-cyclus is een thermodynamisch proces, dat in veel elektriciteitscentrales gebruikt wordt of op WKK toegepast kan worden voor extra opwekking van elektriciteit. In deze cyclus wordt in een stoomketel oververhitte stoom (dat wil zeggen verwarmd tot een temperatuur boven het kookpunt bij die druk) onder hoge druk geproduceerd. Deze stoom

expandeert vervolgens in een stoomturbine die een generator aandrijft. Daarna wordt de stoom gecondenseerd in een water- of luchtgekoelde condensor en wordt het condensaat teruggepompt naar de stoomketel. Bij deze water-stoomcyclus is het belangrijk om de stoom te oververhitten om de vorming van condensaatdruppels in de stoomturbine te vermijden. Hiermee kunnen WKK-installaties tot een elektrisch rendement van 42-45 % worden opgetoerd. De financiële toepasbaarheid is echter schaalgrootte afhankelijk en pas voor installaties groter dan 100.000 i.e. kan dit doelmatig zijn.

6

NORMALE BEDRIJFSVOERING

6.1 WAT IS "NORMALE" BEDRIJFSVOERING?

De efficiëntie en stabiliteit van het anaërobe slibgistingproces zijn variabelen die direct gerelateerd zijn aan de karakteristieken van het verse slib en de omstandigheden binnen de reactor. Het verse slib dat in de slibgistingstank terecht komt is een complex mengsel van materialen, waarbij de kwaliteit bepaald wordt door het verzorgingsgebied en het toegepaste afvalwaterzuiveringsproces. Een goed ontworpen en bedreven slibgisting zal goed functioneren. Om eventuele verstoringen tijdig te signaleren en de prestaties van het proces goed te volgen is het belangrijk om ook tijdens normale bedrijfsvoering de in de volgende paragrafen genoemde aspecten nader te observeren.

6.1.1 VOORZUIVERING: ROOSTERGOED EN ZANDVERWIJDERING

Het verse slib afkomstig van de voorbezinktanks kan afhankelijk van de voorbehandeling, hoge concentraties aan vezels, plastic, zand en ander inerte materialen bevatten. Deze materialen kunnen ophopen in de slibgisting, als ook leiden tot beschadigingen van apparatuur zoals pomprotoren en slibmengers. De accumulatie van zand en andere materialen in de slibgistingstank resulteert in een vermindering van het netto slibgistingvolume met als gevolg in een afname van de slibverblijftijd, de slibafbraak en de biogasproductie.

De prestatie van de voorzuivering is daarom mede bepalend voor de efficiency van de slibgisting en een minimum aan onderhoud aan de slibgistinginstallatie. Tijdens het ontwerp van de slibgisting moet al met deze aspecten rekening worden gehouden. Zo is bijvoorbeeld een versnijdende toevoerpomp in de aanvoer naar de slibgisting een noodzaak als de roostergoedverwijdering niet goed functioneert en is een zandaflaat/onderaflaat bij een slibgisting noodzakelijk of dient de slibgistingtanks regelmatig (eens per vijf jaar) manueel geleegd te worden indien er geen goede zandverwijdering in de water- of sliblijn aanwezig is.

6.1.2 DROGESTOFCONCENTRATIE

Slibindikking is gericht op minimalisatie van het volume benodigd voor slibgisting. Indikking gebeurt daarbij in mechanische of gravitatie indikkers, flotatie (DAF) units, of zelfs in voorbezinktanks. Voor de voeding van het slibgistingproces is een droge-stofconcentratie van 4%-8% in de aanvoer in Nederland gebruikelijk wat resulteert in een droge-stofconcentratie in de slibgisting van 3,0-5,5%.

Voor zover de voedings- en mengapparatuur, en de gasverwerkingscapaciteit het toelaten, kunnen ook hogere droge-stofconcentraties in de voeding van de slibgisting worden toegepast. Lagere droge-stofconcentraties zijn natuurlijk ook mogelijk, maar droge-stofconcentraties onder 2,5% zijn echter niet aan te bevelen, omdat het hoge watergehalte een negatief effect heeft op het slibgistingproces (het STOWA-rapport Schuimvorming geeft aan dat hier een grotere kans op schuimvorming door ontstaat) en veel verwarmingsenergie vereist. Tevens moet bij een lager drogestofgehalte een groter tankvolume gerealiseerd worden om voldoende lange verblijftijden te garanderen.

6.1.3 REMMENDE STOFFEN

Zoals in hoofdstuk 2 al is genoemd zijn de verschillende groepen anaërobe bacteriën die tijdens het slibgistingsproces actief zijn gevoelig voor verschillende componenten in de voeding. Ook afbraakproducten van het gistingsproces zoals vetzuren en ammonium kunnen bij hogere concentraties problemen veroorzaken. Afhankelijk van de actuele concentratie van deze stoffen in de slibgisting, zijn deze in staat zijn om het slibgistingsproces te verstoren of stoppen. Acute vergiftiging komt echter maar zelden voor. Desondanks is een strikte controle van de aanvoer van industriële restproducten een middel om de aanwezigheid van toxische stoffen tegen te gaan. De meest remmende stoffen zijn chloorhoudende organische verbindingen, niet-biodegradeerbare anione detergenten, sterk oxiderende stoffen en anorganische kationen. Lozingen van stromen met hoge sulfaatconcentraties kunnen leiden tot (te) hoge sulfideconcentraties in de slibgisting en verhoogde H₂S-gehaltes in het biogas.

6.1.4 METALEN

Onder het begrip metaal wordt in de context van dit handboek metalen zoals koper, zink, kwik, cadmium, chroom, nikkel en lood bedoeld. Deze metalen kunnen als metaal op zich of als (complexe) metaalverbindingen (bij te hoge gehalten) het anaërobe slibgistingsproces remmen. Behalve cadmium en kwik, zijn kleine hoeveelheden van de overige metalen wel nodig als sporenelementen.

De afbraak van slib tijdens anaërobe slibgisting resulteert in hogere metaalconcentraties, uitgedrukt als mg/kg drogestof, in het uitgediste slib. Dit kan consequenties hebben voor de afzet van het slib, en wordt mede bepaald door de inname-eisen die door de slibeindverwerker worden gesteld. De metaal toxiciteit varieert afhankelijk van het metaal, de aanwezigheid van andere metalen, de pH en de carbonaat- en sulfidenconcentraties in het slib.

Met name de aanwezigheid van sulfide zal metaal toxiciteit reduceren vanwege de vorming van onoplosbare metaalsulfide.

6.1.5 PARAMETERS SLIBGISTING

De belangrijkste aspecten rond om het slibgistingsproces kunnen als volgt worden samengevat:

Waar in het proces	Welke aandachtspunten	Hoe samen te vatten
IN (Voeding)	<ul style="list-style-type: none"> » variatie slibsamenstelling, vooral organisch stofgehalte en stikstofgehalte » variatie hoeveelheid in m³ » verblijftijd in dagen » concentratie toxische gehalten NH₄ » temperatuur (afhankelijk van capaciteit verwarming) » concentratie micro- en macronutriënten/sporenelementen 	} Regelbaar → Stuurparameter
Tijdens (Reactor)	<ul style="list-style-type: none"> » energie-inbreng en manier van menging » temperatuur (afhankelijk van capaciteit verwarming) » pH (plus alkaliteit en concentratie aan vluchtige vetzuren) 	
UIT (Effluent/Biogas)	<ul style="list-style-type: none"> » hoeveelheid en samenstelling biogas » samenstelling effluent/rejectiewater 	} Niet regelbaar → Controleparameter

Voor de Stuurparameters geldt dat deze tijdens de bedrijfsvoering kunnen worden geregeld of ingesteld, terwijl aspecten die niet of slechts beperkt geregeld worden samengevat zijn onder de verzamelnaam Controleparameters.

Na het in bedrijf nemen van de slibgisting wordt het proces beoordeeld en/of eventueel verder geoptimaliseerd. De voorgeschreven eisen voor bepaalde procesparameters uit het ontwerp worden daarbij getoetst op hun haalbaarheid in de praktijk. Tijdens “normale bedrijfsvoering” gebeurt deze beoordeling en/of optimalisatie aan de hand van het procesresultaat, zoals de productie van biogas of de afbraak van organische stof, of door maatregelen na melding van een verstoring of afwijking van een optimum waarde. Mogelijke verstoringen of afwijkingen die buiten de variatie van een normale bedrijfsvoering vallen, zijn opgenomen en beschreven in hoofdstuk 4 en 7.

6.2 WAT METEN, MONITOREN EN WAAROM

Voor bedrijfsvoerders die verantwoordelijk zijn voor een rioolwaterzuiveringsinstallatie met slibgisting is een optimaal werkend slibgistingsproces afhankelijk van volgende factoren:

- adequate voeding = min of meer constante aanvoer slibgisting; zowel kwalitatief als kwantitatief;
- stabiele hydraulische verblijftijd;
- adequate menging, om homogeniteit van het slib in de slibgistingstank zeker te stellen;
- goede biogasproductie.

Uiteindelijk worden twee situaties binnen de normale bedrijfsvoering onderscheiden: bedrijfsvoering met constante of variabele (dynamische) aanvoer. De parameters die gemeten worden zijn voor beide bedrijfssituaties gelijk, alleen de meetfrequentie verandert.

Het succesvol bedrijven van elke slibgisting is afhankelijk van de systematiek en de toepassing van adequate bedrijfsprocedures tijdens de opstartfase en het bedrijven op basis van een evenwichtsituatie onder normale bedrijfscondities. In het algemeen worden drie typen monitoring van een slibgisting onderscheiden:

- (a) monitoring van de efficiëntie;
- (b) monitoring van de processtabiliteit; en
- (c) monitoring van de hoeveelheid en kwaliteit van het slib.

Naast het meten van de procesparameters geldt natuurlijk ook dat de technische staat van de installatie regelmatig gecontroleerd moet worden. Zo kunnen problemen door versleten pompen worden voorkomen indien het onderhoud preventief wordt uitgevoerd en zal meetapparatuur de juiste waarde aangeven indien het regelmatig wordt schoongemaakt, onderhouden en gekalibreerd.

6.2.1 MONITORING VAN DE EFFICIËNTIE

Uit de vergelijking van de actuele prestaties met de prestatie in het verleden als ook de ontwerpspecificaties kan de efficiëntie van het proces worden beoordeeld. In eerste instantie wordt het slibgistingsproces beoordeeld, in termen van verwijderingpercentages organische stof en op basis van de biogasproductie (goed te meten). Het meten van de drogestof- en organische-stofconcentraties in de ingaande en uitgaande stroom van de slibgisting, geeft tezamen met de biogasproductie en het voedingsdebiet over het algemeen een goed beeld van de afbraak in en de prestatie van de slibgisting. Hierbij is het wel noodzakelijk dat er naast de meting ook een rekensheet wordt bij gehouden, waarin in ieder geval de volgende aspecten worden bijgehouden:

- cumulatieve methaan- of biogasproductie: hoeveelheid (m^3 of l/kg organische stof toegevoerd of verwijderd);

- eventueel de samenstelling van het gas; CH₄- en CO₂-gehalte;
- eventueel verbrandingswaarde van het biogas of de Wobbe-index;
- cumulatief debiet tussen twee opeenvolgende monsters van de verschillende slibstromen;
- drogestofgehalte van het in en uitgaande slib (DS%);
- CZV-gehalte in ingaand en uitgaand slib (CZV als % van DS);
- eventueel organisch-stofgehalte van het ingaande en uitgaande slib (OS als % van DS).

Alleen het bijhouden van de dagelijkse slib- en gasdebieten heeft niet zoveel zin, omdat door verschil van slibkwaliteit en variaties in de aanvoer er grote verschillen in de biogasproductie kunnen optreden. Zo ontstaat bij het gisten van primair slib een veel sneller en grotere hoeveelheid gas dan bij het gisten van gelijke hoeveelheid secundair slib. Naast bijhouden van de gegevens wordt ook geadviseerd de trending en het verloop gedurende langere tijd te volgen. Indien een parameter langzaam wijzigt en buiten het normale spectrum valt, kan dit een aanwijzing zijn dat er zich iets voordoet waarop kan of moet worden ingegrepen.

6.2.2 MONITORING VAN DE PROCESSTABILITEIT

De processtabiliteit doelt op de beoordeling van een eventuele verstoring van het slibgistingproces door invloeden van buiten af, zoals aanwijzingen dat verzuring mogelijk kan optreden. Dit kan beoordeeld worden aan de hand van de biogasproductie, de biogassamenstelling, de pH, de alkaliteit, de concentratie vluchtige vetzuren. De pH is daarbij de makkelijkste parameter om te meten en behoort binnen een range van 6 – 8 te liggen.

Een plotselinge variatie van de biogashoeveelheid, of van de biogassamenstelling, gemeten als een stijgend percentage kooldioxideconcentratie of afnemende methaangasconcentratie, is een relatief eenvoudige meting die de procesinstabiliteit aan kan geven.

De concentratie vluchtige vetzuren en alkaliteit in de gistingstank zijn nauw aan elkaar gerelateerd, en de verhouding vluchtige vetzuren / alkaliteit is een goede indicator voor de kwaliteit van het gistingproces. Een ratio beneden de 0,3 geeft daarbij goede condities in de gistingstank aan, terwijl waarden tussen 0,3 – 0,5 op een probleem in het gistingproces wijst, waarbij aandacht van de bedrijfsvoerder nodig is om het probleem te verhelpen. Als deze ratio boven de 0,8 komt, raakt het gistingproces verzuurd waarbij de kans op instorten van het proces groot is. Vetzurebepalingen zijn kostbaar en tijdsintensieve metingen die door een gespecialiseerd lab uitgevoerd moeten worden.

6.2.3 MONITORING VAN DE HOEVEELHEID EN KWALITEIT VAN HET SLIB

Naast monitoring van de efficiëntie en stabiliteit van de slibgisting moet aandacht worden besteed aan het beoordelen van de kwantiteits- en kwaliteitsontwikkeling van het verse en uitgegiste slib. De concentratie van drogestof en organisch-drogestofgehalte moeten daarom regelmatig bepaald worden. De meest belangrijke kwalitatieve aspecten van het slibgistingproces zijn:

- specifieke slibgisting en/of methanogene activiteit: De specifieke slibgisting- en/of methanogene activiteit bepaalt de maximale organische drogestofbelasting van het slibgistingproces;
- bepaling van de onvergiste bio-afbreekbare slibfractie na voltooide slibgisting; Haandel en Lettinga (1994) adviseren hiervoor een fractie <3%; Indien de bio-afbreekbare fractie hoog is in het uitgegiste slib, kan dit een indicatie zijn voor een slechte menging in de slibgisting en/of een slechte verhouding tussen de verschillende groepen micro-organismen. De metingen zijn daarbij puur in een academisch laboratorium uitgevoerd.

- viscositeit;
- Bij een hoge viscositeit is het effect van een de ingebrachte mengenergie veel geringer dan bij slib met een lage viscositeit. Metingen worden met een viscositeitsmeter uitgevoerd.
- deeltjesgrootteverdeling van het ingaande en uitgaande slib van de slibgisting; Bij veel grove delen (bijvoorbeeld uit primair slib) wordt meer activiteit van de hydrolyserende micro-organismen gevraagd. Veel kleine deeltjes in het vergiste slib kunnen duiden op een vergaande afbraak van het slib, maar geven ook een indicatie dat er bij de ontwatering waarschijnlijk meer PE nodig is. Deeltjestellers in diverse ranges kunnen hier voor ingezet worden.

De in deze subparagraaf genoemde metingen zijn geen metingen, die dagelijks gedaan moeten worden, maar door deze af en toe te meten worden het inzicht en de optimalisatiemogelijkheden van het gistingproces wel vergroot.

6.2.4 MONITOREN TECHNISCHE ASPECTEN

Verder is het ook belangrijk om het functioneren van technische aspecten van de installatie zeker te stellen. Het gaat dan niet zo zeer om het meten maar meer om het controleren en preventief onderhouden van apparatuur in de slib- en gaslijn. Zo kan bij een afwijking of procesinstabiliteit sneller beoordeeld worden of deze is veroorzaakt door technische of technologische factoren. Zo geldt bijvoorbeeld:

- vezelophoping rond een pH- en temperatuurelektrode geven een onjuiste meting (let hierbij op het belang van een goede roostergoedverwijdering in de water of sliblijn). Als deze regelmatig wordt schoongemaakt en geijkt is de kans op foute meetwaarden kleiner. Zo kan de temperatuur bij voorkeur voor of na de gisting gemeten worden als indicatie van de gistingstemperatuur;
- ophoping van vezels op de mengbladen bij een mechanische menger geven een afnemende mengcapaciteit en een vergrootte kans op mechanische problemen bij de ophanging/vertragsbak door onbalans (let hierbij weer op het belang van een goede roostergoedverwijdering in de water of sliblijn);
- aangroei van struviet of verstoppingen door vezels bij draft tube systemen, in leidingen, warmtewisselaars of pompen, kunnen leiden tot een afnemende efficiëntie van de apparatuur.

6.3 SETPOINTS EN RANGES VAN STUUR- EN CONTROLEPARAMETERS

Tabel 6.1 geeft een overzicht van te verwachten praktijkwaardes voor de stuurparameters, waarbij is aangegeven wat de normale praktijk uitgangspunten zijn, inclusief ranges en aandachtspunten. Onder de tabel zijn de parameters verder toegelicht.

TABEL 6.1 STUURPARAMETER IN HET SLIBGISTINGSPROCES

	Uitgangspunten	Range	Aandachtspunten
Voeding	Wenselijk is een gelijkmatige voeding over dag bijvoorbeeld 1 per uur		- Max. hoeveelheid (debiet per uur of dag) - Samenstelling (soort slib ed.) - Zowel afbreekbaarheid als ook verwerkbaarheid bepalen
Menging	Homogene samenstelling in de slibgisting binnen bijvoorbeeld 1 uur	- Gasinblazing: 1 á 2 W/(m ² .h) of 5-10 W/m ³ reactorinhoud ²⁾ - Mechanische menging: 0,5 - 1,5 W/m ³ reactorinhoud	Menging bepaalt effectiviteit van benutting reactorvolume
Temperatuur (mesofiele slibgisting)	33 - 37 °C	30 - 40 °C temperatuurschommelingen maximaal 0,5 - 1 °C/dag	Bepaalt mate van organisch stofafbraak en gasproductie wijzigingen

¹⁾ : Andreoli, Sperling and Fernandes (2007); ²⁾ : Metcalf and Eddy (2003)

6.3.1 VOEDING

Deze parameter is de belangrijkste stuurparameter en bepaalt direct de hydraulische en organische belasting van het systeem. Bij eventuele aanwezigheid toxische stoffen is de voeding uitermate belangrijk om te voorkomen dat potentiële toxiciteit tot verstoringen leidt. Het is daarom van groot belang om de voedingsstroom te beheersen ten aanzien van

- hoeveelheid; het aantal m³ per dag/week van bepaalde slib- en andere organische reststromen.
- aanvoerpatroon; de hoeveelheid van een bepaalde stroom, die per keer of per tijdseenheid naar de slibgisting gaat bepaalt in grote mate de pieken in gasproductie.
- concentratie componenten; het droge en organische stofgehalte van de aanvoer naar de slibgisting. Bij aanvoer van organische reststromen zijn ook parameters zoals pH, temperatuur en viscositeit belangrijk.

6.3.2 MENGING

De manier van mengen ligt vast in het ontwerp, maar de actuele energie-inbreng kan afhankelijk van het systeem, worden gevarieerd. Onvoldoende menging resulteert in het volgende:

- temperatuurverschillen in de gistingtank;
- het niet homogeniseren van de voedingsstroom over de inhoud van de slibgistingstank en is dus hinderlijk voor het contact tussen het substraat en de anaërobe biomassa;
- het ontstaan van kortsluitstroming;
- het ontstaan van schuimlagen (afhankelijk van drijfslagafvoer);
- het ontstaan van (zand)-afzettingen in de slibgistingstank wat leidt tot afname van het effectieve reactorvolume en de slibverblijftijd.

Een teveel aan menging is ook nadelig, omdat dit, zeker bij gasinblazen, een grote hoeveelheid energie kost (energievernietiging). Ook geldt dat door een te intensieve menging slibvlokken kapot kunnen slaan met nadelige gevolgen voor de slibontwatering en de kans op schuimvorming groter is.

Zoals al eerder aangegeven moet tijdens de bedrijfsvoering regelmatig gecontroleerd worden of de menging naar behoren functioneert. Zo kan bij mechanische mixers een grote hoeveelheid vezels leiden tot aankoeken op de mengbladen met onbalans als gevolg, kunnen draft tube systemen beschadigd raken door ophoping van grovere delen in de slibgisting en kunnen gaslansen verstopt of beschadigd (ombuiging) raken door te veel zand in de slibgisting.

6.3.3 TEMPERATUUR

Ook het aspect “temperatuur” is enigszins te zien als stuurparameter, waarbij tussen 33 en 38 °C als optimale range wordt aanbevolen. In de praktijk zal deze parameter vaak als een vaste ontwerpparameter worden gezien. Veelal wordt een overschot aan gas (warmte) gebruikt om de temperatuur van de slibgisting te verhogen tot 38 en soms wel 40 °C. Een gevolg hiervan is dat de afbraak van slib beter gaat en meer gas ontstaat en meestal ook een beter ontwaterbaar slib. Temperaturen hoger dan 40 °C moeten vermeden worden vanwege mogelijk lagere processtabiliteit en risico van verzuring.

Een temperatuur buiten het optimale bereik leidt naast een verminderde organische stofafbraak tot verminderde gasproductie afhankelijk van temperatuur en slibverblijftijd.

Een constante temperatuur is tijdens de opstart- en herstelfase belangrijker dan tijdens stabiele bedrijfsvoering met een grote buffercapaciteit. Bij alle installaties geldt dat wijzigingen langzaam moeten worden veranderd (max. 0,5 - 1 °C/dag), met name bij verhogen van de temperatuur.

6.3.4 CONTROLEPARAMETERS

Controleparameters omvatten te verwachten eigenschappen van het slib of biogas en concentraties van stoffen (ranges of gemiddelde) die beschreven zijn in het ontwerp maar moeten worden getoetst tijdens bedrijfsvoering. Een overzicht van deze parameters is gegeven in Tabel 6.2.

TABEL 6.2 C ONTROLEPARAMETER IN HET SLIBGISTINGSPROCES

	Uitgangspunten	Range	Aandachtspunten
Verblijftijd	Gemiddeld ontwerpwaarde: 20 dagen	18-25 dagen ¹⁾ 10-28 dagen ²⁾	Verblijftijd bepaalt substraatometting met een bepaalde uitgegist slib kwaliteit als gevolg
Biogas Productie	850 l/kg zuiverings-slib prim.+ sec.slib) omgezet	0,70-1,30 Nm ³ /kg 0,75-1.12 Nm ³ /kg ²⁾	Biogasproductie afhankelijk van slibsamenstelling, temperatuur, HVT
Samenstelling	60-65 % CH ₄	50-70 %CH ₄ 29-50 %CO ₂	
pH	6,5 – 7,6 7,0-7,2, aanbevolen in ¹⁾	>6,0 en <8,5	Remming slibgistingsproces door lage of hoge pH ³⁾
Alkaliteit	2.000 mg/l TAlk	1.500-5.000 mg/l TAlk 4.000-5.000 mgCaCO ₃ /l BAlk ¹⁾	BAlk-waarde afhankelijk van TAlk, concentratie vluchtige vetzuren, pH en CO ₂ %
Vluchtige vetzuren	<200 mgHAc/l ¹⁾	0-400 mg HAc/l	
Macronutriënten		30:42:12:6:1 C:H:O:N:P	- Remming van afbraakprocessen bij te lage concentraties; - Eventueel bijdosering nutriënten noodzakelijk
NH ₄ -toxiciteit	< 500 ppm	100 - 5.000 ppm	- Toxisch > 3.000 ppm
Sulfiden	100-11.000 ppm	700-2.200 ppm	- Sulfidevergiftiging mogelijk;
(Zware)metalen	Zie Tabel bijlage 2	Zie Tabel bijlage 2	- Sommige metalen als micronutriënten, maar ook vergiftiging mogelijk;
Organische stoffen	Zie Tabel bijlage 2	Zie Tabel bijlage 2	- Remming slibgistingsproces mogelijk
Anorganische stoffen	Zie Tabel bijlage 2	Zie Tabel bijlage 2	- Remming slibgistingsproces mogelijk
Vluchtige vetzuren		100 – 2.000 mg/l	
Ander gedoseerde chemicaliën			- Mogelijke nadelige effecten van vlokhelpmiddelen zoals aluminiumzouten en ijzerzouten

¹⁾ : Andreoli, Sperling and Fernandes (2007); ²⁾ : Metcalf and Eddy (2003); ³⁾ : de Lemos Chernicharo, C.A. (2007)

6.3.5 VERBLIJFTIJD

De slibverblijftijd in een volledig gemengde tank is gelijk aan de hydraulische verblijftijd. De minimale benodigde verblijftijd wordt bepaald door de groeisnelheid van bacteriën, zie hoofdstuk 2. Een te korte verblijftijd resulteert in een eventuele uitspoeling van methaanvormende bacteriën. In principe is deze parameter is een ontwerpparameter maar de praktijkwaarde varieert met een aantal parameters, de slibbelasting, reactorvolume, temperatuur, afbreekbare deel organisch stof (VSS), ophoping van zand en vezelkluwen etc.. Een te korte verblijftijd resulteert in een uitspoeling van biomassa en daardoor een afname van de substraatomzetting en een verslechtering van de kwaliteit van het uitgegiste slib. Daardoor kan verzuring optreden.

6.3.6 BIOGASPRODUCTIE

De biogasproductie, in m³ of l/kg organische stof afgebroken, varieert met de samenstelling van het aangevoerde slib (bijvoorbeeld 790 l/kg koolhydraten afgebroken, 700 l/kg eiwitten afgebroken en 1.270 l/kg vetten afgebroken). Een constante verhouding van primair en secundair slib is dan ook erg belangrijk voor een constante gasproductie. Dit is echter in de praktijk vaak moeilijk te realiseren door wisselende slibproducties. Een variabele slibsamenstelling resulteert dan ook in een variabele biogasproductie met mogelijk zelfs grote pieken in biogas die afgefakkeld of gespuid moet worden door te grote variatie in de samenstelling van de slibaanvoer naar de slibgisting.

- Pieken in biogasproductie vaak door grote variaties in slibaanvoer en -samenstelling;
- Gasproductie is ook afhankelijk van de temperatuur in de gistingtank.

Doordat de gisting een gemengde tank is, waarbij ook kortsluitstromen kunnen voorkomen, is de gemeten afbraak vrijwel altijd lager dan de theoretische afbraak. Een heel hoge biogasproductie in m³/kg organische drogestof afgebroken duidt in de regel meer op meetfouten dan op een heel goede afbraak.

6.3.7 PH, ALKALITEIT EN VLUCHTIGE VETZUREN

Naast een optimale pH is ook het bufferend vermogen belangrijk bij het "opvangen" van pH-pieken, zie ook paragraaf 2.3.2. De relatie tussen bicarbonaat-alkaliteit (Balk) en totale alkaliteit (TAlk) wordt gegeven door de volgende formule:

$$Balk = TAlk - 0,71 * [VFA] \quad (5-1)$$

Dus naast het CO₂-evenwicht speelt ook het vetzuurgehalte een belangrijke rol.

Lage en hoge pH's kunnen slibgistingsproces remmen, door verstoring van enzymatische activiteit en beïnvloeding van toxiciteit van stoffen. Op basis van voorgaande formule en hetgeen in hoofdstuk 2 is beschreven geldt het volgende:

- hoge pH kan leiden tot minder hydrolyse van biologisch materiaal;
- bepaling BAlk-waarde afhankelijk van pH en CO₂%;
- beter opvang van lage pH-piek bij hoge BAlk;
- BAlk stijgt met bij stijging TAlk en/of door afname concentratie vluchtige vetzuren.

6.3.8 NUTRIËNTEKORT

Indien bepaalde nutriënten in te lage concentraties of helemaal niet voorkomen kan remming van de afbraakprocessen optreden, zie hiervoor ook paragraaf 2.3.4. In een dergelijke situatie wordt dosering van nutriënten noodzakelijk.

6.3.9 SULFIDETOXICITEIT

Indien er bepaalde componenten aanwezig zijn in toxische concentraties zal het slibgistingproces geremd worden, zie hiervoor ook paragraaf 2.3.5.

De toxiciteit van te hoge concentraties sulfiden wordt teniet gedaan door bijvoorbeeld sulfideprecipitatie met ijzerzout. De toxiciteit van gechlloreerde koolwaterstoffen is over het algemeen desastreus, alleen het opnieuw opstarten van de slibgisting zijn de acties die resterend, omdat snel verdunnen of de oorzaak wegnemen over het algemeen niet mogelijk is.

6.4 HOE VAAK METEN EN MONITOREN

In onderstaande Tabel 6.3 staat een overzicht van de te meten parameters met bemonsteringsfrequentie om het slibgistingproces te monitoren, zoals het door De Lemos als wenselijk wordt gezien. In de praktijk wordt nu veel minder gemeten. Het overzicht kan voor specifieke situaties worden uitgebreid, bijvoorbeeld met monitoring van bepaalde toxische componenten die verwacht kunnen worden (ammonium, sulfide). Een overzicht hiervoor is gegeven in Bijlage 2.

Naast het bemonsteren van het slibgistingproces is het ook aan te raden geregeld de meng-efficiëntie en het effectieve volume van de reactor te bepalen door visuele inspectie (indien mogelijk), omdat dit de belangrijkste parameters zijn voor de bepaling van de slibverblijftijd (zie paragraaf 2.4.2).

TABEL 6.3 MONITORING VAN EEN ANAËROBE SLIBGISTING (DE LEMOS CHERNICHARO, C.A., 2007)

Parameter	Eenheid	Aanvoer naar slibgisting	Gistend of uitgestist slib	Biogas
Totaal drogestof (DS)	mg/l	Wekelijks	Wekelijks	--
Organisch stof (%TSS)	mg/l	Dagelijks	Dagelijks	
CZV	mg/l	Wekelijks	Wekelijks	--
Biogas productie	m ³ /d	--	--	Dagelijks
Biogas samenstelling	%CO ₂	--	--	Maandelijks
Temperatuur	°C	Dagelijks	Dagelijks	--
pH	-	Dagelijks	Dagelijks	--
Bicarbonaat alkaliteit	mg/l	Wekelijks	Dagelijks	--
Vluchtige vetzuren	mg/l	Wekelijks	Wekelijks	--
NH ₄ ⁺ -N	mg/l		Wekelijks ³⁾	
Totaalfosfaat	mg/l		Wekelijks	
Specifieke methanogene activiteit	gCZV/gVS.d	--	Incidenteel	--
Slibstabiliteit	gCZV/gVS.d	--	Incidenteel	--

Dagelijks: alleen als invoer sterk varieert in kwaliteit en kwantiteit, anders wekelijks

6.5 CONTROLEREN FUNCTIONEREN SLIBGISTING

Op basis van de uitgevoerde metingen en berekeningen is het mogelijk om de uitkomsten hiervan te controleren met de ontwerpwaarden (O) of de parameters gegeven in dit handboek (H). In de onderstaande tabel is aangegeven voor de stuur- en controleparameters hoe en waarmee deze gecontroleerd kunnen worden.

Het vaststellen van een van onderstaande indicaties hoeft niet vanzelfsprekend te resulteren in het (ernstige) verstoring van het slibgistingproces. Een procesverstoring gebeurt meestal niet onmiddellijk, maar zal pas na enige tijd plaatsvinden als er geen actie wordt onder-

nomen. Een procesverstoring is meestal het gevolg van een of combinatie van meerdere indicaties die niet op tijd zijn opgemerkt of zijn genegeerd. Vermijding van een procesverstoring is mogelijk, als door het monitoren van procesparameters een afwijking van een verwachte prestatie of zelfs een procesinstabiliteit wordt opgemerkt en hierop actie wordt ondernomen. Een frequentere meting van de afwijkende procesparameters kan dan tijdelijk noodzakelijk zijn (zie hoofdstuk 3.4).

