



Berend Reitsma, Tauw
 Anne Bosma, Tauw
 Peter Piekema, Waternet
 Joost van den Bulk, Tauw

Energiebesparing op rwzi Horstermeer

Voor de rwzi Horstermeer is pulsbeluchting een aantrekkelijke en simpele manier om op energieverbruik en kosten te besparen. CFD is een uitstekend hulpmiddel bij het 'in de tank kijken', het verifiëren van de leverancierskeuzen en het bepalen van de optimale menging qua dode zones en kortsluitstromen en optimalisatie van het energieverbruik. Door pulsbeluchting, aan/uitschakelen van mengers en toerenreductie kan op de rwzi Horstermeer een potentiële besparing doorgevoerd worden van circa 50 kW oftewel ruim tien procent van het totale energieverbruik (inkoop + warmtekrachtkoppeling).

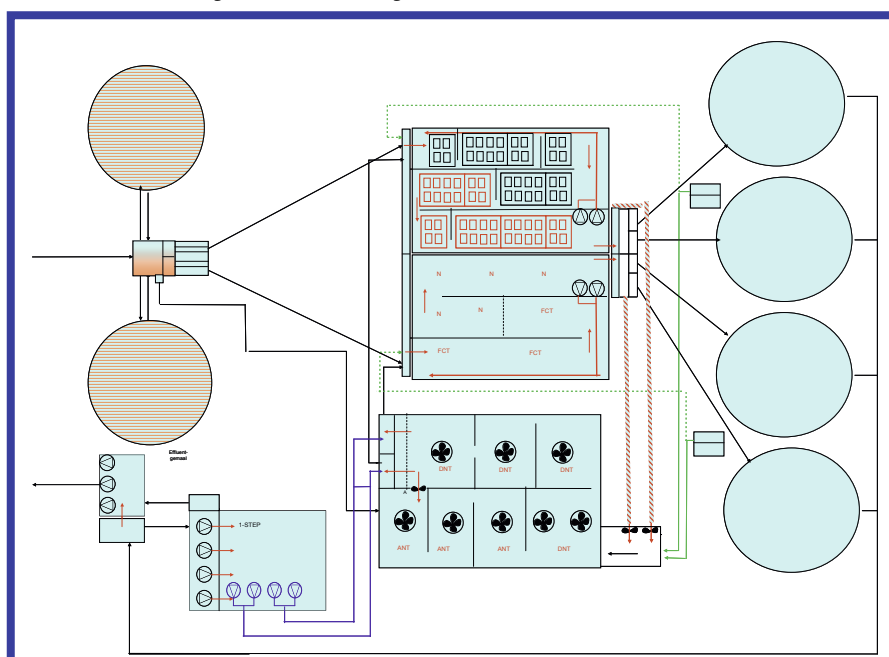
De rwzi Horstermeer in het beheergebied van het Hoogheemraadschap Amstel, Gooi en Vecht en Waternet loost op de Vecht. In het kader van het restauratieplan Vecht én de Kaderrichtlijn Water worden de effluenteisen voor stikstof en fosfaat vanaf 2015 verscherpt tot 5 mg/l N_{totaal} jaargemiddeld en 3,8 mg/l in de zomer. De effluenteis voor P_{totaal} wordt aangescherpt tot 0,5 mg/l voortschrijdend over tien waarnemingen. Daartoe zal de huidige conventionele rwzi worden aangepast.

Uit de systeemkeuze bleek het bijbouwen van actiefslib de duurzaamste variant met de minste risico's. De DWA-stroom zal worden nabehandeld met nageschakelde effluentfiltratie volgens het 1-STEPconcept¹⁾. In afbeelding 1 is deze uitbreiding schematisch weergegeven. De bestaande propstroom actiefslibtanks in twee straten hebben in de huidige situatie eenderde onbelucht voor denitrificatie van retourslib (geen recirculatie) en tweederde belucht. Deze tanks worden omgebouwd tot 50 procent facultatief (FCT) en 50 procent permanent belucht (NIT) met extra recirculaties. Daarnaast wordt uitgebreid met een nieuwe voorgeschakelde tank (ANT genoemd) waarin zich anaerobe en voordenitrificatiecompartmenten bevinden. Bij het ontwerp zijn een goede menging en energiebesparing als belangrijke randvoorwaarden meegenomen. In de facultatieve tanks liggen overal beluchtingselementen ten behoeve van beluchting in de winter en bij RWA-pieken (huidige persleidingstelsel geeft grote stikstofpieken). Tijdens denitrificatie worden de elementen (een groot deel van het jaar dus) niet gebruikt. Geïnspireerd