TABEL 6.4 TE CONTROLEREN PARAMETERS EN VERVOLGACTIES

Parameter	Uitkomst van	Vergelijk met Ontwerp (O) / Handboek (H)	Actie nodig als uitkomst hoger is dan wenselijk	Actie nodig als uitkomst lager of hoger is dan wenselijk
Voeding debiet (m ³ /h)	meting	0	Controleren setpoint en technische installatie (is er iets mis?)	Geen directe actie, behalve als debiet niet hoger wil, dan controleren installatie (bijv. slijtage pompen)
Verblijftijd	berekening	0	Zie voeding debiet	Geen, biedt perspectieven om iets extra te verwerken
Voeding samenstelling (%)	lab/meting	0	Als drogestof en organische stof te hoog wordt, controleren van gasproductie. Als kans op remmende stoffen, dan extra alert op verstoringen. Extra metingen uitvoeren, zoals pH, Alk, VFA, en gassenstelling	Geen, behalve als drogestofgehalte te laag wordt (< 2,5% DS)
Temperatuur (°C)	meting	0	Controleren setpoint, meetapparatuur en werking warmtewisselaar	Controleren setpoint, meetapparatuur en werking warmtewisselaar
pH	meting	H	Controleren setpoint en meetapparatuur. Extra metingen uitvoeren, zoals temperatuur, Alk, VFA, en gassenstelling	Oppassen op verzuring. Controleren setpoint en meetapparatuur Extra metingen uitvoeren, zoals temperatuur, Alk, VFA, en gassenstelling
Alkaliteit	lab	H	Controleren voeding (samenstelling en debiet) en meten pH	Geen
Vluchtige vetzuren (VFA)	lab	H	In combinatie met lage pH en alkaliteit bestaat kans op verzuring	Geen
Biogas debiet (Nm ³ /h)	meting	0	Als productie groter dan verwerkingscapaciteit dan voeding minderen, evt deel slib bufferen of om gisting heen leiden. Bij plotselinge daling: voeding stoppen en controleren	Controleren voeding (samenstelling en debiet) en controleren op remmende stoffen. Meten van pH, alkaliteit en VFA en nagaan of menging functioneert
specifieke gasproductie	berekening	0 / H	voeding (samenstelling+debiet)	voeding (samenstelling+debiet) zie biogas debiet
samenstelling (CH ₄ /CO ₂)	lab / continu	H	Als aandeel methaan groter dan geen directe actie nodig	Als methaanconcentratie afneemt dan controle van samenstelling voeding en meten pH, alkaliteit en VFA. Bij plotselinge daling: voeding stoppen en controleren

Indicaties voor afwijkingen van procesparameters binnen de “normale bedrijfsvoering” die mogelijk duiden op een procesinstabiliteit zijn:

- Toename concentratie van vluchtige vetzuren;
- Afname van pH en alkaliteit;
- Afname van methaanproductie;
- Toename CO₂ / afname CH₄-concentratie in biogas.

Vanuit de normale bedrijfsvoering wordt nu de stap gemaakt naar de verstoorde bedrijfsvoering.

7

VERSTOORDE BEDRIJFSVOERING

7.1 SITUATIES EN PROBLEMEN

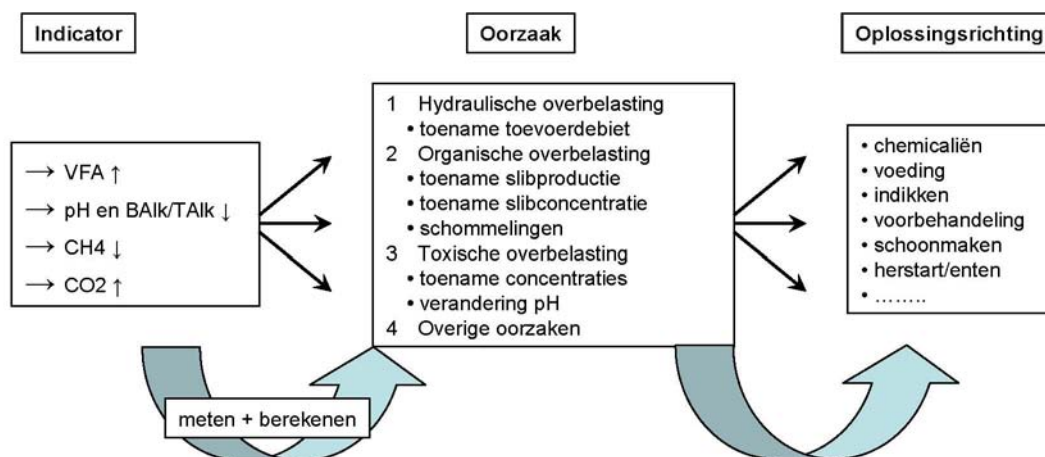
7.1.1 WAT IS VERSTOORDE BEDRIJFSVOERING?

In dit hoofdstuk is de normale bedrijfsvoering zoals beschreven in het voorgaande hoofdstuk als uitgangspunt genomen. Bij het ontwerp is het van belang om rekening te houden met situaties die kunnen voorkomen en die tot een verstoorde bedrijfsvoering kunnen leiden. Een voorbeeld hiervan is het voorkomen van een drijfslag. Bij een goed ontwerp hoeft dit niet tot problemen te leiden. Als bij het ontwerp geen rekening is gehouden met de vorming van drijfslagen kan deze wel tot grote problemen leiden.

In het kader van dit handboek wordt het volgende onder verstoorde bedrijfsvoering verstaan: *'Als gevolg van een afwijking is een situatie ontstaan waarin gehandeld moet worden om te voorkomen dat het probleem verergert en tot stoppen van het slibgisticsproces leidt'.*

In Figuur 7.1 is de relatie aangegeven tussen de indicatoren, oorzaken en oplossingsrichtingen.

FIGUUR 7.1 RELATIE TUSSEN INDICATOREN, OORZAKEN EN OPLOSSINGEN BIJ DE BEDRIJFSVOERING VAN SLIBGISTINGEN



Zoals beschreven in het voorgaande hoofdstuk is het van belang om het functioneren van de slibgisting goed te monitoren. Op basis van de meetgegevens en de berekeningen kan worden bepaald of er sprake is van een verstoorde bedrijfsvoering. In bovenstaand schema zijn de indicatoren aangegeven die hierbij van belang zijn.

Wanneer geven deze indicatoren aanleiding om te spreken van een verstoorde bedrijfsvoering? In feite zit er een nauwe scheidslijn tussen reguliere en verstoorde bedrijfsvoering, en is er zelfs een zekere overlap. Als immers de absolute waarden nog in het standaard gebied vallen, maar een trend te zien is dat één of meerdere indicatoren veranderen, kan al sprake zijn

van een verstoorde bedrijfsvoering. Er kan dan immers al een situatie zijn ontstaan waarin ingegrepen dient te worden om te voorkomen dat het probleem verergert.

Hieronder wordt nader ingegaan in de oorzaken van een verstoorde bedrijfsvoering. Daarbij is het van belang om op basis van de indicatoren de juiste oorzaak te achterhalen van het probleem. Want elk probleem vraagt een eigen specifieke oplossing.

7.1.2 OORZAKEN VERSTOORDE BEDRIJFSVOERING

De oorzaken van een verstoorde bedrijfsvoering zijn globaal in te delen in biologische en niet-biologische oorzaken. De belangrijkste oorzaken van een instabiele slibgisting worden in het volgende nader toegelicht.

HYDRAULISCHE OVERBELASTING

Hydraulische overbelasting van de slibgisting vindt plaats als de effectieve verblijftijd op een punt is gekomen waarbij sprake is van uitspoelen van biomassa omdat de groeisnelheid van methaanvormende bacteriën te laag is bij de gegeven verblijftijd. Deze overbelasting kan veroorzaakt worden als:

1. er problemen zijn met de indikking van het te gisten slib. Om de benodigde slibvracht te verwerken wordt een hoger debiet naar de slibgisting gepompt;
2. het effectieve volume van de slibgisting is afgenomen door bijvoorbeeld (zand-)bezinking, spinselophoping of drijfslagvorming; of
3. de slibproductie is groter dan waarin bij het ontwerp rekening is gehouden.

ORGANISCHE OVERBELASTING

Organische overbelasting van de slibgisting vindt plaats als de hoeveelheid organische stof in de voeding groter is dan de snelheid waarmee de micro-organismen deze organische stof kan kunnen verwerken onder evenwichtscondities. Deze overbelasting wordt veroorzaakt door:

4. een plotselinge toename in de hoeveelheid slib dat naar de slibgisting wordt verpompt;
5. een plotselinge toename in de organische-stofconcentratie van de ingaande stroom (signaal: veel gas, weinig afbraak);
6. een te snelle opstart van de slibgisting (zie ook 8.1);
7. onregelmatig voedingspatroon met zeer hoge pieken;
8. een te hoge concentratie organische drogestof in de ingaande slibstroom.

TOXISCHE OVERBELASTING

Het anaërobe slibgistingsproces is gevoelig voor bepaalde componenten, zoals sulfides, vluchtige vetzuren, zware metalen, calcium, natrium, kalium, (opgelost) zuurstof, ammonium, en gechlorideerde organische componenten. De concentratie waarbij een bepaalde stof een remmend effect (inhibitie) heeft op het proces hangt af van vele factoren zoals pH, organische belasting, temperatuur, hydraulische belasting, de aanwezigheid van andere stoffen en de verhouding tussen de concentratie van de toxische stof en de hoeveelheid biomassa. Een belangrijke rol bij de mate van inhibitie spelen antagonisme en synergisme. Antagonisme is het verkleinen van inhibitie door de aanwezigheid van andere stoffen. Synergisme is het vergroten van inhibitie door de aanwezigheid van andere stoffen. Verder kunnen micro-organismen adapteren aan toxisch materiaal, waardoor het effect lager kan zijn dan bij niet geadapteerde micro-organismen. In Tabel 7.1 is een voorbeeld gegeven van inhibitie van ammonium. Indien de ammoniumconcentratie langzaam oploopt, adapteren de organismen aan deze hoge concentratie. In dat geval zijn vooral sterke schommelingen in de ammoniumconcentratie van invloed.

TABEL 7.1

INHIBITIE VAN AMMONIUM

Ammoniumconcentratie [mg N/l]	Effect
50-200	Positief
200-1.000	Geen negatief effect
1.500 – 3.000	Inhibitie bij een pH boven 7,4 – 7,6
Boven 3.000	Toxisch

OVERIGE OORZAKEN

Naast de hierboven genoemde (biologische) oorzaken van een verstoorde bedrijfsvoering zijn er ook niet biologische aspecten die een rol kunnen spelen. Vaak zijn deze aspecten de oorzaak van (locale) overbelasting. Een gebroken menger of verstopte lansen kunnen bijvoorbeeld leiden tot onvoldoende menging in de slibgisting. Hierdoor wordt de voeding niet goed verdeeld.

Een probleem met de verwarming zal ook invloed hebben op de biologie. Onvoldoende verwarming leidt tot een te lage reactortemperatuur. Hierdoor neemt de snelheid van de verschillende processen in de slibgisting af. Te veel opwarming kan zeer nadelig zijn vanwege de afsterving van de bacteriën of onevenwichtige biologische processen. Dit geldt voor mesofiele gisting in het bijzonder bij temperaturen hoger dan 40 °C. Vooral plotselinge variaties in de temperatuur leiden tot problemen, omdat de bacteriepopulaties die betrokken zijn bij de slibgisting opnieuw in evenwicht moeten komen.

Het ontstaan van een schuimlaag leidt tot een direct probleem (verstopte afvoer van slib en gas; voorkomend oor goede zand- en roostergoedverwijdering), maar is nooit de oorzaak van het probleem. Deze oorzaak ligt in één van de eerder genoemde oorzaken. Door een goed ontwerp van de slibgisting zal het ontstaan van een schuim- of drijfslag niet tot problemen hoeven te leiden (zie hoofdstuk 6.3).

7.1.3 WANNEER WIJKT IETS AF TEN OPZICHTE VAN NORMALE BEDRIJFSVOERING?

Bij het interpreteren van de beschikbare meetgegevens en berekende gegevens is het niet alleen van belang wat de absolute waarde is, maar net zo belangrijk is de relatie tot enerzijds overige procesparameters en anderzijds de data van de voorgaande periode. Bijvoorbeeld: een pH van 8 ligt buiten het optimum gebied. Dan is het zeer van belang of dit al weken het geval is of dat de pH plotseling gestegen is. En of deze hoge pH gevolgen heeft voor de specifieke biogasproductie. De volgende indicatoren zijn van belang om de stabiliteit van de slibgisting in te schatten:

- pH;
- vetzuurconcentratie;
- buffercapaciteit;
- specifieke gasproductie;
- biogassamenstelling.

In het voorgaande hoofdstuk is de range aangegeven die past bij normale bedrijfsvoering. Zodra één of meerdere indicatoren een verandering laten zijn (die mogelijk nog past binnen de aangegeven ranges) is het van groot belang om deze veranderingen goed te monitoren.

7.1.4 WAT CONTROLEREN OM AFWIJKING TE CONSTATEREN / BEOORDELEN?

Instabiliteit van het slibgistingsproces ontstaat wanneer de verschillende deelprocessen van het slibgistingsproces 'ontkoppeld' worden. Bijvoorbeeld: Zuurvormende bacteriën produceren meer dan de zuurconsumerende bacteriën (methanogenen) kunnen verwerken, met als

gevolg een sterke stijging in de concentratie vluchtige vetzuren. De ‘ontkoppeling’ kan het gevolg zijn van een inhibitie van de methaanvormende bacteriën, een organische overbelasting waardoor de snelgroeiende zuurvormende bacteriën sneller groeien dan de methaanvormende bacteriën kunnen verwerken, of een “uitgroei” van de relatief langzaam groeiende methaanvormende bacteriën.

De mate van verandering in gasproductie is de belangrijkste en snel te traceren indicator. De verandering van biogasproductie is natuurlijk ook direct afhankelijk van het voedingspatroon. In een periode van droogte waarbij minder primair slib wordt aangevoerd zal de biogasproductie ook afnemen. Bij een toxische situatie of een overbelasting zal de specifieke methaanproductie onmiddellijk afnemen. Bij een hydraulische overbelasting zal de specifieke methaanproductie geleidelijk afnemen. Bij een organische overbelasting zal de specifieke methaanproductie geleidelijk afnemen, maar kan in het begin zelf eerst toenemen. Daarnaast is de biogassamenstelling een goede indicator om de toestand van de slibgisting te kunnen beoordelen. Het is belangrijk om beide indicatoren te monitoren om een verstoring te voorspellen. Tijdens een verstoring zal de methaanproductie afnemen. De fractie CO₂ in het biogas zal toenemen. Zie ook hoofdstuk 2.

Als de vetzuurconcentratie stijgt als gevolg van de hierboven genoemde oorzaak zal de bicarbonaat-alkaliteit worden geconsumeerd. Als deze volledig is verbruikt daalt de pH sterk tot onder de 6. Als de pH daalt verschuift het evenwicht van de vluchtige vetzuren naar de ongeïoniseerde toxische vorm. Dit heeft tot gevolg dat de potentiële toxiciteit van de aanwezige hogere vetzuurconcentraties toeneemt.

Tijdens een verstoring kan de concentratie vetzuren stijgen, zonder dat de pH daalt. De pH daalt pas als de bicarbonaatalcaliniteit voor een belangrijk deel is geconsumeerd. Tegen de tijd dat de pH daalt, kan het proces echter al behoorlijk verstoord zijn. Een meting van de totale alkaliteit geeft hierin onvoldoende inzicht, omdat dan ook de vetzuurconcentratie wordt meegenomen. Daarom moet de alkaliteit teruggerekend worden naar bicarbonaat-alkaliteit omdat deze de effectieve buffer is.

Bij een verstoring van de slibgisting is het zeer belangrijk de procesparameters alkaliteit, vluchtige vetzuren, methaan, CO₂-productie en pH gezamenlijk te beschouwen. Deze hebben immers een zeer sterke onderlinge relatie, zoals hierboven en in voorgaande hoofdstukken duidelijk is gemaakt.

7.2 OPLOSSINGEN EN BEHEERSING

In het geval van een verstoorde situatie is het allereerst van belang om de feitelijke oorzaak te achterhalen. Afhankelijk van de oorzaak is het tevens van belang om de gevolgen te beheersen. De gevolgen van een dalende pH kunnen leiden tot het geheel verzuren van de slibgisting. Het ophopen van zand leidt tot een verstoorde bedrijfsvoering, maar dit probleem is van een andere orde. Het is daarom van belang de gesignaleerde afwijking te beoordelen in relatie tot de (mogelijke) gevolgen en het huidige functioneren van de slibgisting. In deze paragraaf wordt daarom een beheersstrategie uitgewerkt om de oorzaak van de verstoorde bedrijfsvoering en te komen tot het vinden van de oplossing om het probleem te beheersen en terug te keren naar normale bedrijfsvoering.

TABEL 7.2 TECHNOLOGISCHE ASPECTEN EN ACTIES

Indicator	Acties	Verwijzing / oplossing
A te snelle daling pH	1 check pH-meter	check meetapparatuur
	2 check temperatuur (setpoint + meting)	Hoofdstuk 3 en 4 + check meetapparatuur
	3 meten alkaliteit / vetzuren	pH/vetzuur/alkaliteit
	4 check voeding	check voeding
	5 check menging	check menging
	6 check procesparameters	check procesparameters
	7 pompdebiet stopzetten/omlaag	check voiding
	8 doseren loog	pH/vetzuur/alkaliteit
B te snelle stijging pH	1 check pH meter	check meetapparatuur
	2 check voeding	check voeding
	3 check menging	check menging
C Schuimvorming slibgisting	1 voeding debiet stopzetten/omlaag/constanter	Hoofdstuk 6
	2 mengtijd aanpassen	check menging
	3 temperatuur slibgisting omhoog	Hoofdstuk 6
	4 tijdelijk/constant dosering antischuim	
	5 Al-dosering zuivering bij hoge SVI	
D Drijfslagvorming slibgisting	1 check versnijders / roostergoedverwijdering	
	2 voorkom verdere toename drjflaag	
	3 weghalen drijfslag (leeghalen / open maken)	Hoofdstuk 3 en 4
E Afname slibafbraak (berekening DS + As+ CZV-gehalten)	1 check verblijftijd	check procesparameters
	2 check voeding (samenstelling + variatie)	check voeding
	3 check specifieke biogasproductie	check procesparameters
	4 check temperatuur	Hoofdstuk 5
	5 check menging	check menging
F Biogasproductie	1 check biogasmeter	check meetapparatuur
	2 check voeding	check voeding
	3 check procesparameters	check procesparameters
	4 check menging	Hoofdstuk 6 + check menging
	5 verwarmen (verhogen Temperatuur)	Hoofdstuk 6
G Biogasproductie	1 check biogasmeter	check procesparameters
	2 check voeding (hoeveelheid/samenstelling)	check voeding
	3 check menging (wel/niet/niet goed)	Hoofdstuk 6
	4 check verwarmen (verhogen Temperatuur)	Hoofdstuk 6
H Methaangehalte biogas (slechte verbranding motor/ketel)	1 check voeding	check voeding
	2 check procesparameters	check procesparameters
	3 motor/ketel overschakelen op aardgas	
	4 biogas affakkelen	
I Methaangehalte biogas	1 check voeding	check voeding
	2 check procesparameters	check procesparameters
J Temperatuur lager dan setpoint	1 Check temperatuur instelling	Hoofdstuk 6 tabel
	2 Check temperatuurmeting	check meetapparatuur
	3 check temperatuur	check temperatuur
	4 Geen slib spuien	
	5 Toevoer beperken	check voeding
K Temperatuur hoger dan setpoint	1 Check temperatuur instelling	Hoofdstuk 6 tabel
	2 Check temperatuurmeting	check meetapparatuur
	3 Slib spuien	
L Stank uitgestig slib	1 check voeding	
	2 check vetzuren	
	3 check H ₂ S	
M (te) hoge H ₂ S-gehalten	1 check meting	
	2 check H ₂ S-verwijdering	
	3 check voeding	check voeding
	4 dosering metaalzouten	
N Slecht ontwaterbaar uitgestig slib	1 check ontwateringsapparatuur	
	2 check verblijftijd in slibgisting	
	3 check PE + vlokvorming	Eventuele check P-gehalte in slib

7.2.1 BEHEERSSTRATEGIE

De volgende beheerstrategie wordt gehanteerd:

- Signaleren afwijking indicator of storing;
- Beoordelen of directe actie noodzakelijk is;
- Achterhaal de oorzaak van de verstoring;
- Verhelp de oorzaak (zie oplossingen);
- Monitoring en sturing van de pH of andere procesparameters totdat de verstoring verholpen is.

7.2.2 TECHNOLOGISCHE ASPECTEN EN ACTIES

In onderstaande Tabel 7.2 zijn veel voorkomende storingen of afwijkingen weergegeven. Per constatering zijn de acties weergegeven die nodig zijn om de afwijking of storing te verhelpen. De acties zijn geprioriteerd. In de kolom 'verwijzing / oplossing' is een eventuele verwijzing naar andere paragrafen in het handboek.

Hieronder zijn de oplossingen nader uitgewerkt die zijn opgenomen in de bovenstaande Tabel 7.2.

CHECK MEETAPPARATUUR

Het is van groot belang om regelmatig de meetapparatuur te controleren, te kalibreren en de meetresultaten te valideren. De meetapparatuur in de slibgisting bestaat uit een biogasdebietmeting, een temperatuurmeting, een pH-meting en veelal een niveaumeting. Het is van belang dat de meetpunten vrij zijn van opgehoopt materiaal die de meting kunnen verstoren (bij voorkeur worden de metingen daarom buiten de slibgistingstank geplaatst (in de slibaanvoer of afvoer). De pH-meter dient regelmatig gekalibreerd te worden. Bij alle instrumenten geldt dat deze conform de onderhouds- en bedieningsvoorschriften van de leverancier moeten worden onderhouden.

CHECK PROCESPARAMETERS

De procesparameters specifieke biogasproductie (methaan/kg $DS_{afgebroken}$, pH, DS-afbraak en verblijftijd geven een goede indicatie over de werking van het proces. Door van de genoemde parameters te controleren of deze waarden voldoen aan de ontwerpwaarden of de waarden zoals opgenomen in hoofdstuk 5 kan worden beoordeeld of er een afwijking is.

CHECK VOEDING

Bij het aspect voeding spelen de volgende punten een rol:

- Samenstelling;
- Debiet.

De samenstelling van het ingaande slib bepaalt samen met de procesomstandigheden de afbraak en biogasvorming in de slibgisting. Een wijziging van de samenstelling van het ingaande materiaal heeft dus effect op de procesparameters van de slibgisting. Controleer daarom de samenstelling van de voeding en/of hier veranderingen in zijn opgetreden. Als bijvoorbeeld een lading vetten is verwerkt wordt duidelijk waarom de biogasproductie plotseling gestegen is.

Het debiet van de slibvoedingspompen heeft een directe invloed op de verblijftijd. Het debiet van pompen wordt vastgesteld op basis van draaiuren x ontwerpcapaciteit of op basis van een debietmeting. Door slijtage, verstopping of veranderen samenstelling medium kan het werkelijke verpompte debiet afwijken van de afgelezen waarde op basis van draaiuren. Een debietmeter is mits goed onderhouden betrouwbaarder.

Check of de pomp dat debiet geeft dat ook wordt weergegeven. Bij instellingen van loopwacht-tijd is het van belang dat de setpoints correct worden ingegeven.

Als het niet mogelijk is om voeding naar de slibgisting te verpompen is het nodig om de voeding te kunnen bufferen of elders te verwerken.

CHECK MENGING

Afhankelijk van het type menging moet gecontroleerd worden wat de mengfrequentie is, of de mechanische menger nog intact is en hoeveel gas de compressoren inbrengen en of dit gas volgens ontwerp wordt verdeeld over de slibgistingstank (visuele controle of theoretische CFD-analyse).

CHECK TEMPERATUUR

Allereerst zijn de setpoints van belang. Worden de setpoints niet gehaald, dan is het van belang te checken of capaciteit van de verwarming voldoende is voor de hoeveelheid voeding die opgewarmd dient te worden. Door verdere indikking kan de ingaande stroom verminderd worden en daarmee de warmtebehoefte. Een verstopping van de warmtewisselaars is een veel voorkomend probleem waardoor de capaciteit van de verwarming afneemt.

CHECK PH / VETZUURGEHALTE / ALKALITEIT

De pH, vetzuurconcentratie en alkaliteit zijn drie zeer belangrijke factoren voor de stabiliteit van de slibgisting. Een verandering van één van deze factoren heeft direct invloed op de andere twee. In hoofdstuk 6 wordt de onderlinge relatie besproken en de acties die nodig zijn om de waarden te herstellen. Hieronder wordt uitgebreid ingegaan op het corrigeren en handhaven van de pH op neutrale waarden.

Handhaaf de pH op neutrale waarden (indien van toepassing)

Vooral in het geval dat de slibgisting aan het verzuren is, is snel en accuraat handelen van zeer groot belang gelet op de sterke negatieve effecten hiervan. In eerste instantie dient de oorzaak van de pH-verandering bepaald en zo mogelijk weggenomen te worden. Mocht dit niet mogelijk zijn, worden noodmaatregelen genomen om de pH te corrigeren.

De pH kan dan in het uiterste geval beheerst worden door bicarbonaat alkaliteit aan de reactor toe te voeren. Deze alkaliteit zal reageren met de aanwezige vluchtige vetzuren waarbij de niet-gedissocieerde vorm wordt omgezet in de niet-toxische gedissocieerde vorm. Bicarbonaat kan worden toegevoegd als bicarbonaat of als base, waarna het reageert met CO_2 om vervolgens bicarbonaat te vormen. Kalk $\text{Ca}(\text{OH})_2$, natriumbicarbonaat NaHCO_3 , natriumcarbonaat Na_2CO_3 , ammonium hydroxide NH_4OH , natriumhydroxide NaOH en ammonia NH_3 kunnen hiervoor worden gebruikt. Ammonia heeft niet de voorkeur, omdat dit de ammoniumconcentratie in het uitgegiste slib verhoogt, wat kan leiden tot struvietvorming in de gisting (met gevaar voor toxiciteit). De snelste manier is over het algemeen het doseren van NaOH . Houd overigens wel rekening met de homogenisatietijd in de reactor, want een overdosering (te hoge pH) is ook niet wenselijk.

Gebruik van Calciumhydroxide

Bij te hoge dosering $\text{Ca}(\text{OH})_2$ kan het calcium een reactie aangaan met CO_2 , zie ook hoofdstuk 2, waardoor CaCO_3 wordt gevormd, wat relatief onoplosbaar is en gemakkelijk neerslaat. Door het evenwicht tussen de vloeistof en de gasfase zal CO_2 uit de gasfase overgaan naar de vloeistoffase. Verdwijnen van CO_2 uit de gasfase kan een vacuüm veroorzaken in de tank. Als gevolg hiervan kan er lucht (zuurstof!) in de gasfase komen of het dak kan worden beschadigd (overdrukbeveiliging).

Gebruik van bicarbonaat

Door het toevoegen van natriumbicarbonaat wordt direct bicarbonaat toegevoegd. Hierdoor wordt geen CO₂ geconsumeerd met de hierboven beschreven risico's. Echter is het wel van belang om een overdosering van natrium te voorkomen. Natrium is remmend bij concentraties tussen 3.500 en 5.500 mg/l en zeer sterk remmend vanaf 8.000 mg/l. Bij toevoegen van alleen bicarbonaat zal de pH stijgen tot maximaal 8,3.

Bepaling benodigde chemicaliën dosering

Het is dus zeer belangrijk om de juiste hoeveelheid chemicaliën te doseren om enerzijds voldoende bicarbonaat in de slibgisting te brengen en anderzijds de negatieve effecten te voorkomen of te minimaliseren. De benodigde hoeveelheid chemicaliën kan op verschillende manieren bepaald worden. Enerzijds middels de titratiemethode en anderzijds middels de concentratie vluchtige vetzuren.

Bij de titratiemethode wordt met behulp van titratie chemicaliën gedoseerd aan een representatief slibmonster totdat de pH gestegen is tot de gewenste pH (6,7-6,8 bij kalk en circa 7,0 bij andere basen). De benodigde totale hoeveelheid chemicaliën wordt vervolgens bepaald op basis van de verhouding tussen het gebruikte volume van de slibgisting en de hoeveelheid monster.

Bij de andere methode wordt allereerst bepaald hoeveel alkaliteit gewenst is (waarden tussen de 500 en 1.000 mg/l). Vervolgens wordt de hoeveelheid alkaliteit berekend die nodig is om de aanwezige vluchtige vetzuren te neutraliseren (0,83 x vetzuurconcentratie). De benodigde alkaliteit wordt berekend op basis van de gewenste alkaliteit en de berekende alkaliteit. Er kan gecorrigeerd worden voor de nog aanwezige alkaliteit. Vervolgens kan de hoeveelheid benodigde chemicaliën worden berekend. Hierbij dient rekening gehouden te worden met het hoeveelheid alkaliteit per eenheid product.

Om locale overdosering te voorkomen en het effect van de dosering goed in te kunnen schatten is het raadzaam om de benodigde hoeveelheid niet in een keer, maar gelijkmatig te doseren in een periode van 3 – 4 dagen. Na doseren van de chemicaliën is goede menging van de slibgisting belangrijk. Door de vetzuurconcentratie te bepalen, de pH te meten en de alkaliteit te meten kan het effect van de dosering optimaal gevolgd worden. Belangrijk om te zorgen dat de installatie technisch in goede staat is, zodat er bijvoorbeeld geen vacuüm kan ontstaan en dat toxiciteit door een overmaat van (kat)ionen wordt voorkomen.

Achterhaal de oorzaak van de verstoring, door middel van:

- aanvullende metingen;
- data-analyse.

Verhelp de oorzaak (= oplossingen):

- aanpassen alkaliteit door een supplement toe te voegen;
- het voedingsschema aanpassen;
- indikken voeding;
- industriële voorbehandeling (verwijderen toxische componenten);
- schoonmaken slibgisting;
- herstarten slibgisting.

Naast het doseren van chemicaliën zijn er ook andere controle mogelijkheden om het proces in evenwicht te brengen:

- indien mogelijk kan de voeding worden aangepast zodat de aanwezige vetzuren worden gereduceerd tot normale concentraties;
- enten van de slibgisting;
- pH-controle door het strippen van het gas (CO₂ verwijderen) (werkt alleen bij gasinblazing);
- doseren chemicaliën bij toxiciteit.

Monitoren en sturen van de pH of andere factor totdat de verstoring verholpen is.

7.2.3 TECHNISCHE ASPECTEN EN ACTIES

Naast technologische storingen zijn er ook technische storingen denkbaar. Vaak is er een relatie tussen de technologische en de technische storingen. In de onderstaande Tabel 7.3 zijn de meest voorkomende technische storingen opgenomen. Per verstoring is opgenomen hoe deze geconstateerd kan worden. In de laatste kolom wordt vermeld welke oplossing mogelijk is om de verstoring te verhelpen.

TABEL 7.3 TECHNISCHE ASPECTEN EN ACTIES

Probleem/Verstoring/afwijking	Constateren (meten/monitoren)	Oplossing
zand in slibgisting	inspectie/schoonmaken	inertiseren en leeghalen via onderaftappen of buitenbedrijfstelling
overloop slibgisting		ontwerpen of aanpassen onderaftappen
bepaalde afbraak	limitatie slibafbraak lage doorzet gasinblaaslanzen temperatuur omlaag meting gloeirest omhoog	
roostergoed in slibgisting	inspectie/schoonmaken hoog niveau meting slibgisting overstort slibgisting/naindikker verstopping slibsloten verstopping overstorten	onttrekking van slib inertiseren en leeghalen rooster plaatsen/vervangen versnijder plaatsen regelmatig onderhoud
verstopping pompen	storing hoofdstroom thermische storing storingsmelding drukstoring	ontstoppen plaatsen versnijderpomp versnijder/rooster plaatsen
verstopping warmtewisselaars (roostergoed, bladeren, etc.)	thermische storing pompen drukverschilmeting (voor en na WW) drukbewaking/beveiliging pompen slechte warmteoverdracht lekkage storing mengklep temperatuur slibgisting omlaag	schoonmaken/ontstoppen versnijder plaatsen reparatie/vervangen rooster vervangen warmtewisselaar
verstopping gasinblaaslanzen	checken menging biogasproductie door zand in slibgisting hoge druk gascompressor doorsteken d.m.v. veer	opnemen onderhoudsprogramma leeghalen slibgisting doorspoelen/doorblazen gaslanzen intensiever mengen
verstopping leidingwerk (voor, in en achter) slibgisting	oplopende druk in slibgisting lekkage aansluitingen (bijv. dak) hoog niveau slibgisting overstort struivetvorming, bijvoorbeeld via camera-inspectie	verstopping verwijderen/schoonmaken met hoge druk plaatsen beveiliging leiding repareren
mankementen gasinblazing	doorstroommeters defect compressor corrosie	doorblazen repareren/vervangen
mankementen mechanische menging	thermische storing waarnemen storingsmelding	repareren/vervangen menger repareren vervangen rooster plaatsen versnijder teruglaten draaien menger
struivetvorming	verstopte en gescheurde leidingen inspectie/controle	meer voordruk pompen pompen afwisselend schakelen plaatsen magneten, Chemicaliën (PE), aanpassen leidingwerk, aanzuren, etc. montage fakkels optimalisatie gasverbrandingstoestellen gasdrukmeter in leiding aanpassing leidingwerk Waterslot installatie overdruk- en onderdrukbeveiliging
ongecontroleerde gasspui	waarnemen meten hoge gasproductie en drukval leeglopen gashouder storing over- of onderdruk/beveiliging aan alarm na regen/verwerking van veel primair slib	

Probleem/Verstoring/afwijking	Constateren (meten/monitoren)	Oplossing
lekkages biogas	gasproductie laag lekkages waarnemen drukval bij afpersen lekkages slibsloten tijdens controle	Ventilatie vervangen/reparatie leiding aanpassing leidingwerk gaten afboren en afvullen bekisting en afdichting slibslot
corrosieproblemen	waarnemen	vervangen leiding Schilderen
(bijna)ongevallen	brand dak van slibgisting er af gashouder ontzetting	aanpassen leidingwerk (buiten gaszone)
condensaat in gasleidingen	drukopbouw waarnemen in condenspotten/condensaflaat slijtage compressoren	toepassen waterslot aftappen en pompen (automatisch/handmatig) plaatsen gasconditionering, koolfilter en gaskoeler Gasdroging condenspotten
overmatige condensproductie, slechte condensafvoer	slechte verbranding	potten verbeteren aanpassen leidingen gasbehandeling regelmatig onderhoud
risico op explosie-onveilige situaties		bebording aanpassen leidingwerk (buiten gaszone) ATEX vergunning/hanteren voorschriften ATEX-proof schakelmateriaal invoeren werkinstructie
vervuiling mengers	thermische storing verstopping lansen vezels op mechanische menger	reparatie/vervangen mengers schoonmaken slibgisting regelmatig onderhoud
problemen met overdrukmeting	schommelingen drukmeting invloed koud weer	aanpassen leiding waterslot controleren/opnieuw vullen
problemen met biogasmeting	afwijkende metingen storing/wegvallen meting vervuiling	vervangen meter schoonmaken en kalibreren
problemen met evenredige voeding problemen met Siloxaan	afwijking DS/OS per slibgisting Aankoeking / neerslag in de gasmotor	plaatsen biogasmeter per tank plaatsen filter voor gasmotor

7.3 RISICOBEBEERSASPECTEN

7.3.1 INLEIDING

In deze paragraaf wordt ingegaan op de risico's, die ontstaan zijn meegenomen in het basisontwerp, de procescontrole en/of de bedrijfsvoering, Belangrijke procesparameters die verstoord kunnen worden zijn:

- Onjuiste slibverblijftijd, als gevolg van:
 - Ophoping zand in slibgisting waardoor de effectieve inhoud wordt verkleind waardoor de verblijftijd steeds kleiner wordt en daarmee de gasproductie terugloopt of vrijwel tot stilstand kan komen;
 - Verhoogde of variërende slibaanvoer, waardoor zogenaamde koudelagen gaan optreden en de verblijftijd niet meer homogeen is.
- Temperatuurdaling of temperatuurschommelingen, als gevolg van:
 - Storing warmtewisselaar (door verstoppingen in de warmtewisselaar of door vervuiling van de (slib-) kanalen van de warmtewisselaar, waardoor de warmteoverdracht terugloopt en daarmee de temperatuur of toename gasgebruik;
 - Aanvoer van een te hoog debiet met koud slib dat onvoldoende wordt verwarmd door de warmtewisselaar;
 - Een te klein ontworpen warmtewisselaar;
 - De vorming van scaling of andere vervuiling van de warmtewisselaar waardoor de warmteoverdracht vermindert.
- Onvoldoende slibmenging als gevolg van:
- Uitvallen slibrecirculatiepompen, waardoor de homogeniteit in de tank niet is gewaarborgd;
- Verstopping gaslansen;
- Uitvallen mechanische menging;
- Vervuiling van de mengerbladen door aanhangend vuil, waardoor de menger overbelast raakt. In de praktijk wordt om deze reden de draairichting periodiek enige tijd omgedraaid.

Aanvullende risico's waar rekening mee moet worden gehouden zijn:

- Condensaat in gasleiding, doordat het vrije water niet wordt afgevoerd door de ligging van de leidingen of door onvoldoende condensafvoer voorzieningen. Hierdoor kan de gasafvoer of gasaanvoer worden geblokkeerd als de gasdruk onvoldoende gewaarborgd is;
- Te hoog H_2S -gehalte in biogas, waardoor corrosieschade optreedt aan de verbrandingsapparatuur (CV-ketel, gasmotor, eventueel corrosiegevoelige materialen in het biogassysteem. H_2S kan worden verwijderd door dosering van ijzerchloride of andere ijzerverbindingen in de slibgisting of een nabehandelingmethode in de aanvoer naar de gasverbruikers;
- Schuimvorming, de oorzaken zijn zeer divers, zie hiervoor de STOWA rapportage "inventarisatie van omvang en kenmerken van schuimvorming in de slibgisting" rapport nr. W07, 2007;
- Roostergoed en zandophoping in de slibgisting.

7.3.2 SLIBVERBLIJFTIJD

ZANDVERWIJDERING

Zandverwijdering in de waterlijn of de sliblijn is van belang om zandafzettingen in de slibgistinginstallatie tegen te gaan. Zandafzettingen in de slibgisting resulteren in een kleiner operationeel volume waardoor de verblijftijd wordt verkort. Als de rwzi echter niet is uitgerust met een zandvanginstallatie kunnen zandafzettingen ontstaan in de tank. Hiervoor moet er een bepaald compensatievolume van enkele procenten (2-10%) op het operationeel inwendig slibvolume worden bepaald dat bij het minimaal benodigde volume moet worden opgeteld.

VERS SLIB BUFFER/TOEVOER

In de optimale situatie wordt het slib zo constant mogelijk aangevoerd naar de slibgistingstank. Hierbij is het van belang dat de rwzi zo constant mogelijk wordt bedreven. Aanwezige pieken kunnen worden opgevangen door een buffer in de waterlijn of een versslibbuffer in de sliblijn voor zowel primair als secundair slib (functiescheiding tussen buffer en indikker!). Voor primair slib wordt het slib gravitair ingedikt voor secundair slib wordt veelal een mechanische indikker toegepast. Een dergelijk buffer is dan tevens in staat om variaties en pieken in de dagelijkse aanvoer en DS-gehalte van de specifiek te bufferen stroom op te vangen en af te vlakken. In verband met fosfaatafgifte, stankoverlast en vroegtijdige slibgisting is het van belang dat de verblijftijd niet te lang wordt. Zodoende kan voor een (ingedikt)slibbuffer een verblijftijd van circa 1 dag worden aangehouden. In Nederland zijn vrijwel alle slibgistingstanks uitgevoerd met een extra (ingedikt) slibbuffer in de vorm van één of meer indikkers.

Ook kan een optimale sturing vanuit de versslibtoevoer door middel van een goede regeling van de voorindikking problemen met betrekking tot een variërende slibtoevoer wegnemen. Om dit te bewerkstelligen is het van belang dat de slibspiegel in de slibindikker wordt gehandhaafd op een constante waarde en dat er een gelijkmatige onttrekking/voeding plaatsvindt. Een goede slibspiegelmeter is hiervoor gewenst. Het is ook mogelijk om de voeding aan te passen aan de biogasvraag. Om dit mogelijk te maken is het van belang dat er een buffer wordt voorgeschakeld aan de slibgistingstank (of voldoende buffercapaciteit in de indikker). Er moet dan echter wel rekening worden gehouden met het feit dat de verblijftijd niet te lang moet worden in verband met rotting e.d. Daarbij kan in de voorbezinktank of in een voorindikker gebufferd worden. Het laatste heeft de voorkeur om de bedrijfsvoering van de waterlijn niet te verstoren. Optimaal is de toepassing van een buffertank naast een voorindikker.

Tegelijk met de toevoer vindt ook afvoer van gegist slib plaats door middel van een overstortbak. Hiermee wordt tevens het slibniveau in de slibgistingstank constant gehouden.

Als de tank wordt voorzien van aftappunten kan gemakkelijk informatie worden verkregen over het functioneren van het slibgistingsproces, inclusief de menging. Op deze manier kan de verdeling worden bepaald van de temperatuur, het DS-gehalte en de gloeirest.

Als op de slibgisting ook externe slibben van andere rwzi's wordt mede uitgegist is het van belang dat de logistiek en de buffervoorzieningen voldoende zijn een om een zo constant mogelijke belading van de slibgisting te handhaven.

7.3.3 TEMPERATUUR

STORING WARMTEWISSELAAR

In paragraaf 4.7 zijn verschillende mogelijkheden om het slib te verwarmen beschreven. Tevens zijn de verschillen tussen de technieken aangegeven zodat per situatie kan worden beschouwd welke verwarmingstechniek het meest geschikt is. In het ontwerp moet er rekening mee worden gehouden dat de warmtewisselaar niet wordt ondergedimensioneerd.

Storingen in extern opgestelde warmtewisselaars kunnen optreden door verstoppingen in de warmtewisselaar of door vervuiling en scaling van de (slib)kanalen van de warmtewisselaar, waardoor de warmteoverdracht terugloopt en daarmee de temperatuur. Scaling ontstaat door afzettingen van calcium en/of struviet, en kan worden voorkomen door een warmtewisselaar uit te rusten met een CIP (cleaning in place) installatie. Met behulp van een CIP installatie kan het systeem worden gespoeld met zure chemicaliën waardoor de afzettingen oplossen.

Warmtewisselaars die functioneren met behulp van verwarmingsplaten zijn gevoeliger voor verstoppingen dan warmtewisselaars met buizen. Als er toch verstoppingen van vuil optreedt, is het noodzakelijk dat de warmtewisselaar wordt opengemaakt zodat deze kan worden schoongemaakt en hersteld. Ook kunnen verstoppingen van vuil zoveel mogelijk worden tegengegaan door een goedfunctionerende grofvuilverwijdering. Aanvullend is het mogelijk om een extra zeefinstallatie en/of versnijders voor te schakelen aan de slibgistinginstallatie.

AANVOER VAN EEN TE HOOG DEBIET MET KOUD SLIB

Als er teveel koud slib wordt aangevoerd is de warmtewisselaar niet in staat om de gehele slibstroom voldoende te verwarmen. Dit kan worden tegengegaan door het slib zo gelijkmatig mogelijk toe te voeren aan de slibgistingstank. Dit is verder toegelicht in paragraaf 'vers slib buffer/toevoer'. Of capaciteit is te klein en. Ook moet er op worden gelet dat de warmtewisselaar niet wordt ondergedimensioneerd.

7.3.4 SLIBMENING

In paragraaf 4.6 is het uiteengezet welke technieken beschikbaar zijn om het slib te mengen. Tevens zijn de verschillen tussen de technieken aangegeven zodat per situatie kan worden beschouwd welke mengtechniek het meest geschikt is. Hieronder worden de verschillende vormen kort besproken.

UITVALLEN SLIBRECIRCULATIEPOMPEN

Bij het uitvallen van slibrecirculatie kan de homogeniteit in de slibgistingstank niet worden gewaarborgd. Dit probleem kan worden tegengegaan door te zorgen voor redundantie in de pompopstelling (n+1). Hiermee kan de slibrecirculatie in ieder geval worden doorgezet bij pompuitval, wel is het mogelijk dat deze minder wordt.

VERSTOPPEN GASLANSSEN

Gaslansen kunnen verstopt raken door diverse oorzaken. Zo is het mogelijk dat de gaslansen verstopt raken door een aanwezige drijfslag op het slib in de slibgistingstank. Een drijfslag kan worden tegengegaan door het toepassen van voldoende menging en een slibniveau handhaving. Gaslansen kunnen ook verstopt raken door zandophoppingen op de bodem. Dit kan worden tegengegaan door de gaslansen hoger van de bodem op te stellen of door een goede zandverwijdering toe te passen in de waterlijn of in de sliblijn. Ook is het mogelijk om in plaats van gaslansen mechanische menging toe te passen, waarbij echter een aanzienlijke inspanning gevraagd wordt.

UITVALLEN MECHANISCHE MENGING

Het kan voorkomen dat de mechanische menger uitvalt. Hiermee kan rekening worden gehouden door een solide menger te installeren waarbij de kans op uitval wordt geminimaliseerd. Een andere mogelijkheid is door reserveonderdelen op voorraad te nemen. Zodat bij uitval de menger zo snel mogelijk weer kan worden ingezet. Dit is niet per definitie een structurele oplossing omdat door zandophoping weer problemen kunnen ontstaan.

VERVUILING VAN DE MENGERBLADEN DOOR AANHANGEND VUIJL

Indien er doorslag van vuil plaats vindt kan dit de mengbladen van de mechanische menger vervuilen, waardoor deze wordt overbelast. Dit kan worden tegengestaan door de draairichting periodiek enige tijd om te draaien. Ook in dit geval is een goede grofvuilverwijdering van belang, deze kan worden uitgebreid met het voorschakelen van een zeefinstallatie en/of versnijders voor de slibgistinginstallatie.

7.3.5 CONDENSAAT IN GASLEIDING

Vocht en waterdamp in biogas worden omgezet in water en/of ijs wanneer de temperatuur en/of druk van het biogas verandert. Dit kan resulteren in corrosie en verstoppingen van leidingen en (motor)onderdelen van zowel de ketelinstallatie als de WKK. Ook moet waterdamp en vocht worden verwijderd uit het biogas om de vorming van zwavelzuur en als gevolg daarvan corrosie te voorkomen. De mate van corrosie wordt tevens bepaald door het type materiaal dat is gebruikt voor verschillende installatieonderdelen. Ontvochtigen of het verwijderen van condensaat kan via verschillende technieken worden bereikt. veel gebruikte technieken zijn het koelen van het biogas, condensatie, of met actiefkool gecoat met silicagel of aluminiumoxide. Deze technieken zijn hieronder verder uitgewerkt.

ACTIEF-KOOLFILTRATIE

Actiefkoolfiltratie gecoat met silicagel betreft een chemische filtratietechniek waarbij het actiefkool fungeert als drager materiaal. Door een actiefkoolfilter te gebruiken voor ontvochtiging verliest het echter capaciteit voor het verwijderen van de andere vervuilingen.

CRYOGENE GASREINIGING (CONDENSPUT)

Cryogene gasreiniging werkt op basis van de condensatie temperatuur. Voor de verwijdering van vocht wordt het biogas tegen een gekoelde RVS plaat aangeblazen waarop het water condenseert. Temperaturen tussen de 5 en 10 °C worden gebruikt voor de verwijdering van vocht. Deze lage temperatuur kan worden bereikt door een elektrisch koelsysteem maar ook door het gebruik van de koelte van de bodem (een condensput). Met deze technieken wordt een vochtgehalte bereikt dat voldoende laag is voor de toepassing in bijvoorbeeld een WKK.

Een condensput inclusief leidingwerk wordt gekoeld door koelte in de grond. Energie wordt alleen gebruikt voor de afvoer van condenswater. De kosten van een condensput worden met name veroorzaakt door de aanleg van de leiding en het ondergronds plaatsen van het systeem. Om niet te diep te hoeven graven kunnen 2 condensputten in serie worden gezet. Het gas wordt in de aanloop naar de condensput afgekoeld tot ongeveer 10 °C hiermee wordt een verzadigingsvochtgehalte van kleiner dan 10 g/Nm³ gerealiseerd waarmee het gas zal voldoen aan het maatgevend vochtgehalte. De condensputten vragen ingrijpende werkzaamheden op het terrein van de rwzi. Een alternatief is biogasdroging door middel van koeltechniek (drooginstallatie).

7.3.6 TE HOOG H₂S-GEHALTE BIOGAS

Zwavel in biogas bestaat voornamelijk uit H₂S. Dit is een schadelijk gas dat vanaf 10 ppm gezondheidsproblemen veroorzaakt en bij concentraties boven 200 ppm dodelijk kan zijn. Daarnaast veroorzaakt H₂S corrosie in leidingen en (motor)onderdelen van zowel pompen, de WKK als een verwarmingsketel wanneer het in contact komt met water in een vochtige omgeving waardoor het zwavelzuur vormt. De vorming van H₂S kan worden vermeden, een andere mogelijkheid is om het gevormde H₂S uit het biogas te verwijderen voordat het biogas wordt verwerkt. De bijbehorende mogelijkheden om overlast van H₂S tegen te gaan zijn hieronder beschreven.

GEÏNTEGREERDE TECHNIEKEN

Met behulp van geïntegreerde technieken in de slibgisting is het mogelijk om tijdens de slibgisting de vorming van H₂S in het biogas te beperken. Deze technieken worden toegepast bij de bron van de H₂S vorming dus geïntegreerd in de slibgisting. Daarbij zijn twee technieken mogelijk, ten eerste biologische omzetting van H₂S met zuurstof en ten tweede chemische precipitatie van sulfide.

Met behulp van de veel voorkomende zwaveloxideerders (waaronder Thiobacillus) is het mogelijk om H₂S om te zetten in zwavel (S) of sulfaat (SO₄²⁻). Dit kan worden bereikt door het doseren van lucht inclusief zuurstof aan de slibgisting in de kopruimte van de slibgisting. De gevormde zwavel zet zich af tegen vaste media zoals ontzwavelingsnetten, muren, vloeren en plafond wat uiteindelijk kan leiden tot stalactieten van zwavel, onderhoud is dus noodzakelijk. De vuistregel bij luchtdosering aan de kopruimte is dat het geproduceerde biogas-debiet moet worden aangevuld met 5% lucht. Een andere mogelijkheid is door filtratie van het biogas door een filter waarin de bacteriën zijn vertegenwoordigd. De biologische omzetting is het meest effectief wanneer de H₂S concentratie lager is dan 2.000 ppm. Deze techniek wordt in Nederland niet als dusdanig toegepast. In Denemarken wordt het wel toegepast.

De tweede techniek is gebaseerd op chemische vastlegging van H₂S door middel van ijzer- of aluminium dosering waarbij sulfides neerslaan en slechts weinig sulfide overgaat als H₂S in de gasfase.

FILTRATIE

Met behulp van een filter kan het biogas worden gereinigd. Dit is mogelijk met behulp van een biologisch of een chemische filtratiestap.

Een biologische filter is gevuld met bacteriën die groeien op een vast medium, daarnaast wordt het filter bevochtigd met bedrijfswater (voor nutriënten) wat vanaf de bovenkant van het filter op het bed wordt gespreid. Het biogas stroomt vanaf de onderkant door het filter waarbij het H₂S wordt omgezet. Een voordeel van biologische verwijdering is dat er, buiten de nutriënten in het bedrijfswater, geen chemicaliën worden gedoseerd. Het systeem is echter wel gevoelig voor veranderingen in H₂S-concentratie en temperatuur. Daarbij zal ook het vochtgehalte van het biogas door deze techniek toenemen.

Chemische filtratie betreft vooral varianten waarbij het filtratiebed is geïmpregneerd of gecoat met ijzerzout, natrium- of kaliumhydroxide/jodide of metaaloxiden. Als dragermateriaal kunnen houtsnippers of actiefkool worden toegepast. De gevormde houtsnippers met ijzersulfide kunnen worden ingezet als meststof. Deze methoden werken het best voor de verwijdering van H₂S uit biogas met gehalten lager dan 2.500 ppm.

SCRUBBING

Naast filtratie is gas scrubbing (gaswassen) een andere veel gebruikte techniek voor de verwijdering van H₂S. Om gas te scrubben wordt gebruik gemaakt van een alkalische oplossing waarin H₂S oplost en vervolgens in een biologisch proces wordt omgezet naar elementair zwavel. De scrubvloeistof wordt hierbij geregenereerd. Omdat zowel H₂S als CO₂ oplosbaar zijn in water, kunnen deze door middel van 'scrubbing' worden verwijderd uit het biogas. In het algemeen is in biogas het CO₂-gehalte vele malen hoger dan het H₂S-gehalte waardoor de reactor kritisch ontworpen moet worden om CO₂-opname te beperken.

Het chemisch scrubben van biogas werkt volgens hetzelfde principe als het biochemisch scrubben. Met een alkalische oplossing van meestal natronloog wordt het gas gewassen. Bij chemisch scrubben wordt deze wasvloeistof niet geregenereerd en dus ook geen elementair zwavel gevormd. Deze technologie produceert dus een sulfiderijke reststroom. Ook deze installatie moet kritisch ontworpen om het scrubben van CO₂ te beperken.

Een andere mogelijkheid om H₂S te verwijderen is door deze uit te wassen met koud water bij een verhoogde gasdruk (het zogenaamde water scrubbing). H₂S en ook CO₂ kunnen uit het biogas worden verwijderd omdat de oplosbaarheid hoger is dan die van CH₄. Deze oplosbaarheid neemt toe bij hogere druk en lagere temperatuur. Na de fase met hogere druk wordt het water door een stripper gevoerd. Hier ontwijkt de CO₂ en H₂S weer door de veel lagere druk.

7.3.7 SCHUIMVORMING

Het aspect schuimvorming is uitgebreid beschreven in een onlangs gepubliceerd STOWA onderzoek (STOWA 2010). (Praktijkonderzoek naar oorzaken schuimvorming in slibgistingstanks, STOWA 2010-43), waarin uitgebreid is ingegaan op mogelijke oorzaken van schuimvorming en mogelijkheden om schuimvorming te voorkomen of te beheersen. In een eerder STOWA rapportage 'Inventarisatie van omvang en kenmerken van schuimvorming in de slibgisting' (STOWA 2007-W-07) is een uitgebreide inventarisatie gemaakt

Het onderzoek naar de schuimproblematiek richtte zich op het testen van een aantal hypothesen die aan schuimvorming ten grondslag liggen. Deze hypothesen inclusief validatie hiervan zijn gegeven in tabel 7.3.

TABEL 7.4 CONCLUSIES VALIDITEIT HYPOTHESES SCHUIMVORMING-, STABILITEIT EN BEHEERSING

Hypothese	Beschrijving	Conclusie
Schuimvorming		
1	Elke slibgistingstank heeft de potentie tot schuimvorming	waar
2	Een lagere oppervlaktespanning van de vloeistof in de slibgistingstank leidt tot een hogere schuimpotentie	waar
3	De oppervlakreactieve stoffen die in een slibgistingstank leiden tot een verlaging van de oppervlaktespanning zijn vetten, eiwitten en hogere vetzuren.	niet aangetoond
4	Een lagere hardheid van de vloeistof in de slibgistingstank leidt tot een hogere schuimpotentie	geen toetsing was mogelijk
5	Een hogere viscositeit van het slib leidt tot een hogere schuimpotentie	mogelijk waar
6	en slibgisting die niet goed presteert (reductie van organische stof, biogasproductie) heeft een hogere schuimpotentie door de aanwezigheid van oppervlakreactieve stoffen, als gevolg van de verslechtering van de afbraak van onder andere hogere vetzuren	niet aangetoond
Schuimstabiliteit		
7	Een slibgistingstank met een hoge schuimpotentie produceert een meer stabiele schuimlaag	niet aangetoond
8	Oppervlakreactieve stoffen dragen bij aan de stabiliteit van het schuim	niet aangetoond
9	Draadvormers dragen bij aan de stabiliteit van het schuim	goed toetsing niet mogelijk
Schuimbheersing		
10	afvoer van schuim draagt bij aan een goede beheersing van de schuimproblematiek	waar
11	De dosering van anti-schuim draagt bij aan een goede beheersing van de schuimproblematiek	waar

Naast de conclusies uit tabel 7.3 bleek verder uit het onderzoek dat:

- een stabiele bedrijfsvoering (voedingsregime, temperatuur, pH) van de slibgistingstank is belangrijk. Dit voorkomt waarschijnlijk de ophoping van oppervlakreactieve stoffen;
- de aanwezigheid van primair slib draagt niet bij aan het schuimprobleem. Schuimproblemen worden veroorzaakt door secundair slib;
- draadvormers spelen mogelijk een belangrijke rol bij de vorming van schuim in het voorjaar en veroorzaken daardoor mogelijk schuimproblemen;
- een goede afvoer van schuim en voldoende ruimte (voor gas) in de slibgistingstank is belangrijk om schuimproblemen te beheersen;
- de dosering van polyaluminiumchloride in bijvoorbeeld de afloop van de beluchtingstanks kan wellicht als maatregel worden gezien om schuimvorming in slibgistingstanks te voorkomen, als dit wordt veroorzaakt door draadvormers.

Op basis van de resultaten in het schuimonderzoek is een algemeen protocol opgesteld om schuim te voorkomen en bestrijden (zie tabel 7.5).

Voor het ontwerp van een slibgisting betekent het protocol dat er voorzieningen moeten worden getroffen om schuim en eventueel drijfslagen af te voeren zodat operationele problemen worden voorkomen, en dat voldoende ruimte wordt gecreëerd tussen het slibbed en de afvoer van het biogas zodat vermeden worden dat schuim in de gasleidingen komt en daar voor verstoppingen of andere problemen zorgt.

Voor verdere informatie met betrekking tot schuim wordt verwezen naar de eerder genoemde STOWA-rapportage.

TABEL 7.5

PROTOCOL PREVENTIE EN BESTRIJDING SCHUIM IN SLIBGISTINGSINSTALLATIE

	Maatregel	Richtlijn
Preventie	1) Handhaaf bedrijfsvoering slibgistingstanks conform ontwerp (verblijftijd, temperatuur en belasting)	HRT > 20d (STOWA 2007-W-07)
	2) Voorkom de vorming van licht slib in waterlijn	STOWA 2001 – 02
	3) Creeër voldoende ruimte tussen slibbed en gasafvoer	zie voorbeeld Scheemda
	4) Zorg voor een goede afvoer van slib / schuim	zie voorbeeld Hengelo
Bestrijding	1) Dosering anti-schuim	Op sliboppervlak en in recirculatie (Mulder, 2005)
	2) Controle aanwezigheid draadvormers in waterlijn	Verloop SVI in combinatie met microbiologisch onderzoek (STOWA, 1999 – 01)
	3) Dosering aluminiumzout in waterlijn voor bestrijding Microthrix	3 g Al ³⁺ × kg ds ⁻¹ × dag ⁻¹ (STOWA, 1999 – 01)

7.3.8 ROOSTERGOED EN VERSTOPPINGEN IN SLIBGISTINGSINSTALLATIES

Tijdens pieksituatie en/of onderhoud kan het roostergoed in het influent doorslaan naar de waterlijn en via de voorbezinktank terechtkomen in de slibgistingsinstallatie. Roostergoed in de sliblijn kan resulteren in verstopping en ophopingen in de slibgistingsinstallatie komen. Deze ophopingen kunnen resulteren in verkorte verblijftijden en verstoppingen. Over het algemeen vindt de roostergoedverwijdering aan het begin van de waterlijn plaats. Om doorslag van roostergoed tegen te gaan is het van belang om de roosters redundant (n+1) op te stellen.

Ook kan roostergoedverwijdering plaatsvinden in de sliblijn. In de loop van het biologische zuiveringsproces kunnen vezels, haren en doorgeslagen roostergoed spinsels vormen die voor storingen zorgen van vooral pompen, warmtewisselaars enzovoort. Een variant hierop is de roostergoedverwijdering in de retourslibstroom. Hiermee wordt continu het slib ontdaan van grove delen [7]. Ook is het mogelijk om versnijders toe te passen in de sliblijn, waardoor alle grote delen worden verkleind. Deze versnijders in een primair- of secundaire sliblijn kunnen ook worden toegepast om verstoppingen in toe- en afvoerleidingen en pompen tegen te gaan.

Roostergoed in slibgisting kan resulteren in verstoppingen van de aanvoer en de afvoer van de slibgistingsinstallatie. De verstoppingen van de aanvoer kunnen worden verminderd door toepassing van roosters of versnijders in de (pers)leiding van de pompen. Verstoppingen in de afvoer kunnen worden verminderd door de afvoer voldoende groot te kiezen. De gevolgen van verstoppingen in de afvoer kunnen belangrijk worden verminderd door toepassingen van signaleringen in de afvoer van het uitgiste slib. Verstoppingsproblemen die storingen in de menging veroorzaken kunnen worden verminderd/opgeheven door de menger periodiek van draairichting te wijzigen of door de gaslansen door de spoelen met bedrijfswater.

Ook is het van belang dat sibleidingen juist worden gedimensioneerd zodat er enerzijds geen bezinking van zand en vuil plaatsvindt en anderzijds geen verstoppingen door te krappe leidingen.

7.4 PROCESCONTROLE EN BEDRIJFSVOERING

In vorig hoofdstuk is ingegaan op hoe risico's vertaald worden in het ontwerp van een slibgisting, waarbij in de ontwerpfase keuzes worden gemaakt hoe met deze risico's moet worden omgegaan. Het uiteindelijke ontwerp waarbij keuzes worden gemaakt tussen technologische overwegingen, kosten en risico's bepaalt in grote mate hoe tijdens de bedrijfsvoering het slibgistingsproces zo goed mogelijk beheerst moet worden.

Voor het aspect procescontrole zijn de volgende controle parameters te onderscheiden:

- concentratie vluchtige vetzuren;
- alkaliteit;
- ratio vluchtige vetzuren en alkaliteit;
- pH;
- biogasproductie;
- biogassamenstelling;
- massabalans en afbraak van (organisch) drogestof in de slibgisting;
- belasting slibgisting;
- temperatuur;
- "praktische ervaring".

Een aantal van bovengenoemde parameters kunnen online gemonitord worden zoals:

- biogasproductie/biogasdebiet;
- pH;
- temperatuur.

De volgende online metingen geven additionele informatie

- debiet in slibaanvoerleidingen die in combinatie met labmeting van de slibconcentratie inzicht geven in de massabalans;
- niveaumeting in slibgistingstank;
- Wobbe-index, die tevens een inschatting geeft van de biogassamenstelling;
- druk slibaanvoerpompen;
- H₂S-gehalte biogas;

De wijze waarop de online metingen moeten worden geïnstalleerd is een onderdeel van het ontwerp van een slibgisting. Voor wat betreft het monitoren van de verschillende parameters wordt verwezen naar hoofdstuk 5.

In hoofdstuk 6 is al een beschrijving gegeven van hoe om te gaan met procesverstoringen en welke maatregelen genomen kunnen worden om deze verstoring op te heffen.

In deze paragraaf wordt per controle parameter kort aangegeven wat het belang is om deze te monitoren, welke informatie de parameter geeft en hoe in het kader van bedrijfsvoering hiermee moet worden omgegaan.

Naast het meten en registreren van de verschillende parameters is het ook belangrijk deze in de tijd te volgen en te monitoren/trenden. Veel verstoringen kunnen al in een vroegtijdig stadium worden gesignaleerd doordat er een afwijking begint op te treden van het normale patroon of trend.

Het spreekt vanzelf dat monitoring van de slibgisting aan de hand van de verschillende controle parameters moet worden gecombineerd met een regelmatige controle van de technische staat van de installatie (apparatuur en metingen).

TABEL 7.6 CONTROLE PARAMETER EN OMSCHRIJVING

parameter	omschrijving
concentratie vluchtige verzuren	vluchtige vetzuren zijn een intermediair tijdens het slibgistingproces. Bij een stabiele slibgisting zullen de concentraties beneden een bepaalde waarde blijven. Als verhoogde vetzuurconcentraties worden waargenomen is dit een aanwijzing dat een procesverstoring mogelijk aan de orde is. Als verhoogde vetzuurconcentraties worden waargenomen moet de operator aan de hand van de beoordeling van de diverse monitoring parameters nagaan welke verstoring mogelijk aan de orde is.
alkaliteit en ratio vetzuren/alkaliteit	de alkaliteit geeft de buffercapaciteit in het systeem weer. De ratio vetzuurconcentratie/alkaliteit geeft aan in hoeverre de slibgisting stabiel is. Bij een ratio lager dan 0,3 is er sprake van een goede slibgisting. Voor meer informatie wordt verwezen naar hoofdstuk 5.
pH	de pH is een gevolg van diverse reacties die in een slibgisting plaatsvinden. Bij een goed werkende slibgisting zal de pH tussen 6 en 8 liggen. Een pH-daling (tot onder 6) is een aanwijzing dat er sprake is van een procesverstoring. Meestal gaat dit gepaard met een toename van het CO ₂ -gehalte van het biogas, verhoogde vetzuurconcentraties en een afname van de alkaliteit. De combinatie hiervan duidt op een procesverstoring
biogasproductie en samenstelling	de biogasproductie is een directe maat voor de prestatie van de slibgisting. De biogasproductie moet om deze te beoordelen worden gerelateerd aan de massabalans (drogestof afbraak). Het is daarom handiger om de specifiek biogasproductie (m ³ per kg verwijderde organische drogestof) te volgen, een afname van de biogasproductie is voor de operator wel een aanwijzing om na te gaan of er sprake is van een verstoring. voor de biogas samenstelling geldt dat een toename van het CO ₂ gehalte duidt op een mogelijke procesverstoring
Massabalans	het opstellen van een massabalans is bewerkelijk maar geeft zinvolle informatie over de toestand van de slibgisting. Op deze wijze kan worden bekeken of de slibgisting optimaal functioneert, wordt overbelast of dat er sprake is van een mogelijke procesverstoring
Belasting slibgisting	De belasting van de slibgisting moet in principe conform ontwerp specificatie zijn. Daarnaast is het belangrijk dat de belasting ook constant blijft gedurende de tijd. Dit betekent dat de slibaanvoer (kwantitatief en kwalitatief) bij voorkeur continu en gelijkmatig is. Bij een ladingsgewijze voeding moeten schokbelastingen worden voorkomen omdat dit tot een meer instabiel proces zou kunnen leiden.
Temperatuur	De temperatuur moet bij voorkeur in de range 30-38 °C zijn. Belangrijker is dat bij temperatuur wijzigingen dit geleidelijk wordt uitgevoerd. Per dag zou de wijziging maximaal 0,5-1 °C mogen bedragen. De optimale temperatuur voor mesofiele gisting is 33 - 35 °C.
Praktische ervaring	Een operator die gedurende lange tijd een slibgisting bedient, kan op basis van zintuiglijke waarnemingen al vaak een eerste oordeel vellen. Hierbij kan worden gedacht aan: ogen (kleur uitgestit slib, kleur van fakkelvlam) neus (geur uitgestit slib) oren (functioneren apparatuur zoals pompen) visuele waarneming bij de slibgisting kan de operator al een signaal geven dat "iets niet in orde is". Dit, in combinatie met de controle parameters die on-line of handmatige worden gemeten, geeft de bedrijfsvoerder de nodige informatie over het functioneren van de slibgisting en de vraag of corrigerende maatregelen nodig zijn in het geval van een verstoring.

8

BIJZONDERE BEDRIJFSVOERING

8.1 OPSTART VAN SLIBGISTINGEN

8.1.1 INLEIDING

Het opstarten van een slibgisting met vers slib is meestal een langdurig proces. Er moet worden gerekend op enkele maanden voordat een stabiele procesvoering in de slibgisting is bereikt. Voordat de slibgistingsinstallatie in gebruik kan worden genomen, moeten overige voorzieningen zoals slibindikking, slibontwatering en verwarmingsinstallatie al operationeel zijn.

Voor het opstarten van slibgistingsinstallaties is een algemene handleiding niet voldoende. De opstartprocedure van een slibgisting varieert en is afhankelijk van het soort installatie en het soort te behandelen slib. In dit hoofdstuk zal worden ingegaan op de algemene richtlijnen die gelden voor het opstarten van slibgistingsinstallaties.

8.1.2 OPSTARTPROCEDURE

Voor het opstarten van een slibgisting kan de opstartprocedure in acht stappen worden ingedeeld:

1. Voorbereiden opstartprocedure;
2. Toetsen veiligheidsvoorschriften;
3. Vullen van de slibgistingstanks;
4. Opstarten van het mengsysteem;
5. Opstarten van de verwarmingsinstallatie;
6. Slibgisting enten met slib;
7. Voeden van de slibgisting;
8. Uitvoeren analyseprogramma.

VOORBEREIDEN OPSTARTPROCEDURE

Tijdens deze stap worden de voorbereidingen getroffen voor de daadwerkelijke opstart. De gehele voorziening zal voor de opstart aan een visuele inspectie moeten worden onderworpen. Er wordt geadviseerd om de gehele opstartprocedure vast te leggen in een draaiboek. Alle betrokken stafleden moeten geïnstrueerd worden over de opstartprocedure van de slibgisting en de daarbij optredende risico's.

TOETSEN VEILIGHEIDSVOORSCHRIFTEN

Het is van het grootste belang dat, voordat de werkelijk opstart gaat plaats vinden, eerst alle veiligheids- en voorzorgsmaatregelen zijn genomen. De meeste aandacht moet hierbij worden geschonken aan de risicovolle en explosieve condities rondom het gassysteem. Het beheersen van de gerelateerde risico's zijn beschreven in RisicoInventarisatie & Evaluatie documenten, die op de rwzi aanwezig horen te zijn. Zie hiervoor ook het STOWA rapport (2007-16). Voor de volledigheid wordt hier in verband met de opstart wel gewezen op de volgende veiligheidsmaatregelen die genomen moeten worden:

- alle gasleidingen en gasopslagtanks op druk moeten zijn getest vóór de opstart;
- het heeft de voorkeur dat alle gasleidingen en gasopslagtanks zijn gezuiverd met stikstofgas, zodat geen explosief mengsel kan worden gevormd. Indien wordt overwogen om tijdelijk met een explosief mengsel te werken, zijn aanvullende beheersmaatregelen nodig, dit valt buiten de scope van dit handboek;
- de affakkelinstallatie moet operationeel moet zijn.

Verder mag alleen voldoende opgeleid personeel de opstart van een slibgisting uitvoeren.

VULLEN VAN DE SLIBGISTINGSTANKS

In deze stap worden de slibgistingstanks bij voorkeur gevuld met pH-neutraal water tot aan het gewenste slibniveau. In veel gevallen kan dit normaal voorbezonden afvalwater of effluent zijn, mits de zuurgraad van dit water niet te veel afwijkt van de gewenste waarde. Het gebruik van drinkwater is over het algemeen kostbaar en niet duurzaam. Afhankelijk van de grootte van de installatie kan het vullen een aantal dagen duren. Het gewenste slibniveau is minimaal een hoogte boven de slib aflat voor de circulatie over de warmtewisselaars en de benodigde hoogte voor de menginstallatie. Zo moet bij mechanische mengers de slibgistingstank gevuld worden tot een hoger niveau dan bij gasinblazing.

OPSTARTEN VAN DE VERWARMINGSINSTALLATIE

Na het vullen van de slibgistingstank met water of slib moet zo snel mogelijk met verwarmen worden begonnen, omdat de verwarmingsinstallatie de inhoud slechts langzaam op warmt (capaciteit is ontworpen op het constant houden van de inhoud en het opwarmen van het inkomende slib en niet om snel de volledige inhoud in temperatuur te doen stijgen). Over het algemeen duurt het wel enkele dagen voordat de gisting de gewenste temperatuur heeft bereikt, natuurlijk afhankelijk in welke periode van het jaar wordt opgestart.

Als de slibgistingstank is gevuld met uitgegist slib, zal bij het stijgen van de temperatuur, de gasproductie snel op gang komen.

OPSTARTEN VAN HET MENGSTEEEM

Na het vullen van de slibgistingstank, kan het mengsteeem worden aangezet. Het is belangrijk hierbij de instructies van de leverancier op te volgen.

Zodra het mengsteeem succesvol is opgestart en de temperatuur constant is, is de slibgisting klaar voor het ontvangen van entslib en/of de eerste voeding.

SLIBGISTING ENTEN MET SLIB

Als er entslib aanwezig is, is het raadzaam om de slibgisting te vullen met entslib, bijvoorbeeld van een naburige slibgistinginstallatie of het, van zand en andere onregelmatigheden ontdane, slib dat uit de slibgistingstank is gepompt. Als leidraad wordt aanbevolen om minimaal 10% van de tankinhoud met entslib te vullen en van daaruit te gaan voeden.

Op zich is het mogelijk een slibgisting zonder entslib op te starten. In dat geval moet wel rekening worden gehouden met een opstarttijd van enkele maanden. Gebruik van entslib bespoedigt de opstart van de reactor aanzienlijk. Vaak wordt hiervoor entslib van een andere slibgisting gebruikt.

Als meerdere slibgistingstanks op de locatie aanwezig zijn, kan overwogen worden om deze niet allemaal gelijktijdig op te starten. Voordeel van het eerst opstarten van één slibgistingstank is dat de andere tanks met geadapted slib kunnen worden opgestart.

VOEDEN VAN DE SLIBGISTING

De hoeveelheid slib waarmee de slibgistingstank gevoed gaat worden is afhankelijk van het ontwerp. Het is raadzaam om niet direct de ontwerpbelasting te hanteren maar deze in de loop van de tijd langzaam te verhogen. De belasting kan bijvoorbeeld elke 1-3 dagen verhoogd worden, mits ook de belangrijkste controleparameters dat toelaten. Het is mogelijk om in circa 10 dagen naar maximum belasting te gaan waarbij elke dag 10% meer gevoed wordt totdat de normale belasting bereikt is. Het voeren van de slibgisting dient gelijkmatig plaats te vinden over een 24-uurs periode, dit om problemen met schuimvorming zoveel mogelijk te voorkomen. Het meest optimale voedingsregime zou zijn om gedurende het etmaal continu te voeren met een slibmengsel van primair/secundair slib. Als continu voeren nog niet mogelijk is, wordt geadviseerd een voedingscyclus van 5-10 min per uur aan te houden.

UITVOEREN ANALYSEPROGRAMMA

Van alle parameters is tijdens opstart de concentratie aan organische vluchtige vetzuren een belangrijke en betrouwbare parameter die een goede indicatie geeft van de processtabiliteit tijdens de opstart. Deze parameter is betrouwbaarder dan het meten van de pH, omdat deze laatste vaak te langzaam reageert op storingen in het systeem. Metingen aan de concentraties organische vluchtige vetzuren zou dagelijks moeten worden uitgevoerd. Op basis van de bevindingen kan dan het voedingsregime worden aangepast.

De concentratie organische zuren wordt uitgedrukt in azijnzuurequivalenten. Normale waarden tijdens de opstart van een slibgisting liggen tussen 100-750 mg HAC/l. Hogere concentraties zijn acceptabel bij voldoende alkaliteit in de reactor. Als vuistregel geldt dat een hogere alkaliteit een stabielere slibgisting betekent. Typisch ligt de waarde bij een goed verwarmde slibgisting tussen 1500 en 5000 mg/l.

Tijdens opstart van een slibgisting is het verder van belang de volgende parameters te monitoren:

- drogestofgehalte van het voedingslib;
- de gloeirest van het voedingslib;
- pH waarde van het voedingslib;
- drogestofgehalte van het uitgegiste slib;
- de gloeirest van het uitgegiste slib;
- pH waarde van het uitgegiste slib;
- de concentratie CaCO_3 ;
- schuimvorming;
- gasproductie en -samenstelling;
- vetzuurconcentraties;
- Alkaliteit.

8.2 BUITEN GEBRUIK STELLEN VAN SLIBGISTINGSINSTALLATIES

8.2.1 INLEIDING

Het buiten gebruik stellen van een slibgistinginstallatie kan noodzakelijk zijn omdat er een vermoeden bestaat van een groot mankement en dat onderhoud nodig is. De aanleidingen om een slibgistinginstallatie buiten gebruik te stellen kunnen zijn:

- ophoping zand of roostergoed en struvietvorming;
- inspectie van slibgistingstank (o.a. het beton- en leidingwerk op lekkages);
- onderhoud of reparatie aan specifieke procesonderdelen (van bijvoorbeeld gaslansen, mechanische mengers, biogasafvoer, slibafvoer etc.).

In deze paragraaf zal eerst uiteen worden gezet op welke wijze geconstateerd kan worden of leegzetten van de slibgistingstank noodzakelijk is als gevolg van zand- en/of roostergoedophoping en wanneer inspecties of onderhoud nodig is. Aan het einde van deze paragraaf wordt beschreven hoe een slibgistingstank op een veilige manier buiten bedrijf kan worden gesteld.

8.2.2 ZAND-, EN ROOSTERGOEDOPHOPING

ZANDOPHOPING

In rwzi influent is zand aanwezig. De hoeveelheid zand die via het influent wordt aangevoerd is van veel factoren afhankelijk, zoals het type aanvoerstelsel, het aangesloten oppervlak, de ligging van het rioolstelsel en de rwzi locatie (zandgrond of klei). Het aangevoerde zand kan zich ophopen in de slibgisting wanneer er geen zandvanger is geïnstalleerd in de waterlijn (of sliblijn) of dat deze onvoldoende functioneert. Het zand wordt dan met het primair en/of secundair slib naar de slibgisting afgevoerd, waar het bezinkt.

Door de zandophoping kan het slibgistingvolume dusdanig klein worden dat het een negatief effect heeft op het slibgistingproces en de biogasopbrengst. Om te voorkomen dat de prestatie van de slibgisting door zandophoping achteruitgaat, kan preventief zand worden verwijderd. Dit kan door het regelmatig⁴ aflaten/drainen van het zand via de bestaande aftappunten aan de tank (deze voorziening is vaak onder in de tank aanwezig). Het aflaten van zand kan ook door eens in de 10 – 20 jaar de gehele slibgistingstank leeg te zetten, dit is echter kostbaar en wordt meestal alleen uitgevoerd indien er ook onderhoud noodzakelijk is.

Omdat een slibgistingstank geen visuele mogelijkheden biedt om de hoeveelheid opgehoopt zand te inspecteren is het onmogelijk om dit snel vast te stellen. Er zijn echter wel een aantal factoren waardoor indirect kan worden vastgesteld of er een teveel aan zand zich heeft opgehoopt. Een aantal factoren zijn:

- 1 Tijd na de laatste leegstand van de slibgistingstank;
- 2 Het koud blijven van de inblaasleiding⁵ doordat deze verstopt zijn door het zand;
- 3 Een onregelmatige en/of structureel dalende biogasproductie zonder dat hiervoor andere aanwijzingen zijn;
- 4 Door een berekening van de drogestofafbraak in de slibgistingstank. Doordat de hoeveelheid biogas die wordt geproduceerd een maat is voor de drogestofafbraak kan met een slibbalans worden uitgerekend of de drogestofafbraak niet te laag is.

⁴ Frequentie hangt af van verwachte zandophoping, welke onder andere weer afhankelijk is van voorzieningen in de water-, of sliblijn om zand te verwijderen.

⁵ Uit de gehouden enquête onder 26 waterschappen, jaartal 2011

1. LEEFTIJD VAN DE SLIBGISTINGSINSTALLATIE

Omdat het leegzetten van een slibgistingstank een kostbare en tijdrovende klus is wordt het leegzetten vaak uitgesteld. Wanneer echter een slibgistingsinstallatie meer dan 20 jaar in bedrijf is zonder dat deze is leeggezet voor onderhoud of inspectie dan is het goed mogelijk dat er zich veel zand in heeft opgehoopt, dit geldt in het bijzonder voor tanks met een platte bodem. Het vermoeden wordt nog groter wanneer er gedurende die periode slecht zand is afgevangen met een zandvanger.

2. KOUDE INBLAASLEIDING

Het koud blijven van de inblaasleiding kan duiden op een beperkte doorzet van de gasinblaaslansen, welke veroorzaakt kan zijn door een ophoping van zand op de bodem van de slibgistingstanks. Indien de doorzet van de gasinblaaslansen inderdaad wordt beperkt door zand zal blijken uit het feit dat regelmatig en zeer snel na het ontstoppen van gasinblaaslansen het probleem zich weer voordoet.

3. ONREGELMATIGE EN/OF LAGE BIOGASPRODUCTIE

Een structurele lage gashouderstand en het daardoor regelmatig uitvallen van de WKK-gasmotor is een indicatie dat de biogasproductie uit de slibgisting niet optimaal is. Dit kan een gevolg zijn van een verkorte slibleeftijd door zandophoping maar kan ook duiden op een biogaslekkage! De biogasproductie uit een slibgisting heeft altijd een zekere fluctuatie als een gevolg van veranderingen in de slibaanvoer of door de start van de menging.

Het zandophopingsproces gaat echter langzaam, waarbij het effect op de prestatie van de slibgistingstank geleidelijk zal afnemen. Het is dus belangrijk om hier inzicht in te krijgen door naar de trend van de biogasproductie over een langere periode te kijken. Dit in combinatie met andere analyses naar het functioneren van de slibgistingstank, bijvoorbeeld het berekenen van de drogestofafbraak aan de hand van een slibbalans, geeft indicatie of zandophoping plaatsvindt.

4. SLIBBALANS

Het maken van een slibbalans geeft inzicht in de mate van drogestofafbraak uit de biogasopbrengst per kg aangevoerde drogestofvracht. Hierbij dient een hydraulische en stoffenbalans opgesteld te worden. Een slibbalans blijkt in de praktijk een lastige opgave door de variaties in aanvoer, temperatuur en verblijftijd in de slibgistingstank. Om deze reden is het dan ook belangrijk de slibbalans te maken over een langere periode (minimaal 1x de slibleeftijd), waarbij dan gewerkt wordt met gemiddelde van de volgende parameters:

- slibaanvoer debieten (primair, secundair en eventueel het extern aangevoerde slib);
- slibaanvoer vrachten (primair, secundair en eventueel het extern aangevoerde slib);
- drogestofgehaltes en asresten van alle ingaande slibstromen;
- drogestofgehalte en asrest van de uitgaande uitgegiste slibstroom;
- dagelijkse biogasproductie (m^3/d).

Met deze bovenstaande waarden kan naast de drogestofafbraak ook de slibleeftijd in de slibgistingstank worden berekend. Wanneer de slibleeftijd onder de ontwerpwaarde komt, dan kan dit een sterke indicatie zijn dat het volume van de tank is gereduceerd door ophoping van zand of andere afzettingen. Belangrijk is dat de berekening wordt uitgevoerd met waarden die over een langere periode zijn gemeten en waarin een dalende trend wordt waargenomen. Het blijft lastig om de aanwezigheid van te veel zand in de slibgisting te bepalen en daarmee het leegzetten van de slibgistingstank te rechtvaardigen. Wanneer echter de combinatie van

factoren goed op een rij worden gezet is het mogelijk een goede overweging voor het leegzetten van de slibgistingstank te maken.

OPHOPING ROOSTERGOED

Net als zand wordt roostergoed met het influent aangevoerd, en zal de mate van ophoping van roostergoed in de slibgistingstank afhankelijk zijn van aanwezige voorzieningen in de water- of sliblijn om roostergoed te verwijderen en de mate waarin deze voorzieningen functioneren. De aanwezigheid van roostergoed in de slibgistingstank en de mogelijke ophoping daarvan kan worden geconstateerd aan de hand van:

- Aanwezigheid van roostergoed in de overstort van de slibgisting (visuele waarneming) ;
- Drijfslag in de gaskisten⁶;
- Visuele waarneming roostergoed in de naindikker⁵;
- Regelmatig verstopping van leidingen, pompen in de aanvoer en de warmtewisselaar.

Net als bij zandophoping zal aan de hand van visuele waarnemingen, storingen, en technologisch functioneren van de slibgisting moeten worden vastgesteld of roostergoed zich heeft opgehoopt in de slibgistingstank.

8.2.3 INSPECTIE EN ONDERHOUD

INSPECTIE

Inspectie van het betonwerk van een slibgistingstank kan noodzakelijk zijn wanneer er een vermoeden bestaat dat de slibgistingstank lek is. Hierdoor kunnen ongewenste lekkages naar het grondwater optreden. Zeker wanneer een slibgistingstank meer dan 30 jaar in bedrijf is kan een inspectie op scheuren in het beton en de staat van de dilatatievoegen nuttig zijn, omdat de kans op ongewenste lekkages groter is geworden.

ONDERHOUD

Preventief onderhoud aan procesonderdelen van een slibgistingstank is van belang om een continue bedrijfsvoering van de slibgistingsinstallatie te garanderen. Met goed preventief onderhoud kan het correctief onderhoud worden verminderd en geld worden bespaard. Voor sommige onderhoudswerkzaamheden is het kostbare en tijdrovende leegzetten van de slibgistingstank niet noodzakelijk maar voor alle onderhoudswerkzaamheden geldt de plicht om het explosieveiligheidsdocument goed te bestuderen. Dit explosieveiligheidsdocument is een wettelijke verplichting voor elke slibgistingsinstallatie en moet voldoen aan de ATEX richtlijnen (ATEX 137 en ATEX 95). In dit document worden voorwaarden gesteld die moeten worden opgevolgd om het onderhoud zo veilig mogelijk uit te voeren. Hierbij staat centraal dat te allen tijde wordt gecontroleerd dat er tijdens de onderhoudswerkzaamheden er zich geen biogas in de omgeving bevindt, omdat dit een explosie kan veroorzaken. Daarbij moet gelet worden dat in de tank geen explosief mengsel gas/lucht aanwezig is en dat de explosiegrens zo kort/ snel mogelijk optreedt.

8.2.4 PROTOCOL LEEGZETTEN SLIBGISTINGSTANK

Een slibgistingsinstallatie moet voldoen aan de ATEX-veiligheidsrichtlijnen. Dit betekent dat er een explosieveiligheidsdocument is opgesteld waarin voorwaarden zijn gesteld om op een veilige manier onderhoudswerkzaamheden aan de slibgistingsinstallatie te kunnen verrichten. Voor elke situatie en locatie dient een individueel van toepassing zijnde veiligheidsdocument op te worden gesteld.

⁶ Uit de gehouden enquête onder 26 waterschappen, jaartal 2011

Als eerste onderdeel voor het buiten gebruik stellen van een slibgistinginstallatie is het raadplegen en opvolgen van het explosieveiligheidsdocument nodig voor het opstellen van een draaiboek (zie voorbeeld in bijlage 4). Hiermee wordt een eerste stap gezet naar een document (een veiligheids- en gezondheidsplan; een voorbeeld hiervan is als bijlage 5 toegevoegd aan dit handboek) waarmee betrokkenen op de hoogte moeten worden gebracht van de werkzaamheden.

Grofweg zijn er, naast het veiligheidstraject, een aantal duidelijke werkzaamheden voor het buiten gebruik stellen van een slibgistingtank. Deze zijn in chronologische volgorde:

1. Stopzetten van de opwarming, hiermee daalt de biogasproductie tot een minimum. Vervolgstappen kunnen daarom pas worden ondernomen wanneer de slibgistinginstallatie geheel is afgekoeld naar omgevingstemperatuur;
2. Stopzetten aanvoer van slib, dit gaat vaak samen met het stopzetten van de opwarming;
3. Stopzetten van de menging;

Door het stopzetten van de opwarming zal de biogasproductie tot een minimum dalen, alleen dan kan de installatie veiliger buiten gebruik gesteld worden.

Maak gebruik van veiligheidsdocumenten en procedures

Tijdens leegzetten dient de over- en onderdruk beveiliging van de slibgistinginstallatie continu gecontroleerd te worden.

Zolang de slibgistinginstallatie nog slib bevat wordt biogas geproduceerd!

Gebruik van open vuur in de nabijheid van de installatie blijft dan verboden!

De vervolgstappen voor het uit bedrijf nemen van de slibgistingtank zijn:

4. Afsluiten van de biogasafvoer naar de gashouder. Hiermee wordt voorkomen dat de tank implodeert;
 5. Affakkelen van overtollig biogas daar waar nodig
 6. Gecontroleerd afblazen van overtollig biogas daar waar nodig
 7. Wanneer de tank geleegd wordt dient de vrijgekomen ruimte te worden gevuld met stikstof of effluent. Dit om te voorkomen dat een explosief mengsel ontstaat van methaan en zuurstof.
- 7 a Bij het gebruik van stikstofgas wordt vervolgd met:
- Openen van de tank en alle daarop aansluitende leidingen zodat deze in directe verbinding met de buitenlucht komen te staan, dit nadat al het gistingsslib is verwijderd.
- 7 b Bij het gebruik van effluent wordt vervolgd met:
- Afkoppelen van de gasstraat;
 - Ventileren van de slibgistingstank;
 - Afvoeren effluent.

Zolang de slibgistingsinstallatie nog slib bevat wordt biogas geproduceerd!

Zorg voor veilig en gecontroleerd affakkelen of afblazen van overtollig gas!

Tijdens bovengenoemde stappen dient te worden voorkomen dat men zich direct boven de openingen bevindt waar eventuele restanten gas vrij kunnen komen!

Tank en leidingen blijven bij het vervolg van de werkzaamheden geopend!

Nadat de tank volledig is geventileerd kan vervolgd worden met:

8. Vaststellen door middel van draagbare detectie apparatuur of zich in de slibgistingstank géén gevaarlijke gassen (H_2S en CH_4) meer bevinden;
9. Vaststellen door middel van draagbare detectie apparatuur of er voldoende zuurstof (O_2) aanwezig is om slibgistingstank te kunnen betreden;
10. Bij het uitvoeren van werkzaamheden dient continu met detectie apparatuur het O_2 gehalte te worden gemeten. Bij twijfel of een te laag O_2 gehalte moeten ventilatoren worden geplaatst voor voldoende luchtverversing.

9

REFERENTIES

1. Andreoli, C.V., von Sperling, M., Fernandes, F., 2007, Sludge Treatment and Disposal, Biological Wastewater Treatment Series, Volume 6, ISBN: 1 84339 166 X, ISBN 13: 9781843391661
2. ATV. ATV-report DVWK-Manual 36
3. BioCycle February 2010, Vol. 51, No. 2, p. 24
4. Dalen, R., van. Keuzen en praktijkervaring met slibgisting van surpluslib toegelicht voor de rwzi Elburg, Neerslag 1999-2
5. De Lemos Chernicharo, C.A., 2007, Anaerobic Reactors, Biological Wastewater Treatment Series, Volume 4, ISBN: 1 84339 164 3, ISBN 13: 9781843391647
6. Dichtl, N., 1985, Die Stabilisation von Klärschlammen unter besonderer Berücksichtigung einer zweistufigen aero-ben/anaeroben Prozeßführung, Bochumer Workshop: Neue Lösungsansätze zur Schlammbehandlung, pp15-46, Bochum
7. EPA - design information report, 1987, Anaerobic digester mixing systems, Journal of WPCF, vol 59, no. 3
8. Haandel, A.C. van en Lettinga, G. 1994, Anaerobic Sewage Treatment: A Practical Guide for Regions with a Hot Climate, John Wiley and Sons, 222 pp
9. IEA [mwww.iea.org](http://www.iea.org)
10. Johansson, Nina, 2008, Production of liquid biogas, LBG, with cryogenic and conventional upgrading technology - Description of systems and evaluations of energy balances, Institutionen för Teknik och Samhälle, Miljö- och Energisystem, Lunds Tekniska Högskola
11. Koot. Behandeling van Afvalwater, 2e druk, prof. ir. A.C.J. Koot
12. Metcalf and Eddy, 2003, Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse, Third Edition
13. Oxychem. Hydrogen sulfide control in wastewater collection systems, Technical data sheet, Oxychem, Technical Services 800-733-1165
14. STORA. Optimalisatie van de Slibgistingsproductie. STORA-rapport 1985-02
15. STOWA. Handboek Zeven en Roosters, STOWA 2007-25
16. STOWA. Slibketenstudie I STOWA 2005-26
17. STOWA. Slibketenstudie II, STOWA 2010-33
18. TU Delft. Collegehandleiding Gezondheidstechniek ct3420 afvalwater - TU Delft
19. Wageningen Universiteit. Lettinga, G., Hulshoff Pol, L.W., Zeeman, G., Biological Wastewater Treatment, Part I: Anaerobic Wastewater Treatment, collegedictaat Wageningen Universiteit, H150-217/224, 06452511.
20. WPCF, 1985, Sludge Stabilisation, Water Pollution Control Federation

BIJLAGE 1 - RESULTATEN ENQUÊTE

INVENTARISATIE ACTUELE AANDACHT- PUNTEN SLIBGISTING

Als basis voor het handboek slibgisting is een inventarisatie van actuele aandachtspunten rondom het thema slibgisting opgesteld. Dit is gedaan aan de hand van een workshop en een enquête onder de leden van het Landelijk Technologen Platform.

1. ENQUÊTEVRAGEN

De vragen in de enquête hebben betrekking op het functioneren en op knelpunten van de bestaande gistingen binnen de waterschappen. Voor het STOWA-handboek zijn 33 open vragen gesteld over bepaalde situaties, gebeurtenissen of mankementen. Deze zijn:

VRAGENLIJST

nr	Vraag
1	vindt verzuring van de gisting plaats
2	vindt schuimvorming in de gisting plaats
3	ervaart u limitatie van de slibafbraak
4	ervaart u limitatie van de biogasproductie
5	ervaart u een laag methaangehalte in het biogas
6	ervaart u een hoog methaangehalte in het biogas
7	heeft u (last van) zand in gisting
8	heeft u (last van) roostergoed in gisting
9	vindt verstopping van pompen (in de sliblijn rondom de gisting) plaats
10	vindt verstopping van warmtewisselaars (in de sliblijn rondom de gisting) plaats
11	vindt verstopping van gasinblaaslanzen plaats
12	vindt verstopping van leidingwerk voor, in en achter de gisting plaats
13	ervaart u (overige) mankementen met gasinblazing
14	ervaart u mankementen met mechanische menging
15	kunnen en worden d.s.-monsters genomen op verschillende plaatsen in de tank ter controle van de menging
16	ervaart u (last van) struvietvorming rondom de gisting
17	vindt ongecontroleerde gasspui plaats (via afblaas)
18	heeft u lekkages van biogas in het systeem
19	ervaart u vergiftiging van de gisting
20	past u slibroosters toe voorafgaande aan de gisting
21	past u (slib)versnijders toe voorafgaande aan de gisting
22	maakt u gebruik van meet- en regelapparatuur (pH, temperatuur, druk, debiet, gassamenstelling, Wobbe-index) in de gisting en de gaslijn, en zo ja welke
23	ervaart u (te) hoge H ₂ S-gehalten
24	treden corrosieproblemen rondom de gisting op
25	vinden (bijna) ongevallen plaats, en zo ja welke
26	heeft u condensaat in gasleidingen
27	heeft vraag 26 betrekking op overmatige condensproductie, of op slechte condensafvoer
28	wat is het risico op explosieonveilige situaties
29	heeft u last van vervuiling van mengers
30	ervaart u problemen met overdrukmetingen (in de gaslijn)
31	ervaart u problemen met biogasmetingen
32	ervaart u (problemen van) siloxaan
33	ervaart u problemen met (on)evenredige voeding van de gisting (verhouding primair/secundair slib; piekbelastingen)

1.1 RESPONS

Van de 23 waterschappen hebben 14 schappen de enquête beantwoord, daarbij zijn door enkele waterschappen meerdere specialisten geraadpleegd en zijn verschillende gistingen als voorbeeld aangedragen. In totaal zijn daardoor 26 reacties ontvangen.

1.2 ANTWOORDEN EN ANALYSE AANDACHTSPUNTEN

Vanuit de 26 ingediende antwoordenlijsten is de onderstaande verdeling opgesteld. De antwoorden met opmerkingen zijn per aangeleverd antwoordformulier als bijlage aan het rapport bijgevoegd.

ANTWOORDEN OP ENQUÊTEVRAGEN (AANTAL)

nr. vragen	ja, aandachtspunt of ervaring met dit verschijnsel/toepassing	nee, geen probleem of geen ervaring met dit verschijnsel/toepassing
1 verzuring gisting	5	21
2 schuimvorming gisting	16	10
3 limitatie slibafbraak	3	23
4 limitatie biogasproductie	3	23
5 laag methaangehalte biogas	2	24
6 hoog methaangehalte biogas	0	26
7 zand in gisting	18	8
8 roostergoed in gisting	22	4
9 verstopping pompen	13	13
10 verstopping warmtewisselaars	17	9
11 verstopping gasinblaaslanzen	14	12
12 verstopping leidingwerk	16	10
13 mankementen gasinblazing	10	16
14 mankementen mechanische menging	4	19
15 d.s.-monsters controle van menging?	5	20
16 struivetvorming	5	20
17 ongecontroleerde gasspui	9	16
18 lekkages biogas	6	20
19 vergiftiging gisting	1	25
20 toepassing van slibroosters	2	24
21 toepassing van (slib)versnijders	25	1
22 toepassing meet- en regelapparatuur	22	4
23 (te) hoge H ₂ S-gehalten	12	14
24 corrosieproblemen	2	24
25 (bijna)ongevallen	4	22
26 condensaat in gasleidingen	22	4
27 overmatige condensproductie, slechte condensafvoer	10	16
28 risico op explosieonveilige situaties	5	21
29 vervuiling mengers	3	23
30 problemen met overdrukmeting	5	21
31 problemen met biogasmeting	3	23
32 siloxaanvorming	2	25
33 (on)evenredige voeding	5	21

Op basis van de antwoorden is een top vijf van meest actuele aandachtspunten rondom slibgisting opgesteld. Deze zijn:

1. roostergoed(problemen) in gisting (en sliblijn) met als gevolg verstoppingen van leiding en installatieonderdelen;
2. vragen rondom toepassing van versnijders in de sliblijn (voorafgaande aan slibpompen, warmtewisselaars en gisting) met betrekking tot type, locatie, onderhoud, (gevolg)problemen;
3. vragen rondom meet- en regelapparatuur op de gisting met betrekking tot soort, type, locatie, onderhoud, ervaringen;
4. (problematische) condensaatvorming in leidingen gaslijn;
5. zand(problemen) in gisting (en sliblijn).

Als belangrijke aandachtspunten worden verder genoemd:

6. mankementen en verstopping aan gasinblaaslansen;
7. schuimvorming in gistingen;
8. H₂S(-problemen) in de gaslijn.

Opvallend is dat onderwerpen die vanuit lopende STOWA-projecten of voorgaande hoofdstukken als belangrijk naar voren, zoals limitatie van het gistingproces, mechanische mengers, (ongewenste) struviet- en siloxaanvorming als minder acute aandachtspunten worden aange-merkt.

In het handboek worden de aandachtspunten vanuit de enquête nader beschreven.

BIJLAGE 2 – TOXICITEIT ORGANISCHE EN ANORGANISCHE STOFFEN

IN DEZE BIJLAGE IS EEN OVERZICHT GEGEVEN VAN DE TOXICITEIT VAN VERSCHILLENDE STOFFEN BIJ DE ANAËROBE SLIBGISTING

TOXICITEIT VAN ORGANISCHE EN ANORGANISCHE STOFFEN BIJ DE ANAËROBE SLIBGISTING

Component	Concentratie in mg/l reactor inhoud		Antagonisten
	Stagnatie van de slibgisting = 10-50% remming	Sterk geremde slibgisting	
Na ⁺	3.500-5.500	8.000	K ⁺
K ⁺	2.500-4.500	12.000	Na ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , NH ₄ ⁺
Ca ²⁺	2.500-4.500	8.000	Na ⁺ , K ⁺
Mg ²⁺	1.000-1.500	3.000	Na ⁺ , K ⁺
NH ₄ -N	1.500-3.000	3.000	Na ⁺
Sulfide (alkalisch)	100	200	metaalionen
Sulfide (neutraal)	30-200	200	metaalionen
Arseen			
Nikkel		1,6	
Oplosbaar		1,6-2,0	
Totaal	10-30	30-100	
Cadmium			
Oplosbaar		0,02	
Totaal		20-600	
Cyanide	1	1-4	
Chroom(III)			
Oplosbaar		5-50	
Totaal	120-300	180-500	
Chroom(IV)			
Oplosbaar		3,0	
Totaal	100-110	200-520	
IJzer(II)	100	150-300	
IJzer(III)	100	300-500	
Koper			sulfides
Oplosbaar		0,5-10	
Totaal		40-196	
Lood	300-340	340	
Zink			
Oplosbaar		0,1-1,0	
Totaal		340-400	
Kwik		13-65	
Chloroform	0,5	0,5-16	
Detergenten *	100-300	500	
Ethylbenzeen	200	200-1000	
Ethylchloride	5		
Formaldehyde	50	50-400	
Hexachloorcyclohexaan		48	
Kerosine		500	
Pentachloorfenol		0,4	
Phenol	100	150	
Trichloorethyleen		5-20	

BIJLAGE 3 – ONTWERPOVERWEGINGEN SLIBGISTING WATERNET

ONTWERPOVERWEGINGEN WATERNET (2000)

PROBLEEMSTELLING

Voor het project A4 van WATERNET (voorheen DWR) zijn drie of vier gistingstanks nodig van elk 10.000 of 7.700 m³ inhoud. Daarin is per tank een slibopslag van 1500 m³ meegenomen. In het kader van compact bouwen worden de mogelijkheden en onmogelijkheden geïnventariseerd om deze gistingstanks uit te voeren als platte gistingstanks, zoals beschreven in het rapport Compact Bouwen.

AANDACHTSPUNTEN

Het toekomstige vergistingsconcept voor de platte gistingstanks is als volgt:

- in bedrijfstelling in 2005;
- aparte zandvanger in de waterlijn;
- rooster 6 mm in de waterlijn;
- rooster 2 mm in de sliblijn;
- beslissing over de wijze van slibverwerking en -gisting moet nog genomen worden.

Opties zijn:

- geen slibgisting;
- enkel vergisting van primair slib, gravitair ingedikt tot ± 4% of mechanisch ingedikt tot ± 6%;
- simultane vergisting van primair en secundair slib;
- aanvullende vergisting van extern slib van RWZI Westpoort, aanvoer van primair- en surplusslib met een 1,5 km lange persleiding.

Uitgangspunten voor het functioneren van de platte slibgisting zijn gelijk aan het functioneren van traditionele slibgistingstorens:

- 50% reductie van organische stof van primair slib;
- 30% reductie van organische stof van secundair slib;
- mesofiele vergisting bij 30 °C;
- hydraulische verblijftijd minimaal 20 dagen.

ERVARINGEN EN REFERENTIES

ERVARINGEN BIJ WATERNET

Bij WATERNET worden de huidige cilindervormige slibgistingstanks als hierna volgend bedreven. De slibgisting wordt niet mechanisch gemengd, in tegenstelling tot traditionele gistingstanks. De gisting wordt aan de bodem van de tank tangentiaal gevoed. Bovenin de tank wordt uitgegist slib afgelaten (er is nooit gemeten aan kortsluitstromen). Een deel van het uitgegist slib wordt iets boven de halve hoogte van de tank onttrokken, buiten de tank opgemengd met een verse influentslibstroom, verwarmd tot 30 °C en gerecirculeerd. De grootte van de recirculatiestroom is zodanig dat één tankinhoud per dag wordt gerecirculeerd. Op deze wijze wordt de gistingstank gemengd. Het uitgegist slib wordt ingedikt in naindickers. De na-indickers zijn grote ronde tanks (1200 m³) waarvan het roerwerk in hoogte is geredu-

ceerd tot onder de drijfslag en het vloeistofniveau, omdat in het verleden geconstateerd is dat het roerwerk de drijfslag niet brak, maar in zijn geheel ronddraaide.

Door het grote volume van de na-indikers vindt nauwelijks afkoeling plaats (temperatuur is ± 27 °C). De na-indikers fungeren daardoor als een nagisting. In de na-indikers worden de volgende verschijnselen waargenomen, welke indicatief kunnen zijn voor verschijnselen die op kunnen treden bij vergisting van het Amsterdamse slib in platte gistingstanks:

- stratificatie als gevolg van ontmenging;
- drijfslagvorming;
- drijfslag wordt éénmaal per jaar geruimd en keert na ruimen direct terug;
- drijfslag groeit niet aan, maar wordt als gevolg van uitdroging wel hard.

Na de eerste brainstormsessie is nadere aandacht besteed aan het optreden en gedrag van drijfslagen in de na-indikers van de rwzi Oost.

ERVARINGEN ELDERS

Onderstaande ervaringen zijn geïnventariseerd:

- in Denemarken is ervaring opgedaan met grootschalige varkensmestvergisting.

Door de opgedane ervaring aldaar is bekend dat voor de beheersbaarheid van het proces gistingsvolumes groter dan 1.000 m³ niet wenselijk zijn. Om die reden worden installaties met een gezamenlijk gistingsvolume van meer dan 1.000 m³ modulair opgezet. De droge stofgehalten in de varkensmest zijn $\pm 6\%$, waardoor de Deense systemen qua droge stofgehalte vergelijkbaar zijn met communaal slib;

- enkele referenties van circa 15 jaar geleden zijn bekend van systemen met propstroomvergisting, voornamelijk voor mest (koemest). De ervaringen zijn daarmee dat bij d.s.-gehalten boven 13% goede resultaten werden behaald, beneden 13% d.s. ontstonden drijfslagproblemen. De systemen betroffen once through rechte open kanalen overspannen met een zeil voor de biogascollectie;
- in Duitsland staat propstroomvergisting voor co-vergisting van zuiveringsslib samen met mest momenteel erg in de belangstelling (systemen 100 – 150 m³). Hier worden de systemen uitgevoerd als een once through liggende cilinder. In het kanaal bevindt zich een as met peddels die sectoraal gevormde drijfslagen moet onderspitten. Grootschalige toepassingen zijn echter nog niet bekend;
- bij Vagron in Groningen is een vergister voor organisch huishoudelijk afval in bedrijf. Slurrie van circa 12% d.s. wordt vergist. Het systeem is afgeleid van een Fins systeem voor de gecombineerde vergisting van zuiveringsslib en kalvermest. Bij dit oorspronkelijke Finse systeem is drijfslagvorming een probleem.

Het systeem in Groningen is een volledig gemengd systeem. Menging is geïntroduceerd voor stimulering van het gistingproces, niet specifiek voor drijfslagbestrijding;

- in Tilburg staat een installatie voor GFT-vergisting met circa 30% d.s. Ondanks het hoge d.s.-gehalte en de hoge viscositeit van de reactorinhoud, bestaan toch problemen met het uitzakken van aanwezige zandfractie;
- één installatie is bekend van een liggende propstroom GFT-vergistingstank (d.s. > 20%) naar Zwitsers ontwerp (Bühler). De tank is een langwerpige cilinder met een as voor menging;
- in België is een installatie voor GFT-vergisting in bedrijf die als een propstromer bedreven wordt. Het d.s.-gehalte bedraagt 20-25%. De gisting is een verticale cilinder die van boven wordt gevoed en beneden wordt afgetapt. De zwaartekracht zorgt voor de stroming.

STAND VAN ZAKEN MET BETREKKING TOT ALTERNATIEVE UITVOERINGSVORMEN VOOR SLIBVERGISTING

Geconcludeerd kan worden dat er geen ervaringen zijn met vergelijkbare kanaalvormige en opgevouwen systemen met recirculatie voor de vergisting van communaal zuiveringsslib. Wel zijn er ervaringen met andere stromen of systemen die op sommige punten vergelijkbaar zijn met zuiveringsslib. De meeste platte gistinginstallaties (alle voor andere producten dan communaal zuiveringsslib) worden bedreven als propstromers. Omdat de praktijkinstallaties niet op alle punten vergelijkbaar zijn met de bestudeerde alternatieven zijn de ervaringen daarmee ook niet maatgevend en moeten de voorgestelde alternatieven op zichzelf beoordeeld worden.

RISICO'S EN GEVOLGEN

BIJZONDERE AANDACHTSPUNTEN

Bij de beschouwing van de mogelijkheden en onmogelijkheden van platte gistingstanks moet rekening worden gehouden met de grootte van de tanks. De kanaalvormige variant meet $L \times H \times B = 110 \times 6,2 \times 11,4$ m, waarbij de isting uit één been bestaat. De opgevouwen variant bestaat uit zes benen, waarvoor 1k been geldt: $L \times H \times B = 45 \times 6 \times 4,8$ m. In beide varianten is circa 1,2 m hoogte gereserveerd voor slibopslag. Dit betekent dat het vloeistofniveau in de istingstank in de tijd varieert. In eerste instantie leek de opgevouwen variant tijdens het inventariseren van de risico's minder interessant, omdat daarin delen van de gistingstank niet bereikbaar zijn en de drijfslag naar verwachting moeilijker een hoek passeert. Door de inzichten verkregen tijdens het inventariseren van oplossingen in de tweede sessie is daar in een later stadium anders tegenaan gekeken.

RISICO'S

De geïnventariseerde mogelijke risico's zijn (de volgorde is willekeurig en niet bepalend voor de "ernst" van het vermelde risico):

- ontstaan van een drijfslag;
- optreden van een bezinklaag;
- stratificatie door dichtheidsverschillen;
- schuimvorming;
- temperatuurstratificatie;
- slechte invoer;
- scaling en corrosie;
- gaslekken.

GEVOLGEN VAN RISICO'S

De risico's worden beschreven als worst-case scenario. In de praktijk hoeft het niet te zijn dat de beschreven gevolgen zich (in dezelfde mate) voordoen zoals geïnventariseerd.

DRIJFLAAG

Mogelijke gevolgen en risico's voor het proces met betrekking tot het optreden van een drijf-laag zijn:

- de drijfslag blijft hangen in de gisting en wordt niet afgevoerd. Hij plakt aan de wanden en hoopt op in het systeem;
- door een drijfslag ontstaat dode ruimte
 - te korte verblijftijd
 - onvolledige vergisting;
- verstopping van de biogasafvoeren;
- opname van vergistbaar materiaal in de drijfslag door gasvorming. Dit materiaal draagt niet bij aan het vergistingsproces en verminderde biogasopbrengst.

Dit risico is beperkt. Geschat wordt dat door dit risico maximaal 1% van de ingevoerde droge stof niet wordt vergist als gevolg van afvoer met de drijfslag;

- het uitharden van drijfslag na verloop van tijd wanneer deze niet wordt afgevoerd
- biogas wordt vastgehouden
- dode ruimte
- te korte verblijftijd
- onvolledige vergisting.

Met betrekking tot de opname van vergistbaar materiaal in de drijfslag is de schatting van de hoeveelheid niet vergist materiaal als volgt tot stand gekomen:

Er wordt verondersteld dat een drijfslag zich manifesteert in de vorm van verspreid liggende plakjes van 0,5 tot 1 cm dik, zich vormend rond haren, vetbolletjes, lucifers en dergelijke.

Indien als worst case wordt uitgegaan van een drijfslag van 0,5 cm dikte over het gehele oppervlak van de gistingstanks komt dit overeen met $\pm 6,4 \text{ m}^3/\text{d}$ afgevoerde drijfslag.

Verondersteld wordt dat 25% hiervan biogas is en het droge stofgehalte in het waterige deel van de drijfslag gelijk is aan het droge stofgehalte van de influentslibstroom, namelijk 6 %.

Dit betekent dat 1,2% van de dagelijks ingaande droge stof in de influentslib-stroom ($\pm 385 \text{ m}^3/\text{d}$) wordt afgevoerd met de drijfslag en niet wordt vergist. Dit is gelijk aan een potentiële methaanproductie van $\pm 75 \text{ m}^3/\text{d}$.

BEZINKLAAG

Mogelijke gevolgen en risico's voor het proces met betrekking tot het ontstaan van een bezinklaag zijn:

- één reactorinhoud circulatie per dag betekent voor de kanaalvormige gistingstanks een stroomsnelheid van 4,5 m/h en voor de opgevouwen gistingstanks een stroomsnelheid van 11 m/h. Dit is te laag om bezinking te voorkomen. Bij een menging van één tankinhoud per dag is sprake van een niet volledig gemengd systeem, dat qua menggedrag tussen een volledig gemengde reactor (CSTR) en een propstroomsysteem in ligt;
- gasproductie per m^2 vloeroppervlak is te laag voor natuurlijke menging. Ervaringen met UASB's leren dat voor een goede menging een minimale gasproductie van $0,4 - 0,5 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ benodigd is. De theoretische gasproductie in platte gistingstanks voor de situatie zoals die in Amsterdam zal gelden wordt geschat op $0,016 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$;

- als gevolg van bezinking kan temperatuurstratificatie optreden;
- afkoeling van een bezonken laag op een koude bodem (dichtheidsverschillen)
- verminderde activiteit door afkoeling en stagnatie van substraataanvoer verminderde natuurlijke menging door verminderde gasproductie
- bevordering bezinking. Dit is een zichzelf versterkend effect en leidt op den duur tot falen van het proces;
- het optreden van kortsluitstromingen en dode hoeken door dichtheidsverschillen en temperatuurstratificatie
- te korte verblijftijd;
- onvolledige vergisting.

SCHUIMVORMING

Mogelijke gevolgen en risico's voor het proces met betrekking tot schuimvorming zijn: beïnvloeding van de afvoer van de biogasstroom.

TEMPERATUURSTRATIFICATIE

Mogelijke gevolgen en risico's voor het proces met betrekking tot temperatuurstratificatie zijn:

- temperatuurstratificatie als gevolg van afkoeling door de omgeving;
- kortsluitstroming of verminderde activiteit van het proces
- te korte verblijftijd
- onvolledige vergisting;
- temperatuurstratificatie als gevolg van bezinking
- afkoeling van een bezonken laag op een koude bodem
- kortsluitstroming of verminderde activiteit van het proces
- te korte verblijftijd
- onvolledige vergisting.

Ervaringen met slibvergisting leren dat temperatuurschommelingen van enkele graden het verloop van het vergistingsproces overigens niet beïnvloeden.

SLECHTE INVOER

Mogelijke gevolgen en risico's voor het proces met betrekking tot een slechte invoer zijn:

- het optreden van kortsluitstromingen
- te korte verblijftijd
- onvolledige vergisting.

OVERIGE RISICO'S

De risico's van scaling, corrosie en gaslekken worden verder buiten beschouwing gelaten. De invoer en gaslekken zijn bouwtechnische aspecten die in principe zonder probleem opgelost kunnen worden. Verder is er geen reden om aan te nemen dat de scaling en corrosie in een platte gistingstank anders zou zijn dan in een gistingstoren en daardoor mogelijk afwijkende problemen zou veroorzaken.

SAMENVATTING VAN MOGELIJKE RISICO'S EN GEVOLGEN

In tabel 3.1 is een samenvatting van de geïnventariseerde risico's en de bijbehorende gevolgen weergegeven.

TABEL 3.1: SAMENVATTING RISICO'S EN GEVOLGEN

Gebeurtenis	Gevolg	Resultaat
Bezinklaag	dode ruimte	falen proces (100%)
Drijfslaag	– dode ruimte	– falen proces (niet 100%)
	– blokkeren biogasafvoer	– biogasophoping in reactor (gestoorde bedrijfsvoering)
	– minder vergistbaar materiaal beschikbaar	– enigszins mindere afbraak
Temperatuurstratificatie/afkoeling	dode ruimte	falen proces (niet 100%)
Schuimvorming slechte invoer	problemen met biogasafvoer kortsluitstroming	biogasophoping in reactor falen proces (niet 100%)

MOGELIJKE OPLOSSINGSRICHTINGEN

ALGEMEEN

Het mogelijk optreden van een drijfslaag, een bezinklaag en stratificatie zijn allemaal mengproblemen. Deze verschijnselen kunnen aangepakt worden door een goede menging te introduceren. Vandaar dat bij het bedenken van oplossingsrichtingen veel aandacht is besteed aan menging. Hierbij is uitgegaan van het scenario dat door de opzet van het procesontwerp het gistingproces faalt en voorzieningen moeten worden ingebouwd als veiligheidsmaatregel om het functioneren van het gistingproces te garanderen.

In de eerste sessie zijn als eerste aanzet tot oplossingen de volgende mogelijkheden geopperd:

- niets doen en voorzieningen treffen om de gistingstanks periodiek met behulp van shovels schoon te maken. Grote onbekenden hierbij zijn de noodzakelijke frequentie van schoonmaak en de acceptabele frequentie van schoonmaak;
- sectoraal opmengen van de vloeistofstroom met vloeistofstralen boven, in of onder de drijfslaag;
- drijfslaag stukbreken en als drijvende plakken afvoeren met de vloeistofstroom naar het einde van de gistinginstallatie;
- proberen de risico's die in de gisting kunnen ontstaan te concentreren aan het begin en eind van de gistinginstallatie;
- introduceren van een mechanische drijfslaagverwijdering;
- gasafvoer en menging op dezelfde plek uitvoeren om verstopping te voorkomen.

Tijdens de tweede brainstormsessie is de optie om niets te doen en periodiek schoon te maken verworpen, omdat de kans op optreden van één of meer van de geïnventariseerde risico's zeer reëel aanwezig is; er is geen inzicht in de grootte van deze kans. Daarnaast is de introductie van mechanische onderdelen in de gisting verworpen in verband met de bereikbaarheid voor noodzakelijk onderhoud en reparatie als gevolg van aantasting. Met betrekking tot het concentreren van de risico's is geconcludeerd dat dit niet als enige maatregel doeltreffend is, maar wel de kans op risico's kan verkleinen. Concentreren kan geschieden door de keuze van een goede voorbehandeling (bijvoorbeeld een 2 mm zeef in plaats van een rooster in de

sliblijn) en good housekeeping (bijvoorbeeld niet meevergisten van in eerdere processtappen afgescheiden drijfslagen of vet).

Het zoeken naar oplossingen voor mogelijke risico's heeft zich in de tweede brainstormsessie derhalve hoofdzakelijk gericht op de mogelijkheden om de overige oplossingen uit de eerste sessie te realiseren.

DRIJFLAAG

INSPECTIE VAN HUIDIGE DRIJFLAAG OP NA-INDIKKERS

Verondersteld is in de eerste brainstormsessie dat de drijfslaag op de na-indikers op RI-Oost hard en stevig is en aan de wand blijft hangen. Voor aanvang van de tweede brainstormsessie zijn de drijfslagen op de na-indikers op RI-Oost geïnspecteerd zodat een gevoel werd verkregen voor het gedrag in de praktijk van een mogelijke drijfslaag. De huidige drijfslagen zijn circa twee jaar oud en ongeveer 0,3 m dik. Deze dikte is stabiel, de drijfslagen groeien aan en kalven af. Geconstateerd is dat de drijfslagen in de zomerperiode minder hard, hardnekkig en stabiel zijn dan in de winterperiode.

Kennelijk hebben factoren als een lage luchtvochtigheid, lage temperaturen of een groter temperatuurverschil tussen bulk van tankinhoud en omgeving van de drijfslaag een stabiliserende werking op de laag. Dit is een belangrijk gegeven voor het gedrag van de drijfslaag in een warme gistingstank.

Tijdens de inspectie was zichtbaar dat:

- in het centrum van de tank, waar uitgestijgt slib op het vloeistofoppervlak in de na-indikker valt, geen drijfslaag werd gevormd;
- de drijfslaag niet aan de randen van de tank blijft kleven. Uitgezocht dient te worden in hoeverre de tipsnelheid van het roerwerk in de na-indikers vergelijkbaar is met de stroomsnelheid in de platte gistingstanks;
- nabij het centrum, waar lagere snelheden van het roerwerk heersen, de drijfslaag harder oogt;
- bij beweging onder het vloeistofoppervlak, niet gelijk aan de stromingsrichting, zoals bij het afpompen van slib, de drijfslaag eenvoudig breekt;
- drijfslaagophoping plaatsvindt achter obstakels in de stroombaan;
- onder andere haren de matrix vormen van de drijfslaag.

Conclusies uit de inspectie met betrekking tot de drijfslaag zijn dat:

- het risico van het ontstaan van een drijfslaag zeer reëel is;
- in een warm en vochtig klimaat, zoals in een gistingstank, een drijfslaag flexibel zal blijven;
- bij voldoende hoge stroomsnelheden in de reactor de drijfslaag niet aan de reactorwanden plakt;
- het ontstaan en de aangroei van een drijfslaag bestreden kan worden door de drijfslaag te besproeien;
- de drijfslaag voortgestuwd kan worden.

WATERNET-ERVARINGEN MET HET AFLATEN VAN DRIJFLAGEN

De ervaringen met het aflaten van drijfslagen via speciaal geconstrueerde drijfslagaafvoerpunten, zoals deze reeds door WATERNET worden toegepast, zijn positief. Aan de wand van de huidige gistingstorens bevinden zich vier aflatpunten voor een drijfslag en aan de as van de gistingstoren bevinden zich eveneens vier aflatpunten. Uit inspectie blijkt dat de invloedssfeer van één aflatpunt circa 5 m bedraagt. In de gistingstanks zijn de wanden en het centrum vrij van een drijfslag. Halverwege het oppervlak, op de scheidslijn van stroming naar de wanden en stroming naar het centrum van de tank, blijft een ring van drijfslag achter. Onduidelijk is of tussen periodes van aflaten de oude achterblijvende drijfslag zich in de richting van de afvoerpunten verplaatst of dat aangroei van een nieuwe laag plaatsvindt.

Uit bedrijfsmatig oogpunt wordt afvoer van een drijfslag op meerdere plaatsen in een platte gistingstank niet wenselijk geacht. De voorkeur gaat uit naar afvoer op één punt, aan het einde van de gisting. Het meevoeren van een drijfslag met de vloeistofstroom is in dat licht bezien een belangrijke voorwaarde. Overwogen kan worden om op een aantal plaatsen in de gistingstank drijfslagaflatpunten te installeren in geval van lokale ophoping.

BESTRIJDEN VAN DRIJFLAGEN

In de platte gistingstanks zal besproeien van de drijfslag serieuze drijfslagvorming voorkomen. Het doel van besproeien is om de drijfslag vochtig te houden, waardoor deze dun en flexibel blijft en mogelijk in stukken breekt. De drijfslag hoeft niet met kracht stuk gespoten te worden. Krachtig spuiten en mengen heeft bovendien een negatieve invloed op de microbiologie.

Aangenomen wordt dat een drijfslag meegevoerd kan worden met de stroming indien de laag smeugig blijft. Door een juiste positionering van de drijfslagbesproeiing kan deze tevens als voortstuwing dienen. Door continue afvoer van drijfslag zal in de platte gistingstanks in principe geen drijfslag ontstaan die ouder is dan één dag. Daarmee zal de drijfslag minder stevig zijn en dunner zijn dan de drijfslagen op de huidige na-indikers op RI-Oost en zal daarom des te makkelijker te bestrijden en verplaatsbaar zijn. De bochten in de opgevouwen variant voor gisting kunnen een obstakel vormen voor de drijfslagaafvoer. Op die plaatsen zal extra aandacht aan menging of voortstuwing besteed moeten worden om de doorgang van drijfslagen te vergemakkelijken. Gedacht kan worden aan de combinatie van besproeien en voortstuwing of menging en biogasafvoer. Voordeel van de opgevouwen variant is dat bekend is waar onder andere drijfslagproblemen te verwachten zijn (in de bochten) en er zodoende gericht maatregelen tegen getroffen kunnen worden.

BEZINKLAAG

Algemeen

Het optreden van bezinking en daarmee mogelijk gepaard gaande stratificatie is onvermijdelijk. De stroomsnelheden in de gistingstanks en de natuurlijke menging zijn te gering om bezinking te voorkomen. Om bezinking tegen te gaan zal menging in de gistingstanks geïntroduceerd moeten worden. In de opgevouwen variant is de stroomsnelheid circa tweemaal zo hoog als in de kanaalvormige variant en is de breedte ongeveer gelijk aan de hoogte, een gegeven dat de opgevouwen variant aantrekkelijker maakt voor introductie van menging en waardoor bij dezelfde inspanning menging meer effect zal hebben. Een bezinklaag kan in twee fracties onderscheiden worden:

- een bezonken zandfractie;
- een bezonken slibfractie.

Bezonen zandfractie

Het voorkomen en opheffen van een bezonen laag gevormd door de zandfractie in het slib kan niet met redelijke inspanningen en voorzieningen bereikt worden. Het ontstaan van een bezonen zandfractie zal geaccepteerd moeten worden. Een bezinklaag bestaande uit zand zal overal in de gisting ontstaan, doordat zanddeeltjes in organische stof gekapseld zijn en gedurende het gistingsproces vrij komen door de omzetting van organische stof.

Periodiek zal het zand, evenals dit bij de conventionele gistingstanks het geval is, mechanisch uit de gisting moeten worden verwijderd (bijv. eens in de tien jaar). Hiervoor moeten voorzieningen getroffen worden, zoals een poort in de gistingstanks waardoor een shovel naar binnen gereden kan worden.

Bezonen slibfractie

De bezonen slibfractie in de tanks kan bestreden worden door de introductie van menging in de tanks. Menging moet gerealiseerd worden door het lokaal rondpompen van de reactorinhoud. De manier van rondpompen is zeer belangrijk.

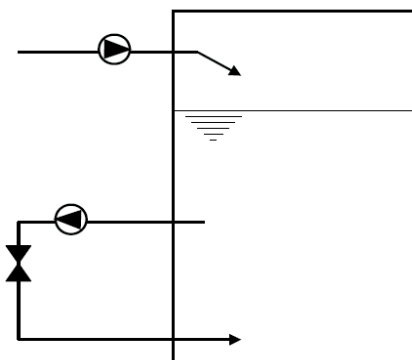
Deze bepaalt of de menging effectief is. Voor de menging zijn een drietal uitgangspunten gedefinieerd:

- spuiten is beter dan zuigen;
- één voorziening voor zowel bestrijding van drijfslag als van bezinklaag;
- continue opmenging.

Opwerveling van een bezonen sliblaag wordt bereikt door de schurende werking van een langs en in het bezonen oppervlak gespoten waterstraal. De invloedssfeer van een spuitende pomp is vele malen groter dan van een zuigende pomp. De plek waar slib/watermengsel wordt onttrokken, waar het weer wordt ingespoten en de kracht waarmee het wordt ingespoten is zeer belangrijk voor een efficiënte menging, waardoor bezinking van slib wordt opgeheven. Met een voldoende sterke jetstream kan stratificatie worden bestreden en bezinking beperkt gehouden worden. Volledig voorkomen van slibbezinking zal door rondpompen van vloeistofstromen niet bereikt worden. Dode hoeken en ruimtes zullen ontstaan afhankelijk van de configuratie van de gistingstanks (ronde of rechte hoeken).

FIGUUR 1

SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN OPZET VOOR BESTRIJDING VAN DRIJFLAAGVORMING EN SLIBBEZINKING



Op een aantal plaatsen in de gistingstanks moet slibbezinking en drijfslaagvorming voorkomen worden (figuur 1). Voor de drijfslaagbestrijding moet het vloeistofoppervlak periodiek besproeid worden, zodat de drijfslaag flexibel wordt gehouden. Daartoe kan gesproeid worden met een kleine hoeveelheid drinkwater of effluent. Aandachtspunt hierbij is het variabele vloeistofniveau. Voor het opmengen van een bezinklaag dient de uitstroomopening onder het wateroppervlak gesitueerd te zijn om zodoende energieverlies en verlies van mengeffectiviteit te beperken. De uitgespoten vloeistofstraal moet voldoende krachtig zijn om een kurkentrekkerachtige stroming in het vloeistofpakket te bewerkstelligen, waardoor verticale menging en menging in de dwarsdoorsnede optreden. Voor een effectieve menging is het gunstig dat de hoogte ongeveer gelijk is aan de breedte. Deze verhouding is het meest gunstig bij de opgevouwen variant.

Menging moet continu plaatsvinden, omdat het minder energie vergt om menging te realiseren wanneer het vloeistofpakket eenmaal in beweging is. De walsende beweging moet in stand gehouden worden. Naast een lager energieverbruik heeft de continue walsende beweging het voordeel dat de kans dat een drijfslaag naar beneden wordt getrokken groter is.

Onbekenden zijn de grootte van de door pompen in te brengen mengenergie per mengpunt (vermoedelijk $> 10 \text{ W/m}^3$ op te mengen reactorinhoud), de positionering van de mengpunten en het aantal mengpunten. Een andere onbekende is de vorm van het "bezonken landschap" tussen twee gemengde zones. Tussen twee mengzones kunnen slibheuvels ontstaan die afkalven richting volgende mengzone.

De vorm van de afkalving (talud of plat vlak) bepaalt mede of het slib meegevoerd kan worden. Het variabel vloeistofniveau zal de vorm van het bezonken landschap sterk beïnvloeden. Deze aspecten dienen door specialisten nader uitgezocht te worden.

Temperatuurstratificatie

Temperatuurstratificatie kan vooral optreden door afkoeling vanuit de omgeving en dan met name afkoeling door een koude bodem. Het temperatuur-effect is eenvoudig te ondervangen door isolatie van de gistingstanks. Isolatie zal vooral gericht moeten zijn op het bestrijden van afkoeling via de bodem. Middels een goede vloerisolatie kan vloerverwarming overbodig zijn. Uitgangspunt bij toepassen van maatregelen ter voorkoming van temperatuurstratificatie is dat de gistingstanks boven het grondwaterniveau worden gebouwd.

Naast isolatie zorgt rondpompen in de gisting van het vloeistofpakket voor vereffening van temperatuursverschillen in de tanks.

Schuimvorming

Schuimvorming wordt niet als een reëel probleem gezien. Schuimvorming treedt op bij intensieve menging en mogelijk in de eerste fase van het gistingsproces. Het gevaar van schuimvorming als gevolg van menging is door de lage mengintensiteit niet aanwezig. Door bij het ontwerp rekening te houden met grote gasafvoeringen aan het begin van het systeem, eventueel gecombineerd met een

sproeikop, kunnen problemen veroorzaakt door schuimvorming bestreden worden. Als extra zekerheid kunnen verderop in het systeem de plaats van biogasafvoer en drijfslaagbevochtiging gecombineerd worden.

Uitgangspunten voor ontwerp

Uit de oplossingsrichtingen voortkomend uit de beide brainstormsessies zijn een aantal uitgangspunten voor het ontwerp van platte gistingstanks geformuleerd:

- een slechte invoer en gaslekken moeten voorkomen kunnen worden door de juiste bouwtechnische voorzieningen te treffen. In verband met gaslekken moet bij het ontwerp rekening worden gehouden met mogelijke zonering;
- er is geen reden om aan te nemen dat scaling en corrosie in een platte gistingstank anders zouden zijn dan in een gistingstoren en daarom is geen reden om aan te nemen dat scaling en corrosie extra problemen veroorzaken;
- drijfslaagvorming, een bezinklaag en stratificatie treden op;
- voorzieningen moeten worden ingebouwd als veiligheidsmaatregel om het functioneren van het gistingsproces te garanderen;
- in een warm en vochtig klimaat, zoals in een gistingstank, blijft een drijfslaag flexibel;
- bij voldoende hoge stroomsnelheden (zoals de tipsnelheid van het roerwerk in de na-indikkers op RI-Oost) blijft de drijfslaag niet aan de reactorwanden plakken;
- in eerdere processtappen afgevangen drijfslaag wordt niet in de gisting gebracht;
- het ontstaan en de aangroei van een drijfslaag kan bestreden worden door de drijfslaag te besproeien;
- de drijfslaag wordt met de drijfslaagaflaatvoorziening aan het eind van de gistingstank afgelaten;
- door continue afvoer van drijfslaag zal in de platte gistingstanks in principe geen drijfslaag ontstaan die ouder is dan één dag;
- de bochten in de opgevouwen variant voor gisting vormen een obstakel voor de drijfslaagafvoer;
- bezinking kan onderscheiden worden in bezinking van een zandfractie en bezinking van een slibfractie;
- voorkomen en opheffen van een bezonken zandfractie is niet met redelijke inspanningen en voorzieningen mogelijk. Het ontstaan en periodiek verwijderen van een bezonken zandfractie zal geaccepteerd moeten worden;
- voor menging is spuiten beter dan zuigen;
- temperatuurstratificatie door afkoeling via de bodem wordt voorkomen door isolatie van het vloeroppervlak van de gistingstanks. Met een goede vloerisolatie is vloerverwarming overbodig.

RANDVOORWAARDEN VOOR ONTWERP

Randvoorwaarden waaraan een ontwerp voor platte gistingstanks dient te voldoen zijn als volgt geformuleerd:

- drijfslaagvorming, een bezinklaag en stratificatie zijn allemaal mengproblemen. Een goede sectorale menging moet in het systeem geïntroduceerd kunnen worden om deze verschijnselen aan te kunnen pakken;
- drijfslagen moeten via een sproeiemechanisme bevochtigd kunnen worden;
- drijfslaagafvoer wordt op één punt geconcentreerd, aan het einde van de gisting. Het bevochtigingsmechanisme van de drijfslagen moet daarom tevens als voortstuwing kunnen dienen;
- in de bochten van de opgevouwen variant voor gisting moet extra aandacht aan menging en voortstuwing besteed om de doorgang van drijfslagen te vergemakkelijken;
- met een jetstroom onder het vloeistofoppervlak kan stratificatie worden bestreden en bezinking beperkt gehouden worden. Volledig voorkomen van slibbezinking zal door rondpompen van vloeistofstromen waarschijnlijk niet bereikt worden;

- opmenging ter bestrijding van bezinking en stratificatie gebeurt continu;
- ter bescherming van verstopping van de biogasafvoeren moet besproeien en biogasafvoer op dezelfde plaats geïnstalleerd worden. Aan het begin van het gistingssysteem dienen grotere gasafvoeropeningen, eventueel gecombineerd met een sproeikop op de afvoer, geïnstalleerd te worden ter bestrijding van problematiek veroorzaakt door schuimvorming;
- het vloeroppervlak van de gistingstanks moet geïsoleerd worden;
- de gistingstanks moeten boven het grondwaterniveau gebouwd worden om afkoeling te beperken.

OPENSTAANDE VRAGEN

Naar aanleiding van de bevindingen uit de brainstormsessies en de gevonden oplossingsrichtingen blijkt dat de belangrijkste factor is hoe de sectorale menging uitgevoerd moet worden (sectorindeling, positie van pompen en benodigde vermogen voor effectieve menging), rekening houdend met onderstaande aspecten:

- hoe wordt de drijfslag opgemengd?;
- hoe wordt de drijfslag meegevoerd naar het einde?;
- hoe wordt een bezonken sliblaag opgewerveld?;
- hoe worden dode hoeken door slib en zand opgevuld?;
- hoe gedraagt het bezonken landschap zich, ook in relatie tot het variabele vloeistofniveau?;

De bovenstaande kritische onbekende factoren hebben allemaal met bezink- en stromingsgedrag in de reactor te maken. Allereerst dient de bezinking in de gistingstanks bestudeerd te worden en gegevens te worden verzameld. De plaats, uitvoering en bedrijfsvoering van het optimale mengsysteem kunnen vervolgens op basis van deze verzamelde gegevens worden vastgesteld.

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Conclusies

Uit beide brainstormsessies is geconcludeerd dat vergisting van communaal zuiveringsslib in platte gistingstanks in principe technisch en technologisch mogelijk is. Bij verder beschouwing biedt de opgevouwen variant met mengsectoren in de bochten de beste perspectieven. Belangrijkste aandachtspunten bij het ontwerp van platte gistingstanks zijn de bestrijding van de risico's drijfslagvorming en slibbezinking. Het bezinken van zand in de gistingstanks is niet te voorkomen.

Introductie van een sectorale menging in de gistingstanks moet de voornaamste risico's beperken, waarbij nog onzekere factoren bestaan bij de wijze en effectiviteit van de menging. Daarnaast moet het ontwerp aan een minimum aantal uitgangspunten en randvoorwaarden voldoen, zoals deze in hoofdstuk vier zijn opgenomen.

Aanbevelingen

Vanwege de onbekendheid met het gedrag van het slibgistingproces in platte gistingstanks is het zeer raadzaam om voldoende aandacht te besteden aan het nauwkeurig berekenen van onbekende grootheden. De waarden van onbekenden dienen op zijn minst theoretisch be-

paald te worden en bij voorkeur aan de praktijk getoetst te worden, zodat een zo betrouwbaar en gefundeerd mogelijke dimensionering van het proces gewaarborgd wordt.

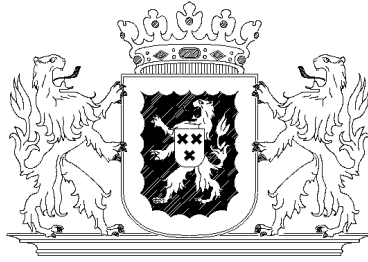
De voornaamste onbekenden hebben allemaal met bezink- en stromingsgedrag in de reactor te maken. In eerste instantie dient vastgesteld te worden of bezinking van slib tussen twee mengsectoren optreedt en zo ja, in hoeverre dit tot problemen zal leiden. Voorts is het aan te bevelen bij het ontwerp van het mengsysteem experts te betrekken. Hierbij wordt gedacht aan het simuleren van vloeistofstroming gecombineerd met slibbezinkgedrag door experts.

Naar aanleiding van de uitkomsten van de theoretische beschouwingen dient mogelijk aanvullend praktijkonderzoek gedefinieerd te worden om verder inzicht te krijgen in de relevante ontwerpparameters en deze meer te kunnen kwantificeren.

Het functioneren van het ontwerp van platte gistingstanks valt of staat met een zorgvuldig overwogen dimensionering.

BIJLAGE 4

DRAAIBOEK SLIBGISTING VOORBEELD RWZI DONGEMOND



HOOGHEEMRAADSCHAP VAN WEST - BRABANT

RWZI Dongemond

Draaiboek schoonmaak gistingstank
met hierin opgenomen het plan van aanpak

Project 4001SG

Versie : 3.0 Evaluatie
Datum : november 2000

WIJZIGINGEN

Datum	Revisie	Door	Gewijzigd
28 juni 2000	1.0 Concept	J. Gooiker	
	1.1 Concept	J. Gooiker	<ul style="list-style-type: none"> • Opmerkingen <i>Arbo</i> Unie d.d. 30-06-2000 verwerkt. • Uitvoering en Protocollen toegevoegd
21 aug 2000	2.0 Uitvoering	J. Gooiker	<ul style="list-style-type: none"> • Opmerkingen bespreking projectgroep + <i>Arbo</i> Unie, d.d. 16 aug 2000, verwerkt. • Plan van aanpak geactualiseerd. • Protocollen aangepast en van uitgebreide toelichting voorzien. • Vullen en opstart plan gewijzigd.
25 aug 2000	2.1 Uitvoering	J. Gooiker	<ul style="list-style-type: none"> • Protocollen leegzetten en vullen aangepast.
11 sep 2000	2.2 Uitvoering	J. Gooiker	<ul style="list-style-type: none"> • §2.1.3 aangepast. §6.3.2. aangepast.
06 nov 2000	3.0 Evaluatie	J. Gooiker	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluatie opmerkingen verwerkt.

DISTRIBUTIE

Aantal	Versie	Bedrijf	Naam	Functie
	Alle t/m definitief	HWB	J. Weterings C. Christianen H. Mollen J. Gooiker	<u>Project groep:</u> District hoofd regio Oost w.n. Beheer sectie Oost Coord. Technologie Coord .Werktuigbouwkunde
	Alle t/m definitief	<i>Arbo</i> Unie	A.C.M. Suijkerbuijk	Veiligheidskundige.
	Uitvoering (excl. bijlagen)	HWB	A. Marijnissen H. Proost A. v. Rijn J. Jonk	Veiligheids coördinator. Project leider. Hoofd BZTW Zuiveringstechnologie
	Evaluatie	HWB	J. Gooiker Rwzi Dongemond	Bureau werktuigbouwkunde Map gistingstank (GT)

TOETSING

Bedrijf:	
Naam:	
Functie:	
Referentie:	
Handtekening:	
Datum:	

Bedrijf:	
Naam:	
Functie:	
Referentie:	
Handtekening:	
Datum:	

INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	1
1.1	AFKORTINGEN.....	1
1.2	BIOGAS SAMENSTELLING	1
2	PLAN VAN AANPAK	2
2.1	WERKWIJZE	2
2.2	DOORGAAND SLIBBEDRIJF	3
2.3	UITVOERINGSPERIODE	3
3	VEILIGHEIDS ASPECTEN	4
3.1	BEVEILIGINGEN	4
3.2	VERGUNNINGEN.....	4
3.3	WERKVERGUNNINGEN.....	5
3.4	WERKINSTRUCTIE'S	5
3.5	GEVARENZONE-INDELING	5
3.6	CALAMITEITEN PLAN.....	6
3.7	VOORLICHTING	6
3.8	AFZETTINGEN.....	6
3.9	TOEGANG EN REGISTRATIE.....	6
3.10	AANNEMERS	6
4	RISICO INVENTARISATIE.....	7
5	PROJECTBEGELEIDING	10
5.1	PROJECTGROEP	10
5.2	UITVOERING.....	10
6	PROTOCOL	11
6.1	OMLEIDEN SLIBPRODUCTIE VIT NAAR VSOMT	11
6.2	UIT BEDRIJF NEMEN EN LEEGZETTEN VAN DE GT	11
6.3	VULLEN EN OPSTARTEN GT.....	14
6.4	ENTEN VANUIT DE USOMT	16
6.5	VERPOMPEN SLIB VAN IDL NAAR USOMT	16
6.6	HERSTELLEN BEDRIJFSVOERING	17
7	EVALUATIE	18
7.1	INLEIDING	18
7.2	VERLOOP VAN DE WERKZAAMHEDEN.....	18
7.3	FINANCIËEL.....	19
7.4	PERSONEEL	19
7.5	ARBO	20
7.6	GEREALISEERDE PLANNING	20

BIJLAGE:

- Terreinoverzicht
- Processchema slibverwerking, ZDO-1-4
- Bedrijfsschema slibontwatering, ZDO 1-6
- Werkinstructies
- Calamiteitenplan (telefoonlijst)
- Planning
- Infobrief aannemers

1 INLEIDING

Op de rioolwaterzuiveringsinstallatie Dongemond te Oosterhout, wordt uit het zuiveringsproces afkomstig slib vergist in de gistingstank. Bij het vergisten komt biogas vrij. Biogas bestaat voor het grootste deel uit methaangas. Het geproduceerde biogas verzameld zich boven het slib water mengsel in de gistingstank en wordt opgeslagen in een separaat staande gashouder. Het biogas wordt verbrand in gasmotoren t.b.v. de beluchtingcompressoren en een warmtekrachtinstallatie. Om het uitzakken van slib te voorkomen wordt het gas gerecirculeerd via een gascompressor en onderin de gistingstank gebracht.

Vanaf 1999 hebben zich regelmatig problemen voorgedaan met schuimvorming in de gistingstank. Deze schuimproblemen zijn waarschijnlijk het gevolg van een zeer instabiel gistingsproces. Deze instabiliteit wordt mogelijk veroorzaakt door ophoping van allerlei vervuiling in de gistingstank. Om deze problemen in de toekomst te voorkomen is besloten de gistingstank op korte termijn schoon te maken. Hiertoe is onderstaand plan van aanpak opgesteld.

1.1 Afkortingen

AT	Beluchtingstank (Aeratie tank)
DG-#	Dienstgebouw nr.
GH	Gashouder
GT	Gistingstank
IDL	Indik lagune
LEL	Lower Explosion Limit
SG	SlibGemaal
USOMT	Uitgegist Slib Opslag MengTank
VIT	Voor Indik Tank
VSOMT	Vers Slib Opslag MengTank

1.2 Biogas samenstelling

Methaan	CH ₄ :	60-65 %
Koolstofdioxide	CO ₂ :	34-35 %
Rest	:	0-5 % (voornamelijk N ₂)

1.2.1 Methaan, CH₄

CAS-nr	:	74-82-8
Mol.gewicht	:	16,0
Smeltpunt	°C :	-182
Kookpunt	°C :	-162
Dichtheid	:	lichter dan lucht
Dampdichtheid	:	0,55
Onderste explosiegrens (LEL)	vol % :	5,0
Bovenste explosiegrens	vol % :	15,0
Onderste explosiegrens	g/m ³ :	33
Bovenste explosiegrens	g/m ³ :	100
Ontstekings temperatuur	°C :	595
Temperatuur groep	:	T1
Min. Ontstekingsenergie	mJ :	0,28
Explosiegroep	:	I
K-klasse	:	-

2 PLAN VAN AANPAK

2.1 Werkwijze

In onderstaande paragraaf staat globaal de werkwijze aangegeven met betrekking tot de schoonmaakoperatie. Deze globale werkwijze wordt verder in dit draaiboek nader gedetailleerd in protocollen. Met name de veiligheidsaspecten spelen een belangrijke rol in dit project.

Uitgangspunt is geweest, dat tijdens het uitbedrijf nemen en het in bedrijf nemen van de GT op geen moment een explosief mengsel aanwezig is of ontstaat.

De werkwijze is gefaseerd en ziet er in grote lijnen als volgt uit.

2.1.1 Uit bedrijf nemen en leegzetten van de gistingstank.

- Aanvoer vreemd (extern) slib stoppen.
- USOMT en VSOMT leegzetten.
- Toevoer van slib naar GT stoppen en eigen slib omleiden naar de VSOMT.
- Eigen slib wordt vanuit de VSOMT vers verwerkt op de zeefbandpersen.
- Gashouder gevuld en biogasverbruikers afschakelen.
- Slibrecirculatie uit bedrijf.
- Gistingstank uit laten gassen en spuien via gashouder (ivm debietmeting).
- Gashouder afkoppelen.
- Gasrecirculatie uit.
- Inertiseren met stikstof.
- GT drukloos maken en ventileren
- GT leegpompen m.b.v. gehuurde pomp en via rooster opslaan in IDL2 (2400 m3) en USOMT (1200 m3).

2.1.2 Schoonmaak, inspectie, herstel en aanpassings periode.

- GT inwendig schoonmaken.
- Inspecteren en indien nodig herstel werkzaamheden uitvoeren.
- Overloopput aanpassen
- Gasrecirculatie ringleiding vervangen.

2.1.3 Vullen en opstarten van de gistingstank.

- Overloop naar NIT
- GT geheel vullen met effluent en gelijktijdig opwarmen tot boven 30°C (ter compensatie temperatuur ent-slib) d.m.v. externe verwarmingscapaciteit.
- Externe verwarmingscapaciteit afkoppelen.
- Voeden met vers slib uit VIT en daarna Gasrecirculatie in bedrijf om aanwezige zuurstof te verbruiken.
- Gasrecirculatie uit bedrijf.
- GT Sluiten
- GT Op druk brengen m.b.v. gashouder.
- Enten met opgeslagen slib uit USOMT
- Slibrecirculatie weer in bedrijf.
- Gasrecirculatie in bedrijf.
- Slibvoeding langzaam opvoeren.
- Gas wordt gespuid via GH.
- Bij voldoende kwaliteit gas wordt de normale bedrijfsvoering hersteld.

2.2 Doorgaand slibbedrijf

Tijdens de schoonmaakoperatie zal het slib van de rwzi Dongemond vers verwerkt worden (via de VSOMT) op een van de zeebandpersen. Het slib van de overige rwzi's zal zo veel mogelijk gebufferd worden in de slibbufferputten ter plaatse en eventueel verwerkt worden op de rwzi Rijen. Een gedeelte van het slib van Kaatsheuvel en Waspik kan vergist worden op de rwzi Waalwijk.

2.3 Uitvoeringsperiode

In verband met de energiekosten wordt er naar gestreefd de schoonmaak in de zomerperiode uit te voeren (september 2000).

3 VEILIGHEIDS ASPECTEN

3.1 Beveiligingen

In het biogas systeem van de installatie zijn diverse beveiligingen aanwezig.

3.1.1 Gistingstank

Op de slibvergistingstank bevindt zich een gasdom met waterslot (methylglycol).

Werkdruk	mbar	: 29 (30 cmwk)
Mech. Overdrukbeveiliging	mbar	: 45
Mech. Onderdrukbeveiliging	mbar	: -5
Overdruksignalering	mbar	: 40
Onderdruksignalering	mbar	: 0

3.1.2 Gascompressor

De gascompressor is geplaatst in een separate ruimte in dienstgebouw 2. De ruimte is voorzien van gasdetectie en natuurlijke ventilatie.

3.1.3 Gastransport

In de kelder van dienstgebouw 2 is tevens een waterslot voorzien t.b.v. gasonttrekkingssysteem. Indien de luchtbediende kleppen op de gasdom van de gistingstank en de toevoer van de gashouder niet functioneren zal het geproduceerde gas via dit waterslot gespuid worden. De ruimte is voorzien van gasdetectie en mechanische ventilatie.

De luchtbediende kleppen worden bestuurd op een signaal van gasdetectie in DG-2 of boven het membraan van de gashouder.

3.1.4 Gashouder

Indien er geen gasafname is wordt het gas in de gashouder opgeslagen. De gashouder bestaat uit een metalen tank met een membraan. De ballast op het membraan zorgt voor de systeem(werk)druk van 300 mm waterkolom. De gashouder is voorzien van een mechanische spui welke opent als de gashouder geheel gevuld is. De gashouder is voorzien van gasdetectie.

3.1.5 Gasverbruikers

De gasverbruikers staan opgesteld in dienstgebouw 3 (gasmotoren) en dienstgebouw 2 (CV-installatie). De gasmotoren in DG-3 staan in separate ruimte alle voorzien van gasdetectie. Dienstgebouw 2 is voorzien van gasdetectie.

3.2 Vergunningen

3.2.1 WM vergunning

In de WM vergunning is vastgelegd dat de indiklagunes gebruikt mogen worden voor (tijdelijke)opslag van uitgestist slib. Tevens is in de WM vergunning het spuien van gas toegestaan in bijzondere bedrijfsomstandigheden. Bijzondere bedrijfsomstandigheden dienen gemeld te worden aan provincie en gemeente.

3.2.2 Meldingen

Het schoonmaken van de gistingstank dient gemeld te worden aan provincie en gemeente als een bijzondere bedrijfsomstandigheid waarbij geur emissie en het spuien van biogas zal optreden.

3.3 Werkvergunningen

Werkvergunningen worden uitgegeven door toezichthouder aan eigenpersoneel of personeel derden.

Het uitgeven van de werkvergunningen heeft tot doel het in kennis stellen of nemen van:

- De gevaarsaspecten.
- De genomen veiligheidsmaatregelen.
- De geldende noodprocedures.
- Geschiktheid materiaal en personeel voor voorgenomen werkzaamheden.

Op diverse taken van het werk zijn de volgende vergunningen van toepassing:

- Betreden van besloten ruimten.
- Gevaarlijk werk

In het protocol staat bij de taak aangegeven of en zo ja welke vergunningen van toepassing zijn.

3.4 Werkinstructie's

Op de werkzaamheden zijn de volgende werkinstructies¹ van toepassing:

- Besloten ruimten²
- Besmetting (hygiëne)
- Werken op hoogte
- Gevaarlijke stoffen
- Instructie van bezoekers en werknemers van derden

3.5 Gevarezone-indeling

Door de *Arbo* Unie, west en midden Brabant, is een gevarezone-indeling gemaakt op basis van P-182, "Gevarezone-indeling met betrekking tot gasontploffingsgevaar". Conclusies en bevindingen zijn vastgelegd in schrijven van 10 februari 2000, ref. OO00.0081 TS/hp.

Gashouder, gistingstank, dienstgebouw 2, compressorruimte, gasverbruikers en leidingsysteem worden allen als zone 2 aangemerkt geldig voor het gebied met een straal van 7 meter rond een mogelijk uitworp punt.

Ten aanzien van de werkzaamheden in zone 2, gelden zolang de delen gasvoerend zijn de volgende opmerkingen³:

- Open vuur verboden
- Bedrijfsmiddelen met ingesloten vlammen zijn slechts toegestaan indien omhulling voldoende bestand tegen vlamwerking en vlamdoorslag verhinderd is (locatie stoomketel!!).
- Bedrijfsmiddelen met oppervlakte temperatuur tot maximaal de ontstekings temperatuur van methaan (595 °C) zijn toegestaan (stoomketel!!).
- Zijn werkzaamheden waarbij vonken ontstaan noodzakelijk dan moeten de vonken door maatregelen vermeden of afgeschermd worden.
- Vonkarm gereedschap gebruiken.

¹ "Instructie veilig werken" Hoogheemraadschap van West-Brabant 1998, Nr. 98/11502.

² zie ook Arbeidsinspectie, P69, Veilig werken in besloten ruimten, ministerie SZW.

³ Samengevat en aangevuld in relatie tot verwachte werkzaamheden rond GT.

3.6 Calamiteiten plan

Het calamiteiten plan maakt deel uit van de bedrijfshulpverlening. Op dit moment is een definitieve instructie bedrijfshulpverlening voor de rwzi Dongemond nog niet beschikbaar. Derhalve is een lijst met telefoonnummers als bijlage opgenomen.

3.7 Voorlichting

Voor aanvang van de werkzaamheden dient aan alle betrokkenen een instructie te worden gegeven. Tijdens de instructie dient minimaal aan bod te komen:

- Verloop van de werkzaamheden
- Gevaarsaspecten
- Noodprocedures

Voor aannemers zal een informatiebrief worden opgesteld.

3.8 Afzettingen

Het gebied rond de gistingstank dient te worden afgezet. Alleen personen die op dat moment daadwerkelijk iets met de werkzaamheden van doen hebben mogen zich binnen het gebied bevinden. Autoverkeer is (afhankelijk van het werk) niet mogelijk. Het gebied dient overzichtelijk te zijn, doch minimaal 7 meter rond de gistingstank.

3.9 Toegang en Registratie

Tijdens de werkzaamheden zal toegang en aanwezigheid registratie plaats vinden. Personen en aannemers voor andere werkzaamheden dienen gebruik te maken van de alternatieve ingang en dienen op de hoogte te worden gebracht van de werkzaamheden aan de gistingstank en het te mijden gebied. Bezoekers zullen tijdens de duur van werkzaamheden niet op de zuivering worden toegelaten.

3.10 Aannemers

Voor aannemers en eigen personeel welke werkzaamheden uitvoeren in relatie tot de gistingstank gelden de volgende specifieke paragrafen

3.10.1 Eisen

Gezien de specifieke aard en omgeving van de werkzaamheden dient er aandacht te worden besteed aan de volgende zaken:

- Fysieke geschiktheid van de personen die de ruimte moeten betreden,
- Gewicht en grote van de personen, iv.m. de afmetingen van toegang (mangat Ø600 mm) en mogelijk reddingsoperatie's.
- Het kennisniveau m.b.t. werken in besloten ruimte met specifiek gereedschap en hulpmiddelen (perslucht).
- Bijzondere aspecten zoals angst voor verblijf in besloten ruimte en of hoogtevrees.

In principe zal voor alle personen die de ruimte moeten betreden vereist worden:

- Gezondheidsverklaring
- VCA- certificaat

3.10.2 Was en kleedgelegenheid

De was en kleedgelegenheid in het slibverwerkingsgebouw zal beschikbaar zijn voor aannemers. T.b.v. lunch en vergaderingen zal een aparte keet geplaatst worden.

3.10.3 Gereedschap

Gereedschap dat in of rond (binnen 7 meter van) de tank wordt gebruikt dient te worden aangemeld. Voor bepaalde werkzaamheden dient EX veilig gereedschap te worden gebruikt (zie aanwijzingen op het protocol).

RISICO INVENTARISATIE

4

RISICODRAGENDE ACTIVITEIT ALGEMEEN	ARBO RISICO	RISICO -OORZAAK	SUGGESTIES
Werken nabij onderdelen waarbij sprake is van brand- en explosiegevaar.	Lichamelijk letsel door brand, explosie en bedwelming	Werksaamheden binnen zone met brand- explosiegevaar	Vergunning "gevaarlijk werk", werken met explosie veilige apparatuur en gereedschap. Rookverbod.
Tijdens onweer werken nabij onderdelen waarbij sprake is van brand- en explosiegevaar.	Lichamelijk letsel door brand, explosie en bedwelming	Werksaamheden binnen zone met brand- explosiegevaar	Werksaamheden staken.
Doorgaande zuiveringsbedrijf	Lichamelijk letsel	Het treffen van tijdelijke voorzieningen die aansluiten op in bedrijf zijnde delen. Werken op beperkte ruimte.	Overleg, Draaiboek opstellen. Verlichting aanbrengen zodat men zich 's nachts kan oriënteren.
Werken in besloten ruimte	Lichamelijk letsel, bedwelming, paniek	Werksaamheden in ruimte waarin zich schadelijke stoffen en of gassen kunnen bevinden.	Vergunning "besloten ruimte", continue meten. Vluchtwegen vrijhouden. Ventileren.
Gebruik van terreinwegen, die tevens gebruikt worden voor bedrijfsvoering.	Lichamelijk letsel, aanrijdingen	(Tijdelijke) installaties of leidingen op of nabij terreinwegen.	Afzettingen. Omléidingen.
Werken in/aan/nabij hoog of laag gelegen ruimtes	Lichamelijk letsel	Vallend materiaal/gereedschap. Hoogteverschil, vallen	Aanbrengen hulpvoorzieningen (steigers, balustrade, netten) Persoonlijke beschermingsmiddelen (helm, valkoord). Afstemmen werksaamheden (niet boven elkaar werken).
Werken in stof/lawaai en trillingen	Lichamelijk letsel, gehoorbeschadiging	Omgeving, werkwijze, doorgaand bedrijfsvoering	Persoonlijke beschermingsmiddelen.
Werken met hijsmaterieel en hijslasten, laden/lossen	Lichamelijk letsel door bedelving/beklemming	Werken binnen kraan-/lastbereik	Voldoende werkruimte, technische controle materieel, deskundige uitvoering
Werken op laders/steigers	Lichamelijk letsel door vallen	Hoogteverschil, werkwijze	Aanbrengen hulpvoorzieningen
Bedienen van afsluiters in procesinstallaties	Secundair risico t.g.v. procesverstoring, in werking tredende beveiligingen.	Verkeerde bediening of bedieningsvolgorde	Draaiboek/Protocol hanteren.

RISICODRAGENDE ACTIVITEIT	ARBO RISICO	RISICO - OORZAAK	SUGGESTIES
Omschakelen naar afwijkende bedrijfsvoering	Secundair risico t.g.v. procesverstoring, in werking tredende beveiligingen	Improvisaties t.g.v. onverwachte opstakels (niet werkende appendage, verstopte leidingen)	Route testen. Afsluiters gangbaarheid testen.
Afwijkende bedrijfsvoering	Secundair risico t.g.v. procesverstoring, in werking tredende beveiligingen	Slechte communicatie. Ingesleten gewoonten	Goede communicatie. Duidelijke aanwijzingen t.b.v. afwijkende bedrijfsvoering. Schakelaars, afsluiters stand fixeren m.b.v. sloten, bordjes.
GISTINGSTANK			
Openen inspectiegas/luik	Lichamelijk letsel	Overdruk, brand en explosiegevaar.	Gebruiken van sproeistraal, perslucht, vonkvrij gereedschap. Elektriciteit afschakelen.
Leegzetten gistingstank	Lichamelijk letsel	Implosie t.g.v. onderdruk	Beluchten tijdens leeglopen. Omgeving vrij van personeel.
Leegzetten gistingstank	Lichamelijk letsel t.g.v. explosie	Explosie t.g.v. overschrijden explosiegrenzen tijdens beluchten bij leegloop.	Inertiseren vooraf (spoelen met N ₂). Omgeving vrijhouden.
Leegzetten gistingstank	Lichamelijk letsel t.g.v. explosie	Groot belucht volume, ontstaan van gas tijdens leegloop.	Beluchten, meten, ventileren.
Metten explosiegevaar	Lichamelijk letsel t.g.v. brand, explosie.	Werkzaamheden in zone met brand-, explosiegevaar.	Sproeistraal. Perslucht.
Openen mangat	Lichamelijk letsel, bedelving	Overdruk t.g.v. waterdruk bij niet geheel leeg zijn van de tank	Debiet meten. Inspectie voor openen mangat.
Werkzaamheden over periode verspreidt	Lichamelijk letsel, verbranding, bedwelming.	Gas lekkage, afsluiter open, vrijkomende dampen uit achtergebleven slib.	Continue meten. Checklist
Opstarten gistingsproces	Lichamelijk letsel t.g.v. brand explosie	Brand explosie door overschrijden explosiegrenzen tijdens verdringen zuurstof.	Inertiseren, Zuurstof verdringen voor opstart.
VERWARMINGSCAPACITEIT			
Werken met stoomketels			Let op! 24 uren wacht ivm Stoomwezen.
INERTISEREN			

RISICODRAGENDE ACTIVITEIT	ARBO RISICO	RISICO -OORZAAK	SUGGESTIES
Werken met vloeibare N ₂	Cryogene verbranding	Lekkage vloeibare stikstof (-197°C)	Draag handschoenen, bril en gesloten schoenen en broekspijpen over schoenen. Voor Eerste hulp zie informatieblad I-9-001 (Air Liquide)
Werken met inert gas	Verstikking door zuurstofgebrek.	Lekkage inert gas in bijvoorbeeld putten of besloten ruimten..	Ventileren (min. factor 2), O ₂ meten., Perslucht paraat houden. Voor eerste hulp zie infoblad I-9-002 (Air Liquide)
REINIGEN			
Uitglijden	Lichamelijk letsel	Gladde vloer/wanden door slijb.	Antislip schoeisel
Schoonmaken met stoom	Explosie	statisch elektriciteit	GEEN STOOM GEBRUIKEN
Gebruikte gereedschap	Explosie, brand		Aandacht voor gereedschap: verlichting met veilig lage spanning, EX. Gereedschap, toezicht bij mangat.
Stoten tegen lansen	Lichamelijk letsel	Lansen welke van dak tot grond reiken vormen obstakels.	Waarschuwen.
Ontstaan van explosief mengsel	Explosie, brand	Vrijkomen gas uit restslijb.	Continue meten. Beluchten
Werken in vuile tank (slijb)	Infectiegevaar	Virussen en bacteriën	Adembescherming
Sputten met effluent	Infectiegevaar	Virussen en bacteriën in effluent	Adembescherming
VERVANGEN RINGLEIDING			
Loshalen ringleidingen en appendages.	Lichamelijk letsel door brand	Werken aan gashoudende leidingen.	Leiding spoelen voor aanvang werkzaamheden.
Inbedrijf nemen gas recirculatiesysteem.	Lichamelijk letsel door brand	Lekkage.	Alle losgenomen en nieuw gemaakte verbindingen testen op dichtheid.
STEIGER			
Vallende voorwerpen	Lichamelijk letsel	Bouwen en afbreken van steiger	Toezicht bij mangat.
Bouwen in deels niet geheel gereinigde tank	Explosie, brand	Bouwen steiger t.b.v. schoonmaak wanden	Continue meten,
LASWERKZAAMHEDEN			
lassen	bedwelming	Vrijkomen giftige gassen	Ventileren, eventueel puntafzuiging, toezichthouder bij mangat.
AANBRENGEN COATING			
coaten	Bedwelming	oplosmiddelen	Product info. Meten concentratie.

5 PROJECTBEGELEIDING

5.1 Projectgroep

De projectgroep is samengesteld uit leden van diverse disciplines. De projectgroep is o.a. verantwoordelijk voor de goede voorbereiding en uitvoering van het werk. Indien nodig schakelt de projectgroep interne of externe (Arbodienst) deskundigheid in.

5.1.1 Projectgroep leden

Naam	Functie
J. Weterings	District hoofd regio Oost
C. Christianen	w.n. Beheer sectie Oost, advisering bedrijfsvoerings aspecten.
H. Mollen	Coördinatie en advisering zuiverings technologische aspecten.
J. Gooiker	Projectcoördinatie en advisering werktuigbouwkundige aspecten

5.2 Uitvoering

Voor de uitvoering worden diverse functionarissen aangewezen. De onderstreepte namen zijn de eerst aangewezen. De overige kunnen in geval van verhindering van eerst aangewezen als vervanger optreden. In principe vervuld een functionaris geen dubbelrollen.

5.2.1 Toezichthouder

De toezicht houder vervult de algehele coördinatie van de uitvoerings activiteiten. Ontvangt en instrueert aannemers. Geeft de benodigde werkvergunningen uit. Bewaakt de volgorde van de werkzaamheden. Controleert de uitvoering van de werkzaamheden. Coördineert ingeval van calamiteit. Stelt persoon aan die tijdens werkzaamheden in de tank bij het mangat staat.

5.2.2 Meetbevoegden

De meetbevoegde meet in opdracht van toezichthouder. Bij continue meting verantwoordelijk voor het regelmatig controleren op de goede werking van de meetapparatuur.

5.2.3 Bedrijfsvoerders

Bedrijfsvoerders zijn goed bekend met de plaatselijke installatie. Bedienen de installatie op aanwijzing toezichthouder volgens de stappen van het protocol. Zorg voor doorgaande afwijkende slibbedrijf (en zuiveringsbedrijf). Afzettingen. Assistentie opstellen aannemers.

6 PROTOCOL

In het protocol worden, voor de met name veiligheidskritische werkzaamheden, de handelingen tot op afsluiter niveau vastgelegd. Hiertoe worden voor aanvang van de werkzaamheden de afsluiters gelabeld volgens de bijgevoegde bedrijfsschema's.

6.1 Omleiden slibproductie VIT naar VSOMT

6.1.1 Algemeen

Het slib uit de VIT dient omgeleid te worden naar de VSOMT. Hiertoe dient de externe aanvoer (vreemd slib) gestopt te zijn en inhoud VSOMT grotendeels verwerkt. De route is met GROEN gemarkeerd op bedrijfschema ZDO 1-6. Tijdens het uitbedrijf zijn van de GT wordt het eigen slib vers verwerkt vanuit de VSOMT op de zeefbandpersen. Deze route is ROZE gemarkeerd op bedrijfschema ZDO 1-6.

(Het surplusslib komt in de slibwaterkelder van DG-2 en wordt via de Slibwaterpompen naar het VW-1 gepompt. Dit circuit blijft ongewijzigd.)

ROUTE GETEST			
Datum:	Naam:	Handtekening:	Bijzonderheden:

6.1.2 Protocol omleiden slibproductie VIT naar VSOMT

= controle punt

P = verwijzing naar ander protocol.

Opmerking cursief = evaluatie opmerking

	Omschrijving	Locatie	Verg.	Uitgevoerd	Opmerking
	Externe aanvoer gestopt?				
	VSOMT leeg?				Niveau=
	Afzetten slibvoedingspompen (USP-1, VSP-1)	DG2			
	A-GT-V dicht	GT			
	A-SA 4 en 6 dicht / A-SA-2 dicht	DG2			<i>A-SA-4 open</i>
	A-SA 5 en 7 open	DG2			<i>A-SA-5 dicht</i>
	A-UT-1 dicht,	SG			
	A-GSA-9 dicht	SG			
	A-VT-1 open	SG			
	Starten slibvoedingspompen (USP-1 uit, VSP-1 aan)	DG2			

6.2 Uit bedrijf nemen en leegzetten van de GT

6.2.1 Algemeen

Nadat slibtoevoer naar GT gestopt is (zie 6.1, Omleiden slibproductie VIT naar VSOMT), de GT uit laten gassen. De momentane gasproductie wordt periodiek (ieder uur) vastgelegd. Wanneer de gasproductie gedaald is tot beneden 10 m³/uur (gasmeter in DG-2 en via spui op gashouder) kan begonnen worden met het inertiseren van het biogassysteem

Opmerking 1: De maximale restgasproductie waarde is gebaseerd op de benodigde tijd om na het inertiseren het systeem drukloos te maken, het kijkglas te openen en te starten met ventileren. De CH₄ concentratie mag dan de LEL niet overschrijden. Stel de benodigde tijd op circa 1 uur; 5% van 250 m³ = 12,5 m³. Hiervoor is $12,5 / 0,65 = 19,2$ m³ biogas met 65% methaan nodig. Met een veiligheids marge 50% voor eventueel restgas na inertiseren en uitloop van de tijd.

Opmerking2: In het geval dat de gaskwaliteit tijdens het uitgassen terug zou lopen (wordt niet verwacht), wordt de gashouder voortijdig afgekoppeld. De restgasproductie wordt dan gespuid via de spui op de GT. Van de momentane restgasproductie wordt dan een schatting gemaakt door extrapolatie van de meetgegevens. Bij eventueel meten op de GT spui (geen meter aanwezig) dient rekening gehouden te worden met het feit dat eerst drukopbouw plaatsvindt van 30 naar 50 mBar gedurende welke periode er niet gespuid wordt.

Opmerking3: Om tijdens het leegloop proces de CH₄ concentratie < 2% te houden dient tijdens het leeglopen geventileerd te worden met factor 50x restgasproductie.

De gashouder dient voor 50% gevuld te blijven t.b.v. een gasvoorraad om de GT op druk te brengen. Hiertoe worden de afschakel setpoints van de gasverbruikers verhoogt.

Om een explosief stadia tijdens leegloop te voorkomen zal het aanwezige biogas worden verdrongen door stikstof. Dit inertiseren gebeurt m.b.v. een mobiele unit met vloeibare stikstof (N₂) voorzien van verdamer. De stikstof wordt ingebracht in de persleiding bij de gascompressor van het gasrecirculatiesysteem. De gascompressor dient uit te staan om menging te voorkomen. Het biogas wordt van onderaf (via de menglansen) door de stikstof verdrongen (via de spui op de GT).

Opmerking1: In de praktijk dient met 3-4x de gasinhoud gespoeld te worden op een rustige snelheid van max. 60 – 100 m³/h. Het benodigd volume stikstof is circa 775 - 1050 m_n³ stikstof⁴. Om eventuele dode hoeken te spoelen dient af en toe een extra stoot stikstof gegeven te worden.

Opmerking2: Doordat de stikstof via de lansen in de GT gebracht wordt kan een hogere spoel snelheid aangehouden worden (250 m³/h). *Blijkt in de praktijk niet het geval. Het opstijgen en uitzetten van de N₂ bellen veroorzaken teveel turbulentie. Uitgaan van inertiseren door verdunning ipv verdringing.*

Opmerking3: Vanwege de geplande werkzaamheden aan het ringleiding systeem, dient ook de zuigleiding en de leiding naar de gashouder gespoeld te worden. De aansluiting van de stikstof vindt hiervoor plaats in de afsluiter van de gashouder.

Na het inertiseren wordt de GT drukloosgemaakt en wordt het kijkglas geopend (afdekken met rooster). Via het geopende kijkglas wordt extra geventileerd en extra lucht aangezogen tijdens het leegzetten van de GT.

Het slibwatermengsel wordt verpompt m.b.v. een gehuurde pomp aangesloten op afsluiter A-GT-L3 in de leegloopput van de GT. Het slibwatermengsel wordt via een 6 mm rooster naar de IDL2 gepompt. Tijdens het leegzetten GT met name in het begin controleren of het rooster de capaciteit aan kan. Vanuit IDL2 wordt een gedeelte naar de USOMT gepompt.

6.2.2 Protocol leegzetten GT

Veiligheden (Spui GT/GH/DG2, Gasdetectie DG2) getest.			
Datum:	Naam:	Handtekening:	Bijzonderheden:

Aansluitingen Stikstof unit nabij compressor aan perszijde en afsluiter A-GH-T3			
Datum:	Naam:	Handtekening:	Bijzonderheden:

Aansluiten Pomp, rooster en leidingsysteem t.b.v. leegpompen. Op afsluiter A-GT-L1			
Datum:	Naam:	Handtekening:	Bijzonderheden:

Protocol leegzetten GT (vervolg)

	Omschrijving	Locatie	Verg.	Uitgevoerd	Opmerking
--	--------------	---------	-------	------------	-----------

⁴ Gashoudend volume 250 m³: minimaal 3x spoelen (bij voorkeur 3-4 keer)=750-1000 m³ Door het spoelen onder druk 30 mBar neemt spoelvolume met factor 1,03 toe

	Omschrijving	Locatie	Verg.	Uitgevoerd	Opmerking
P	Slibtoevoer gestopt. "Omleiden slibproductie VIT naar VSOMT"				
	Afschakelpunt BIO-gas verbruikers wijzigen zodat Gashouder minimaal 50% gevuld blijft.				
	Slibrecirculatie uit bedrijf nemen. Let op, ook waterzijdig i.v.m. lekkage in warmte wisselaar.	DG2			
	Afzettingen gereed.				
	Elektriciteit afgeschakeld GT en GH				
	Ventilator (spanningsloos), rooster, rubber matten op dak GT.				Cap. Min. 500 m3/h.
	Hoofdpoot dicht.				
	FeCl3 dozing uit.				
	BIO-gasverbruikers afgeschakeld of overschakelen naar aardgas (CV?).				
	Gashouder vol			100%	Min 50%
	Restgas spuien op gashouder.	GH		Start spuien op GH	
	Ieder uur gasproductie opnemen in DG-2.				
	Gasproductie onder 10 m3/uur			6-10 m3/h	
	Luchtbediende afsluiter A-GH-T1 dicht	GH		Einde spui op GH	Metten.
	Gashouder afkoppelen door afsluiter A-GH-T2 dicht en voorzien van slot	GH		Start spuien op GT	
	Ter voorkoming terugstroom in flowmeter. Afsluiter A-BG-A1, A-CV-B1 dicht, Afsluiter A-BG-A5 open.	DG-2			CV-uit
	Gascompressor uit bedrijf nemen. Afsluiters open laten staan i.v.m. druk in systeem.	DG2			Zuig dicht
4h	Inertiseren door Stikstof toe te voeren perszijdig.	DG2		(400 m3/h)	Flow max: 250 m3/h.
	Iedere uur meten aan kijkglas.	GT			
	Iedere 1 uur. Toevoer stikstof gedurende 15 minuten maximaal (800 m3/h).	DG2			
	Controle meting onder 10% LEL				
1h	GT drukloos maken, kijkglas openen en ventilator aanzetten.				Werktijd max. 1 uur.
1h	Inertiseren zuigleiding recirculatie systeem.				
1h	Inertiseren Leiding Gashouder, Gas verdringen met N2 door afsluiter A-GH-T3 te openen.	GH			Flow max: 60-100 m3/h.
	controlemeting aan kijkglas op GT, Let op eerst O2 meting op GT ivm aanwezig gespuid N2 gas.	GT		Einde spui op GT	
16h	Slibwater mengsel verpompen naar IDL-2 en USOMT.				
	Totaal verpompt >3750 m3, visueel controleren of niveau onder mangat.				
	Openen mangaten (2x)				
	controlemeting aan mangat				

	Omschrijving	Locatie	Verg.	Uitgevoerd	Opmerking
	Alle toe en afvoer afsluiters dichtzetten. Ringleiding A-GT-G0t/m20 A-GT-D2, A-GF-D1, A-GT-R1, (A-GT-V), A-GT-R2, A-GT-2, A-GT-L1t/m3, A-GT-S1	GT			
	Als 2 ^{de} veiligheid ook alle slib toevoerende afsluiters in DG2 sluiten. A-SA-8, A-SA-1	DG2			
	Benodigde elektra herstellen.				
	Hoofdboort weer open				
	Vrijgave voor schoonmaak.				

6.3 Vullen en opstarten GT

6.3.1 Algemeen

Voor het opstarten dienen alle werkzaamheden beproefd te zijn. Mangaten (2x) gesloten. De GT wordt m.b.v. een gehuurde pomp via de leegloopleiding (afsluiter A-GT-L1) gevuld m.b.v. effluent uit de effluent voorraadkelder in DG2. Ontluchting vindt plaats via open kijkglas op dak van GT. I.v.m. overstroom van GT terwijl USOMT nog vol zit dient de overstroom leiding naar de NIT gekoppeld te zijn.

Wanneer de tank tot boven het mangat gevuld is (ivm vulpunt pomp), wordt gestart met het verwarmen van de GT. Hiertoe wordt water via de aftapleiding (afsluiter A-GT-L2) door een warmtewisselaar (gehuurd) geleid. Het verwarmde water wordt via een slang door het kijkglas in de GT terug gebracht. *Dit ter voorkoming van plaatselijke te grote opwarming van het beton.*

De tank wordt geheel gevuld totdat effluent overstroomt via overlaat. De tank wordt opgewarmd tot een temperatuur boven de 30°C, zodanig dat bij toevoeging van slib uit USOMT de eindtemperatuur 30°C is. Nadat het effluent op de juiste temperatuur is wordt de externe verwarmingscapaciteit verwijderd en wordt ingedikt slib (circa 250 m³) uit de VIT toegevoerd. De inhoud van de tank wordt gemengd door de gascompressor in bedrijf te nemen. Het verse slib zal de aanwezige zuurstof in de tank gaan verbruiken. Wanneer de O₂ concentratie beneden de 10% gedaald is, wordt de tank gesloten.

De GT wordt geënt vanuit de USOMT. Gedurende deze tijd dient de gasrecirculatie en slibrecirculatie uit bedrijf te zijn om zo min mogelijk menging te krijgen (*i.v.m. het overstorten naar naindikker*). Na het enten wordt de tank op druk gebracht met behulp van de gasvoorraad uit de gashouder.

Gasmengcompressor en slibrecirculatie worden in bedrijf genomen. De eerste gasproductie wordt gespuid via de gashouder totdat de kwaliteit in orde is. De slibvoeding zal geleidelijk hersteld worden. Een uur voor het voeden worden de gasmencompressor en slibrecirculatie uitgezet. Na het voeden gaan beide systemen weer aan. De te voeden hoeveelheid wordt dagelijks door de afdeling technologie vastgesteld.

Om problemen met de gasverbruikers te voorkomen, wordt er dan pas gas uit de GT in het systeem toegelaten als de kwaliteit voldoende is. Tijdens opstarten zal er dus gespuid worden via de spui op de GH.

6.3.2 Protocol vullen en opstarten GT

Aansluiten EffluentPomp t.b.v. vullen op afsluiter A-GT-L1			
Datum:	Naam:	Handtekening:	Bijzonderheden:

Aansluiten extra verwarmingscapaciteit. Afvoer op afsluiter A-GT-L2

Datum:	Naam:	Handtekening:	Bijzonderheden:
--------	-------	---------------	-----------------

Protocol vullen en opstarten GT

	Omschrijving	Locatie	Verg.	Uitgevoerd	Opmerking
	Werkzaamheden beëindigd en beproefd				
	GT Tank schoon opgeleverd.				
	Over/onderdrukbeveiligingen gevuld.				
	Kijkglas open				
	<i>Vullen tot mangat</i>				
	<i>Gasrecirculatie testen.</i>				
	Mangaten 2x gesloten				
	Slibafvoerleiding (overloopput) naar NIT. Afsluiter A-NT-2 dicht. A-NT-1 open .A-GF-2 open.	GT/ NIT			<i>A-GT-2 gesloten</i>
	Start vullen met effluent. Afsluiter A-GT-L1 open.				
	Vulnivo boven mangat? (kijken met verlichting of peilkoord via kijkglasopening)				
	Temperatuur slib in USOMT			20-09	T=22 °C
	Starten extra verwarmingscapaciteit.				Tot T= 18 °C
	GT geheel gevuld.				
5d	Inhoud op juiste temperatuur, Verwarming verwijderen.			12000 L HBO1	T= 34 °C
	Afsluiters ringleiding en gasrecirculatie openen. A-GT-G0t/m20, A-GT-D2, open	GT			
	Vanuit VIT circa 240 m3 slib voeden.				
	Gasrecirculatie in bedrijf stellen.	DG2		27/9 8:30h.	
2h.	O2 gedaald tot < 10%			10:45 h.	9,0 % O2
	Hoofdpoort gesloten.				
	Gasrecirculatie uit bedrijf nemen.			14:00 h	3% O2
	Kijkglas sluiten				
	Om terugstroom in gasmeter te voorkomen: A-BG-A3 sluiten en A-BG-A5 openen.	DG2			
	A-GH-T5 is dicht.				
	Systeem op druk brengen m.b.v. GH: A-GH-T1 openen A-GT-D1 openen <u>Langzaam</u> A-GH-T2 openen en systeem komt op druk. Let op er zal vloeistof verdrongen worden uit de GT via de overloopput.	GH GT GH GT		14:15 h.	
	Als GH niveau niet meer daalt (circa 75 m3 gedaald). Gascircuit bij gasmeter herstellen: A-BG-A1t/m3 open en 4t/m5 dicht.				
P 66h	Enten vanuit de USOMT.			Start spui op GH	15:45 h.start enten, 18 m3/h
	Slibcirculatie in bedrijf nemen. Afsluiters A-GT-R1 en A-GT-R2 open.	GT			
	Afsluiters A-ST-1, A-SA-1 open.	DG2			
	Slibcirculatiepomp in bedrijf.	DG2			
	Warmtewisselaar in bedrijf	DG2			
	Gasrecirculatie weer in bedrijf stellen.	DG2			
P	Herstellen slibvoeding				
	Gaskwaliteit voldoende				Dagelijks contr.

	Omschrijving	Locatie	Verg.	Uitgevoerd	Opmerking
	Set points afschakelpunten BIO-gas verbruikers herstellen tot oorspronkelijke waarden.				
	Gasvoeding naar compressoren, A-GH-T5, openen. Indien nodig CV op biogas in bedrijf.	GH		Einde spui op GH.	
	Hoofdpoort weer open				
	Externe aanvoer USOMT				
	Overgaan tot normale bedrijfsvoering.				

6.4 Enten vanuit de USOMT

6.4.1 Algemeen

Het opgeslagen slib in de USOMT wordt gebruikt om de GT te enten.

Tijdens enten wordt een deel van het leidingsysteem naar de zeefbandpersen gebruikt (zie blauwe route op bedrijfsschema). De zeefband persen dienen gedurende het enten uit bedrijf genomen te worden. Van tevoren dient de VSOMT zoveel mogelijk leeg te zijn.

Tijdens het enten wordt zal overtollige inhoud overlopen. Daarom dient overloopleiding tijdelijk naar de NIT gekoppeld te worden i.p.v. USOMT.

6.4.2 Protocol enten vanuit de USOMT

ROUTE GECONTROLEERD			
Datum:	Naam:	Handtekening:	Bijzonderheden:

	Omschrijving	Locatie	Verg.	Uitgevoerd	Opmerking
	VSOMT leeg				Niveau=
	Zeefbandpersen uit bedrijf.				
	Overloopleiding naar NIT				
	Afsluiters A-GST-1, A-GST-2, A-GST-3 dicht	SG			
	Aftap VSOMT dicht. Afsluiter A-VT-3 dicht	VSOMT			
	A-GSA-3 dicht	SG			
	A-GST-5, 6 en 7 open	SG			
	Aftap USOMT, A-UT-3 open	USOMT			
	Toevoer GT, A-SA-8 open	DG2			
	Toevoer GT, A-GT-V open	GT			
	Start VSP-2	SG			
	USOMT leeg				
P	Herstellen slibontwateringsbedrijf				
	Herstellen overloopleiding naar USOMT				

6.5 Verpompen slib van IDL naar USOMT

6.5.1 Algemeen

Ten behoeve van de opstart van de GT wordt een gedeelte van het slib bewaard in de USOMT. Hiertoe wordt de USOMT gevuld met het uit de GT afkomstige geroosterde slib uit de indiklagune.

Een tijdelijke leiding wordt aangesloten op de pompput van de IDL rechtstreeks naar de externe toevoer USOMT.

6.6 Herstellen bedrijfsvoering

6.6.1 Herstellen slibontwateringsbedrijf.

	Omschrijving	Locatie	Verg.	Uitgevoerd	Opmerking
	USOMT leeg				
	Stop VSP-2	SG			
	Aftap USOMT, A-UT-3 dicht	USOM T			
	A-GST-5, 6 en 7 open/dicht afhankelijk gewenste bedrijfsvoering	SG			
	A-GSA-3 dicht	SG			
	Aftap VSOMT open. Afsluiter A-VT-3 open	VSOM T			
	Afsluiters A-GST-1, A-GST-2 , A-GST-3 open/dicht afhankelijk van de bedrijfsvoering	SG			
	Zeebandpersen in bedrijf.				

6.6.2 Vers slibvoeding

	Omschrijving	Locatie	Verg.	Uitgevoerd	Opmerking
	Een uur van tevoren gasmengcompressor en slibrecirculatie stoppen.				
	A-VT-1 sluiten	SG			
	A-SA 5 en 7 dicht	DG2			
	A-SA 4 en 6 en 8 open	DG2			
	A-GT-V open	GT			
	Starten slibvoedingspompen (USP-1, VSP-1)	DG2			Hoeveelheid dagelijks bepaald door technologie.
	Stoppen slibvoedingspompen (USP-1, VSP-1)	DG2			
	Gasmengcompressor en slibrecirculatie starten.				

7 EVALUATIE

7.1 Inleiding

Op de rwzi Dongemond zijn in september schoonmaak, aanpassing en herstelwerkzaamheden verricht aan de gistingstank. Op 31 oktober heeft een evaluatie van de werkzaamheden plaatsgevonden.

7.2 Verloop van de werkzaamheden

Voor aanvang van het project is een plan van aanpak opgesteld. Dit plan van aanpak is verder uitgewerkt in een draaiboek met daarin protocollen voor het uit en in bedrijf nemen van de gisting. Gedurende de uitvoering is een dagelijks journaal bijgehouden. Vooraf zijn afsluiters gemerkt en getest. Bij het testen van de diverse leidingen bleek een aantal leidingen onbruikbaar, waarvoor tijdig extra leidingmateriaal is gehuurd (IDL --> USOMT). Een van de uitgangspunten is geweest dat tijdens het uit en in bedrijf nemen er op geen enkel moment een explosief mengsel aanwezig is. Hiertoe is voor het verdringen van het gas m.b.v. het inert gas stikstof gekozen bij het uit bedrijf nemen en voor het zuurstofloosmaken m.b.v. actiefslib bij het in bedrijf nemen.

Tijdens het inertiseren bleek aanzienlijk meer stikstof benodigd dan voorzien om onder de 10% LEL te komen. Dit is naar alle waarschijnlijkheid te wijten aan turbulentie veroorzaakt door het inbrengen van de stikstof via de menglanzen. Hierdoor kan er sprake zijn geweest van gedeeltelijke verdunning (spoelvolume > factor 10 gashoudende ruimte) i.p.v. de beoogde verdringing (spoelvolume factor 3-4 gashoudende ruimte). Ook kan de restgasproductie verhoogt zijn geweest door het spoelen via de menglanzen. Uiteindelijk is 14% LEL gehaald met 4230 kg N₂ (≈3350 Nm³). *Bij inertiseren met stikstof dient voor verdringing de stikstof op het scheidingsvlak slib/gas langzaam ingebracht te kunnen worden is dit niet mogelijk dan dient rekening gehouden te worden met een spoelvolume gebaseerd op verdunning.*

Tijdens het leegzetten verliepen de eerste 3000 m³ zonder noemenswaardige problemen. Het geroosterde slib is opgeslagen in indiklagune (IDL)₂ en de USOMT. Bij de laatste 1000 m³ verstopte de pomp en de zuigleiding voortdurend. Van 1000 m³ tot 250 m³ (mangatnivo) verliep het leegzetten daardoor moeizaam. De laatste 250 m³ zijn via de mangaten met inzet van extra pompen en zuigwagens verwijderd. Hierbij is voortdurend verdunt met effluent. Door de onregelmatige aanvoer en dikslib verstopte het fijnrooster regelmatig waardoor de laatste 1000 m³ ongeroosterd in IDL₃ opgeslagen is. Tijdens het opstarten van de gisting is het slib in IDL₃, overwegend via de eigen roostergoedinstallatie en de zandvang, alsnog gereinigd. *Terugkijkend lijkt de pompkeuze (schroefcentrifugaalpomp met vacuuminrichting) niet gelukkig geweest en had beter voor een draaizuigerpomp gekozen kunnen worden. Ook is te overwegen de menging langer in stand te houden al is het vermoeden dat de laatste 1000m³ voornamelijk bestond uit dikslib en zand dat al langere tijd niet aan het mengproces deelnam, gezien de trechtersvormen vanaf de wand (3mtr. hoog) naar de menglanzen. T.a.v. de roosterkeuze kan gesteld worden dat het rooster te klein (6 mm) was m.b.t. de verwerkingscapaciteit en had beter voor 12 mm rooster gekozen kunnen worden. De plaats van het rooster dient zo dicht mogelijk bij de tank te zijn. In programma van aanpak is niet aangedurfd om te roosteren via de eigen installatie. Achteraf gezien had dit wel gekund mede gezien het feit dat IDL₃ grotendeels via het eigen rooster verwerkt is.*

In het kader van herstel werkzaamheden zijn de ringleiding en stijgleidingen van de gasmengcompressor vervangen. Tijdens inspectie van de leegstaande tank bleken diverse menglanzen ernstig gecorrodeerd (3x), verbogen (5x) en of afgebroken (2x) te zijn. Naar aanleiding hiervan zijn alle menglanzen (20x) eveneens vervangen en tevens vastgezet aan de bodem.

In het kader van aanpassingswerkzaamheden is de aflat en drijfllaagafvoer constructie vervangen door een gewijzigd model. Het bleek constructietechnisch niet mogelijk de nieuwe aflat op de oude positie te plaatsen. De nieuwe constructie is daarom in een nieuw gemaakt gat in het dak geplaatst.

Het vullen en opstarten van de gisting is nagenoeg geheel volgens het protocol verlopen. Voor het vullen en opwarmen bleek een langere tijd en meer brandstof benodigd dan voorzien, e.e.a. veroorzaakt door foutieve opgaven verwarmingscapaciteit ketel. Tijdens het vulproces kwamen diverse lekkages aan het licht op koppelingen in de slib circulatie zuigleiding. *De lekkages zijn naar alle waarschijnlijkheid veroorzaakt door krimp t.g.v. het afkoelen van de leidinginhoud voor het eerst in 20 jaar. Tevens bleken de trekvastverbindingen weggerot. De leiding is hersteld met nieuwe koppelingen en trekvastverbindingen.*

Op enige afrondende werkzaamheden na, zoals isolatie ringleiding en reparatie dak t.p.v. aflat, was het project gereed ten tijde van de evaluatie.

7.3 Financieel

In onderstaande tabel is een afgerond kostenoverzicht opgenomen. In de eerste kolom "Project 4001" zijn de kosten vermeld welke op project 4001 drukken. De tweede kolom "Exploitatie" zijn de kosten welke op de exploitatie begroting drukken. De eerste en tweede kolom opgeteld geven de kosten van de totale operatie. De derde kolom "Alleen schoonmaak" zijn de kosten exclusief herstel en reparatie werkzaamheden.

RWZI Dongemond Kostenoverzicht project 4001 (afgerond)	Project 4001	Exploitatie	Alleen Schoonmaak
1 Pompen / leidingen	fl 14.000		fl 14.000
2 Huur rooster	fl 9.000		fl 9.000
3 Afvoer roostergoed	fl 11.000		fl 11.000
4 Inertiseren	fl 3.000		fl 3.000
5 Schoonmaak gistingstank	fl 30.000		fl 30.000
6 Vervangen ringleiding	fl 115.000		
7 Aanpassen aflatconstructie	fl 60.000		
8 Huur extra verwarmingcapaciteit	fl 30.000		fl 30.000
9 Extra slibverwerkingskosten		fl 60.000	fl 40.000
10 Extra energiekosten		fl 30.000	fl 20.000
11 Reparatie IDL + Warmtewisselaar	fl 3.000		
12 Externe advieskosten	fl 5.000		
13 Subtotaal	fl 280.000	fl 90.000	fl 157.000
BTW 17,50%	fl 49.000	fl 15.000	fl 30.000
14 uren eigen dienst (15)	150	1150	900
15 Kosten eigen dienst	fl 20.000	fl 110.000	fl 80.000
16 Onvoorzien	fl 11.000		fl 8.000
17 TOTAAL	fl 360.000	fl 215.000	fl 275.000

Ten tijde van de werkzaamheden is de TE installatie gereviseerd. De kosten hiervan zijn buiten beschouwing gelaten maar zouden wel een verdeling van extra energie inkoop rechtvaardigen. De herstellkosten (40k) t.b.v. zuigleiding slibcirculatie zijn niet in het kostenoverzicht opgenomen.

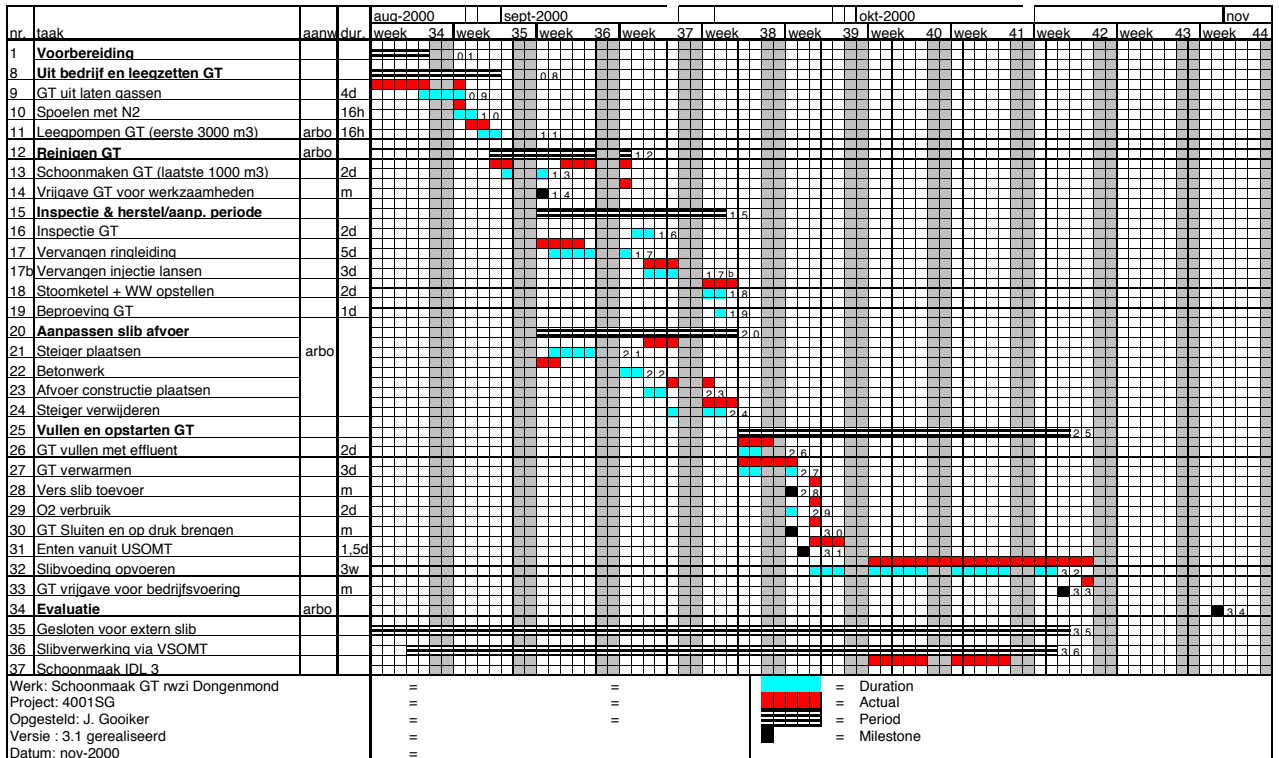
7.4 Personeel

Door mate van vervuiling van de tank is meer eigen personele inzet nodig geweest voor het schoonmaken, zowel van de tank zelf als IDL3 in tweede instantie (+480 uur). Volgens wet van het Stoomwezen mag een stoomketel nooit onbemand in bedrijf zijn. Dit heeft geleid tot het instellen van een 24 uren dienst tijdens het opwarmen van de GT (+100 uur). Extra uren t.b.v. afwijkend slibverwerkingsbedrijf (+125 uur).

7.5 Arbo

In afwijking met het draaiboek is het daadwerkelijk schoonmaken van de tank grotendeels door de eigen dienst gedaan i.p.v. extern personeel (aannemer). Tevens is tijdens de laatste fase van de schoonmaak veel gespoot met effluent om de tankinhoud te verdunnen. Vanuit veiligheidsoogpunt met het risico op infecties kunnen vraagtekens geplaatst worden bij het verrichten van deze werkzaamheden zonder adembescherming. *Bij toekomstige schoonmaakwerkzaamheden dient hier meer aandacht aan besteed te worden.*

7.6 Gerealiseerde planning



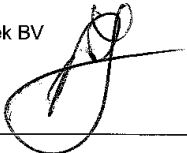


BIJLAGE 5

VEILIGHEIDPROCEDURES EN WERKPLAN VOORBEELD SLIBGISTING STEENWIJK

VEILIGHEIDSWERKPLAN

Aanpak Leegzetten gistingstank Waterschap Reest en Wieden RWZI Steenwijk

Project : Steenwijk	
Opgesteld door: Naam: B. Sloos Functie: Commercieel Technisch verkoper Firma: Landustrie Sneek BV Datum: 29-06-2010 Paraaf: 	Technisch beoordeeld door: Naam: O. Jansen Functie: Projectleider/service coördinator Firma: Landustrie Sneek BV Datum: 29-06-2010 Paraaf: 
Beoordeeld door: Naam: P. Jorna Functie: KAM Firma: Landustrie Sneek BV Datum: 29-06-2010 Paraaf: 	Gezien door opdrachtgever:

STARTDOCUMENT

Aanpak Slib Gistingstank

1

versie 2

Landustrie

Onderwerp / Project	: Leegzetten van twee slibgisting tanks en gasvrij maken van de gashouder
Werkopname door	: Bjorn Sloos
Werkadres	: Verlaatseweg 160, Steenwijk
Projectleider	: Otto Jansen
Verkoop adviseur	: Bjorn Sloos
Voorman	: Sytse Ringersma
KAM Adviseur	: Pieter Jorna
Offertenummer	: --
Aanname	: Nacalculatie
Project nummer	: 5108007
Gewenste uitvoering	: week 27 2010
Gewenst gereed	: week 30 2010

Projectomschrijving

Gasvrij en leegzetten van twee slib gistingstanks en gasvrij maken van de gashouder;

- Landustrie maakt de slibgistingtank gasvrij m.b.v. het vullen van water
- Landustrie pompt de slib gistingstank zoveel mogelijk leeg, tot onder mangat niveau.
- Landustrie ventileert geforceerd de aanwezige dampen (H₂S/CH₄) uit de tank.
- Landustrie maakt de gashouder gasvrij m.b.v. spoelschema
- Landustrie maakt de gasleidingen gasvrij m.b.v. inert gas
- Landustrie demobiliseert het benodigde equipment.

Resultaat

- De slib gistingstank, gashouder en gasleidingen gasvrij opleveren zodat deze zonder aanwezige gassen gedemonteerd kan worden door derden.

Benodigd Equipment

- Inert gas
- zuigwagens
- veiligheidsunit
- gaskar
- perslucht
- Personen/materiaal bus.
- Ex/ox/tox combi meter.
- H₂S meters / vluchtmaskers per persoon.
- Diverse PBM'S (kleding/handschoenen/reddingslijnen/harnas)
- Verlichting
- brandblusser

Benodigd personeel

- 1* projectleider
- 1* service monteur (voorman)
- 1* service monteur

Landustrie

1. Doel

Het doel van dit werkplan is het zodanig beschrijven van de technische en organisatorische maatregelen dat de werkactiviteiten op locatie RWZI op een veilige manier kan geschieden.

2. Projectorganisatie

De organisatie voor dit project bestaat uit:

- Projectuitvoerder : O. Jansen
- Voorman Landustrie : S. ringersma

De werkzaamheden zullen plaatsvinden op locatie RWZI Steenwijk van Waterschap Reest en Wieden

Projecttoezicht

Gedurende de werkzaamheden op locatie zal het toezicht en begeleiding m.b.t. veiligheid onder verantwoordelijkheid van Waterschap Reest en Wieden worden uitgevoerd.

3. Telefoonlijst

Functie	Naam	Telefoon	Mobiel
Toezichthouder	Klaas Limburg		06-29560954
Veiligheidskundige	Kees van de velde		06-29560953
Procesvoering	Jan van Egten		06-21546275
Landustrie			
Projectleider	O. Jansen		06-57310014
Voorman	S. Ringersma		06-51257570
Algemene Informatie			
Calamiteitennummer	112		
Coördinator BHV	Jan van Egten		06-21546275
Plv. Coördinator BHV	S. Ringersma		06-51257570

Landustrie

4. Stappenplan werkzaamheden slibgistingtank

De volgende werkzaamheden zullen in dit project gefaseerd worden uitgevoerd.

Uit te voeren werk- Zaamheden/discipline	Onderverdeling werk	Verantwoordelijke
Veiligstellen tank	<ul style="list-style-type: none"> • Elektrische werkschakelaars op uit schakelen en zekeren • Werkschakelaar pomp op uit schakelen en zekeren • Manuele afsluiters toevoer sluiten en borgen • Gasvrij maken door vullen van water tot onder mangat • Mangaten openen en geforceerd ventileren 	Landustrie
Mobilisatie equipement	<ul style="list-style-type: none"> • Werkgebied afzetten • Inert gas plaatsen • Slangen inert gas aanbrengen • Ventilatoren e.d. plaatsen • Opstellen van bronpomp of effluentwater • Opstellen van zuig auto • Opstellen van veiligheidsunit. 	Landustrie Landustrie Landustrie Landustrie WS Reest en W WS Reest en W Landustrie
Nivelleren en afpompen	<ul style="list-style-type: none"> • Slib van slibgisting overbrengen naar na indikker door het openen van de afsluiters. Het niveau zal nivelleren in beide tanks op gelijke hoogte • Afsluiter dichtzetten tussen beide tanks • Overige slib in de na indikker wordt per as vervoerd naar de buffer tank 	Landustrie
Verwijderen zand e.d. uit de tank	<ul style="list-style-type: none"> • Het vaste gedeelte welke niet door de zuigauto uit de tank verwijderd kan worden blijft hierin zitten en wordt door derden verwijderd 	n.v.t.

Landustrie

Reinigen tank	<ul style="list-style-type: none"> N.v.t. 	n.v.t.
Afvoer slib naar ontvangstinstantie	<ul style="list-style-type: none"> Het vrijgekomen slib aanbieden aan erkend bedrijf 	WS Reest en W
Afsluitende werkzaamheden	<ul style="list-style-type: none"> Waterschap toezichthouder en de voorman van Landustrie controleren gezamenlijk of de tank is opgeleverd conform afspraak. Daarna demobilisatie en werkplek opruimen 	WS Reest en W Landustrie

4.1 Stappenplan werkzaamheden gashouder

De gashouder wordt gasvrij gemaakt door een vooraf opgesteld spoelschema. Door toepassing van dit spoelschema worden de risico's tot een minimum beperkt en zal er geen explosie gevaar optreden in de tank tijdens het gasvrij maken van de gashouder.

Het membraan van de gashouder wordt uitgesneden en verwijderd uit de gashouder. Het membraan zal op een pallet worden aangeboden aan het waterschap Reest en Wieden.

4.2 Stappenplan werkzaamheden biogasleidingen

Alle biogasleidingen worden gasvrij gemaakt. Dit zal geschieden door toepassing van inert gas (stikstof). Hierna worden de leidingen tevens geforceerd gespoeld met omgevingslucht

5. Planning

- Doorloop tijd werk wordt geschat op 15 werkdagen (inclusief mobilisatie/demobilisatie).
- Een eenduidige planning kan niet worden afgegeven doordat de aard van de inhoud onbekend is. Dit is afhankelijk van samenstelling en hoeveelheid van het slib. (verpompbaarheid).
- Landustrie zal de voortgang rapporteren en hierop wordt de planning eventueel aangepast.

6. Algemene VGWM aandachtspunten

- Alle Waterschap en Landustrie werkvoorschriften blijven onverkort van kracht volgens de laatst bekende versies.
- Landustrie is primair verantwoordelijk voor de veiligheid van eigen werknemers en andere direct betrokkenen op de werklocatie. De verantwoording hiervoor berust bij de voorman van Landustrie. Het algehele toezicht op locatie berust bij Waterschap.
- De werkzaamheden worden zodanig georganiseerd, dat zo weinig mogelijk mensen en materiaal in het werkgebied aanwezig zijn.
- Landustrie draagt zorg dat alle noodzakelijke persoonlijke beschermingsmiddelen op de locatie aanwezig zijn en ziet toe op het juist gebruik hiervan.
- De toegang tot het werkterrein is tijdens het reinigen voor derden verboden.
- Voor aanvang van de werkzaamheden zal een "toolbox meeting" worden gehouden.
- Alle incidenten zullen worden gemeld op de daarvoor bestemde formulieren en volgens de gangbare procedures van Waterschap en Landustrie.
- Bij calamiteiten direct werkzaamheden stoppen en melden aan opdrachtgever waarna gepaste maatregelen getroffen kunnen worden.

7. Risico's

De slib gistingstank kan bij openen en betreding een gevaarlijke atmosfeer geven, die aanleiding geeft tot:

- Brand of explosie door aanwezigheid biogas
- Verstikking of bedwelming door aanwezigheid van H₂S en CH₄ gas.
- Intoxicatie door aanwezigheid biologische agentia (Endotoxine en/of Parasieten)

Daarnaast is door de constructie (**toegang tank**) de mogelijkheid voor valgevaar. Alle maatregelen om de risico's te beheersen worden in hoofdstuk 4 uitgewerkt.

8. Communicatie en overleg

Landustrie

In het overleg over operationele zaken tussen Landustrie en opdrachtgever verloopt via de in dit werkplan genoemde uitvoeringsverantwoordelijke van Landustrie en de uitvoeringsverantwoordelijk van Waterschap Reest en Wieden.

9. Werkafspraken

Op 07-07-2010 wordt er een werkbespreking gehouden met de heren Klaas Limburg, Kees van der Velde en Jan van Echten van het Waterschap en de heren Bjorn Sloos en Otto Jansen van Landustrie. Hierbij worden de werkaanpak alsmede te treffen veiligheidsvoorzieningen besproken. Onderstaand te bespreken werkafspraken.

Landustrie

Afsprakenlijst;

- Waterschap verzorgt besloten ruimte vergunning
- Landustrie zal eigen veiligheidsslots plaatsen op werkschakelaar en of afsluiters
- Werkgebied zal ruim worden afgezet, toegang voor derden binnen het afgesloten gebied is niet toegestaan
- Medewerkers Landustrie krijgen een aanvullende Toolbox meeting en Arbo en Milieuregels van de locatie RWZI Steenwijk
- Bij onverhoopte calamiteit zal het BHV plan locatie in werk worden gezet
- De eerstelijns redding zal door locatie RWZI BHV worden uitgevoerd
- In dien aanwezig krijgen de medewerkers van Landustrie instructiekaarten BHV overhandigd en wordt op de werkplek bewaard
- Een reserve sleutel van de toegangspoort zal aan de Landustrie voorman worden afgegeven om ook na 17.00 uur toegang te kunnen verlenen aan derden
- Landustrie medewerkers mogen gebruik maken van de doucheruimte en schaftruimte op locatie
- Dagelijks zal de voorman Landustrie de toezichthouder van Waterschap informeren over de gang van zaken

10. Preventieve maatregelen

Instructie personeel

Installatiedeskundige zal met betrokken partijen (Landustrie, Waterschap), vóór het begin van de werkzaamheden een kick-off meeting houden en legt dit vast. Alleen de daarvoor geautoriseerde personen hebben toegang tot de werkplek.

Controle hulpmiddelen en gereedschap

De benodigde gereedschappen, hulpmiddelen en meetapparatuur dient voor aanvang van de werkzaamheden gecontroleerd te worden op de juiste werking. De veiligheidskundige of uitvoerder geeft te gebruiken hulp, -meetmiddelen en equipment na inspectie en meting vrij voor verder gebruik.

Instellen veiligheidszone

Rondom de werkplek wordt een veiligheidszone voldoende afgezet en waarschuwborden geplaatst. Binnen de veiligheidszone moet worden gehandeld conform voorgeschreven werkplan/procedure. Het is verboden toegang voor niet-geautoriseerd personeel. Andere werkzaamheden worden tijdelijk niet uitgevoerd in de nabijheid van de tank.

Persoonlijke beschermingsmiddelen (PBM)

De te gebruiken PBM's in het installatieonderdeel zijn afhankelijk van de gemeten waarden ter plaatse. In ieder geval zal voor het betreden waterdichte kleding, onafhankelijke adembescherming perslucht, rubberlaarzen en PVC handschoenen verplicht gesteld worden.

Ventileren

De slib gistingstank wordt continu geforceerd geventileerd.

Bij openen van de tank worden gassen uit de tank naar buiten verplaatst ver weg van de slib gistingstank, Gedurende de gehele werkzaamheden zal verse toetreding zijn van lucht en verontreinigde gassen en dampen zullen worden af gepompt. De meetbevoegde bepaalt aan de hand van metingen of de ventilatie afdoende is.

Veilig afdalen

De medewerkers zullen aangeliend aan de reddingslijn op een ladder afdalen. De ladder dient geborgd te worden d.m.v. bijvoorbeeld een touw.

Tevens zal de medewerker afdalen met gebruik van onafhankelijke adembescherming. Bij het betreden zal een mangatwacht continu aanwezig zijn.

Metingen

De metingen worden continu uitgevoerd. Dit door middel van opstellen van combi meter. De gemeten waarden worden vastgelegd op een meetlijst.

Daarnaast dragen alle medewerkers van Landustrie een persoonlijke H2S detector bij zich.

11. Werkwijze

Landustrie

Toestemming

- De werkzaamheden met betrekking op het betreden van slib gistingstank vinden op locatie RWZI plaats.
- Voor aanvang werkzaamheden kunnen alleen met toestemming van de opdrachtgever plaatsvinden en na uitgifte van een werkvergunning van Waterschap, locatie RWZI.

Vorbereiding/ Veiligstellen

- De slib gistingstank zal volledig geïsoleerd (mangaten zijn gesloten) opgeleverd worden aan Landustrie.
- Landustrie zal eigen veiligheidsloten plaatsen op werkschakelaar en afsluiters van de tankinstallatie.

Openen toegangsluik

- Het openen van de mangatdeksel/toegangsluik zal onder adembescherming en het gebruik van beschermende kleding worden gedaan. Dit in verband met uitstoot dampen.
- Bij het openen van de mangatdeksel/toegangsluik staat de superzuiger stand-by om eventuele uitstroom van slib direct op te zuigen.

Inspectie van buitenaf

- Nadat de mangatdeksel/toegangsluik is geopend wordt er door de toezichthouder van Waterschap en de voorman van Landustrie een eerste inspectie gedaan om een indruk te krijgen van de slib inhoud in de tank.
- Tevens kan er bekeken worden of er onregelmatigheden (beschadigingen/ongewenst materiaal/zware reststoffen aan de wand) in de tank zijn.

Leegzuigen van de tank

- Met behulp van zuigerwagen zal vanaf het mangat gestart worden met het leegzuigen van de slib gistingstank.
- Na deze actie zal er besloten worden om een mangat te maken ter hoogte van het maaiveld. Dit is derhalve niet opgenomen in dit plan en zal eventueel door derden worden uitgevoerd.

Landustrie

12. Beëindiging werkzaamheden

- Alle gebruikte materialen controleren en zo nodig ontdoen van verontreiniging. Eventuele verontreiniging wordt opgevangen en afgevoerd.
- In het afgezette werkgebied kan de (wegwerp) kleding uitgetrokken worden en in de daarvoor bestemde opbergplaats (vat) gedeponeerd worden indien noodzakelijk wordt geacht.

13. Corrigerende maatregelen

- Bij afwijkingen in werkwijze of aan materiaal dient altijd de uitvoerder geraadpleegd te worden.
- De uitvoerder zal in overleg met de toezichthouder op locatie en de aanwezige voorman passende maatregelen nemen.

14. Afronding

Afvoer restproduct

- Het vrijgekomen fijne slib zal op aangeven van Waterschap op locatie RWZI worden gelost (doormiddel van vaste leiding/slang).
- Het vrijgekomen grove slib zal in vloeistofdichte containers worden opengeslagen en afgevoerd naar een erkend verwerker.

Registratie en Rapportage

- Bij de werkzaamheden worden de meetgegevens vastgelegd op de meetlijst van de werkvergunning.

Bijlage

Alarmkaart: Project RWZI Steenwijk
ALARMKAART/INTERVENTIEKAART



Project ● RWZI Steenwijk	
ALARM 112 politie/brandweer/ambulance	Gedragen van de betreder bij Alarm of evacuatie
Adres project ● Verlaatseweg 160 Steenwijk	<ul style="list-style-type: none"> ➔ Bij alarm van de gasdetector verlaat de betreder altijd de besloten ruimte ➔ De evacuatie van de betreder moet door de veiligheidswacht via de life-line worden ondersteund ➔ Indien de betreder niet eigenhandig of via het evacuatiesysteem de ruimte kan verlaten, schakel hulpdiensten in. 112 bellen. Deze diensten organiseren de redding op aanwijzing van de toezichthouder van het waterschap.
BHV'ers	
Op het project ● Sytse Ringersma	
EHBO	Na EHBO en/of overbrengen ziekenhuis
Op het project ● Sytse Ringersma	<ul style="list-style-type: none"> ➔ Leidinggevende meldt ongeval aan: <ul style="list-style-type: none"> - veiligheidskundige ➔ Veiligheidskundige meldt ongeval aan: <ul style="list-style-type: none"> - arbeidsinspectie * - directe organisatieonderdeel - afdeling P & O (* bij ziekenhuisopname of blijvend letsel) ➔ Leidinggevende onderzoekt in overleg met veiligheidskundige de oorzaak van het ongeval (laat foto's maken van de ongevalsituatie), vult het ongevalrapport in en verstrekt dit binnen 24 uur aan de KVM functionaris
Overige telefoonnummers	
<p>Ziekenhuis : Noorderboog Hoogeveenseweg 38 7943 KA Meppel</p> <p>Algemeen alarmnummer: 112</p> <p>Huisartsenpost: Steenwijk Stationsstraat 36-C, 8331 GK Steenwijk 0521 511411</p> <p>Plaatselijke brandweer:</p> <p>Algemeen alarmnummer: 112</p> <p>Politie:</p> <p>Geen spoed:0900-8844.. (lokaal tarief)</p> <p>Algemeen alarmnummer: 112</p>	

Landustrie

Gasvrij en werkveilig stellen van de slibgistingtank RWZI Steenwijk

Vraagstelling:

Landustrie is gevraagd de twee slibgisting tanken gasvrij te maken, het slib verwijderen tot aan de vaste laag, de gashouder gasvrij te maken en het gasvrij maken van alle gasleidingen van de rwzi Steenwijk. Tijdens de werkzaamheden dienen risico's uitgesloten of tot een minimum te worden beperkt.

Inleiding:

Landustrie heeft een ruime ervaring in het gasvrij maken van installaties, en heeft voor dit specifieke project een duidelijke en veilige werkwijze opgesteld zoals wij de werkzaamheden voor het waterschap willen uitvoeren. Hierbij opgemerkt dat Landustrie over de juiste materialen en kennis beschikt om de slibgistingtank, de gashouder en het bijbehorende leidingwerk op een veilige manier gecontroleerd gasvrij te maken. Hierbij zal gebruik worden gemaakt van water en spoellucht. Op deze wijze zal tijdens de werkzaamheden aan de slibgistingtank de installatie niet door een explosie grens heengaan. Bij de werkzaamheden aan de gashouder zal de installatie zeer kort en gecontroleerd door de explosiegrenzen gaan. Hiertoe wordt gebruik gemaakt van omgevingslucht. Het bijbehorende leidingwerk dient ook gasvrij te worden gemaakt. Dit leidingwerk wordt tevens tot de gevarezone gerekend en geïnertiseerd met stikstof.

Landustrie is VCA** gecertificeerd, en zal uitsluitend volgens deze richtlijnen werken, welke wij onszelf verplichten in het opgestelde V&G plan.

In dit V&G plan komen achtereenvolgens aan de orde:

- Projectgegevens
- Bij de totstandkoming betrokken partijen
- Risico-inventarisatie en –evaluatie
- V&G dossier
- Organisatie op de bouwplaats

Projectomschrijving

De werkzaamheden t.b.v. de inspectie van de slibgistingtank en de gashouder op de RWZI Steenwijk betreffen onder andere:

- Afzetten van het werkterrein
- Gasvrij maken van de gashouder, verwijderen membraan
- Elektrische werk schakels uitschakelen en zekeren, ook de pompen
- Afsluiters dichtzetten en m.b.v. sloten borgen en balg plaatsen in overstort slibgistingtank
- Gasvrij maken en veiligstellen van de slibgistingtank, de gashouder en het leidingwerk
- Leeghalen van de slibgistingtank
- Werkzaamheden herhalen bij de tweede slibgistingtank
- Afzetting verwijderen van het werkterrein

Landustrie

Apparatuur

Het gasveilig stellen van de slibgisting tank wordt door ervaren personeel uitgevoerd. Hiervoor is het volgende materiaal benodigd:

- Explosievrij gereedschap
- Reduceerventielen
- Stikstofslangen
- Ex communicatie
- Perslucht
- Gasmeters
- Persoonlijke adembescherming
- Blindflenzen en steekflenzen
- Ex lampen
- Omvormers laagspanning
- Bouwlampen, geschikt voor besloten ruimten+
- Valbescherming

Organisatie gasvrij maken installatie

Omschrijving taak:	naam:	telefoonnummer:
Projectleider:	Otto Jansen	06-57310014
Uitbedrijf name slibgistingtank:	Sytse Ringersma	06-51257570
Reserve onderricht persoon:	Johannes Odolphi	06-10978953

Bij calamiteiten zorgt men eerst voor de eigen veiligheid van het personeel. Hierna wordt de voorman telefonisch geïnformeerd, waarna direct de hulpdiensten worden ingeschakeld. Dit telefoonnummer is 112.

Hierbij meldt je:

- Wie je bent
- Wat er aan de hand is
- Waar het ongeluk heeft plaatsgevonden, aard van het ongeluk
- Wanneer het gebeurt is

Adres zuivering: Verlaatseweg 160
Steenwijk

Telefoonnummer vertellen

Laat een persoon de hulpdiensten opwachten bij de openbare weg

Planning

De planning wordt in onderling overleg samengesteld en eventueel dagelijks bijgesteld.

Algemeen

Elke ochtend word een kort werkoverleg gehouden. Hierin worden de werkzaamheden besproken welke op de betreffende dag gepland staan, waarna de vergunning wordt uitgeschreven door het Waterschap Reest en Wieden. Landustrie draagt zorg voor een correcte naleving hiervan en zal op de veiligheid toezien. Het waterschap is en blijft eindverantwoordelijk, maar zal uitgaan van de expertise van Landustrie. Mede hierom is er dagelijks werkoverleg. Bij aanvang van de werkzaamheden zal op de eerste dag een "kick off meeting" georganiseerd worden.

Landustrie

Werk veilig uit bedrijf nemen van de slibgistinginstallatie

- De voeding van de slibgistinginstallatie wordt 2 weken voor aanvang van de werkzaamheden stopgezet, evenals de temperatuur voorziening en de menging. Door deze werkwijze wordt de productie van gas tot een minimum beperkt en kunnen de gasmotoren het overtollige gas verwerken
- Het slib is tot rust gekomen en heeft weinig tot geen gas productie
- Het slib staat op maximaal niveau, net onder de overstortrand
- Afschakelen elektrische verbruikers
- Afzetten van het werkterrein. Hierna is alleen bevoegd personeel aanwezig binnen het werkterrein. Personeel mag alleen na kennisgeving en goedkeuring van de leidinggevende het werkterrein betreden
- Het water wordt aangesloten op het aansluitpunt, welke boven op het dak in de overstort put aanwezig is
- De slibgistingtank wordt gevuld met water en tevens wordt het mangat met explosievrij gereedschap en perslucht gedemonteerd.
- Een continu meting vindt plaats van het gaswaarden welke uit de slibgisting tank zal stromen.
- Zodra het water net onder het dak van de slibgisting tank komt, wordt de toevoer van water gestopt.
- De 2 mangaten worden op het dak van de slibgisting geopend met perslucht
- Een slang wordt aan een ventilator gekoppeld en wordt in de slibgisting tank geplaatst, net boven het niveau van het slib
- De ventilator word aangezet. Door heel veel lucht in de slibgistingtank te blazen zal het CH₄ gehalte niet verhogen en de onderste explosiegrens wordt niet bereikt. Het is berekend en heeft zich in de praktijk bewezen dat de gasconcentratie niet boven de 10% LEL komt. Alleen op deze wijze wordt het gas verdreven uit de slibgistingtank zonder door een explosiegrens heen te gaan.
- Nu kan het slibniveau zakken door het openen van de afsluiter. Het niveau zal nivelleren met de na indikker. Het verdere slib in de slibgistingtank zal worden afgepompt m.b.v. een pompauto.
- De slang van de ventilator zal steeds net boven de sliblijn hangen.
- Nadat niet verder afgepompt kan worden, wordt nog steeds continu geforceerd geventileerd. Hiertoe kunnen elektrische ventilatoren worden toegepast.

Wij gaan ervan uit dat wij u hierbij passend hebben geïnformeerd, en zien met belangstelling uw nadere berichten tegemoet.

Met vriendelijke groet,

Björn Sloos

Landustrie

Datum
inertiseren slijbgingstank Steenwijk
 boven op het dak

Tijd	
Zuurstof O2	
LEL	
H2S	

Tijd	
Zuurstof O2	
LEL	
H2S	

Tijd	
Zuurstof O2	
LEL	
H2S	

Tijd	
Zuurstof O2	
LEL	
H2S	

Tijd	
Zuurstof O2	
LEL	
H2S	

Tijd	
Zuurstof O2	
LEL	
H2S	

Tijd	
Zuurstof O2	
LEL	
H2S	

Tijd	
Zuurstof O2	
LEL	
H2S	

Tijd	
Zuurstof O2	
LEL	
H2S	

Tijd	
Zuurstof O2	
LEL	
H2S	

Tijd	
Zuurstof O2	
LEL	
H2S	

Tijd	
Zuurstof O2	
LEL	
H2S	

Tijd	
Zuurstof O2	
LEL	
H2S	

Tijd	
Zuurstof O2	
LEL	
H2S	

Tijd	
Zuurstof O2	
LEL	
H2S	

Tijd	
Zuurstof O2	
LEL	
H2S	

Tijd	
Zuurstof O2	
LEL	
H2S	

Tijd	
Zuurstof O2	
LEL	
H2S	