door de ervaringen bij de rwzi Kaiserslautern is besloten voor de niet-beluchte perioden geen mengers te installeren, maar pulsbeluchting toe te passen. Daarnaast is met Computational Fluid Dynamics (CFD)^{2),3),4),5)} uitvoerig gekeken naar de menging van de bij te bouwen ANT. Hiermee is het type menger geselecteerd om de beste menging te krijgen en kortsluitstromen te voorkomen. Daarnaast zijn met CFD de mogelijkheden van energiebesparing en de optimale draairichting van de mengers onderzocht.

In juni 2009 is met een aantal waterschappen een bezoek gebracht aan de rwzi Kaiserslautern in Duitsland. Daar is het beluchtingsstelsel gebaseerd op intermitterende beluchting. In de propstroomtanks vindt de menging tijdens de anoxische (niet-beluchte) periode plaats via pulsbeluchting (zie foto). De pulsbeluchting wordt kort ingeschakeld in de niet-beluchte periode met behulp van snelle open-dicht kleppen (10 tot 20 seconden per 15 minuten). De mengers zijn er uit gehaald. Dat levert een besparing in aanschaf, onderhoud en energie.

Afb. 1: Schematische weergave van de uitbreiding van de rwzi Horstermeer.





Er is een klein laagje supernatant zichtbaar tussen de pulsmomenten in (rwzi Kaiserslautern).

De mogelijkheid van pulsbeluchting is voor de rwzi Horstermeer interessant in de propstroom FCT. Daarmee kunnen mengers en energie uitgespaard worden. De bodembezetting van de beluchtingselementen is ongeveer 32 procent, dus groter dan het voor pulsbeluchting benodigde minimum van 20 procent. Er is ook berekend dat tijdens deze lucht-pulsen het BZV-verbruik leidt tot een maximale $\text{NO}_3\text{-N}$ -stijging van circa 0,5 mg/l. De ervaringen in Duitsland wijzen er op dat de drukschommelingen in de header klein zijn en geen invloed op het proces hebben. Om de schommelingen nog verder te beperken, worden de elementen in de FCT per straat in zes secties verdeeld, die na elkaar pulsen.

Indicatieve berekeningen komen uit op een energieverbruik door de pulsbeluchting van circa 0,13 W per kubieke meter. Dat is

zeer energiezuinig. De elementen worden zodanig uitgelegd dat de hoogte 'meeloopt' met het verschil in waterniveau tussen de benen (enkele cm) om voorkeurstromen van de lucht te voorkomen. Tussen de elementen in de FCT en NIT wordt bewust ook nog eens zes centimeter hoogteverschil aangebracht, zodat bij de kortstondige 'puls' door het drukverschil de elementen snel openen en er voldoende menglucht doorheen gaat. De praktijk zal moeten uitwijzen of deze vorm van mengen voldoende functioneert. Om die reden is de mogelijkheid opgehouden om mengers in de FCT (terug) te plaatsen.

Menging ANT

Zoals in afbeelding 1 is te zien, is de ANT opgebouwd uit drie anaerobe compartimenten en vier denitrificatiecompartimenten. Hiermee wordt voldaan aan

de propstroomcondities die voor deze processen worden voorgeschreven.

Met betrekking tot de menging zijn in eerste instantie met CFD twee mengsystemen doorgerekend: langzaam draaiende horizontale asmengers én hyperboloïde mengers. Vervolgens is gekeken naar de potentie energie te besparen zonder concessies te doen aan het voorkomen van kortsluitstromen en onvoldoende menging. In afbeelding 2 is de ANT (met als voorbeeld hyperboloïde mengers) weergegeven.

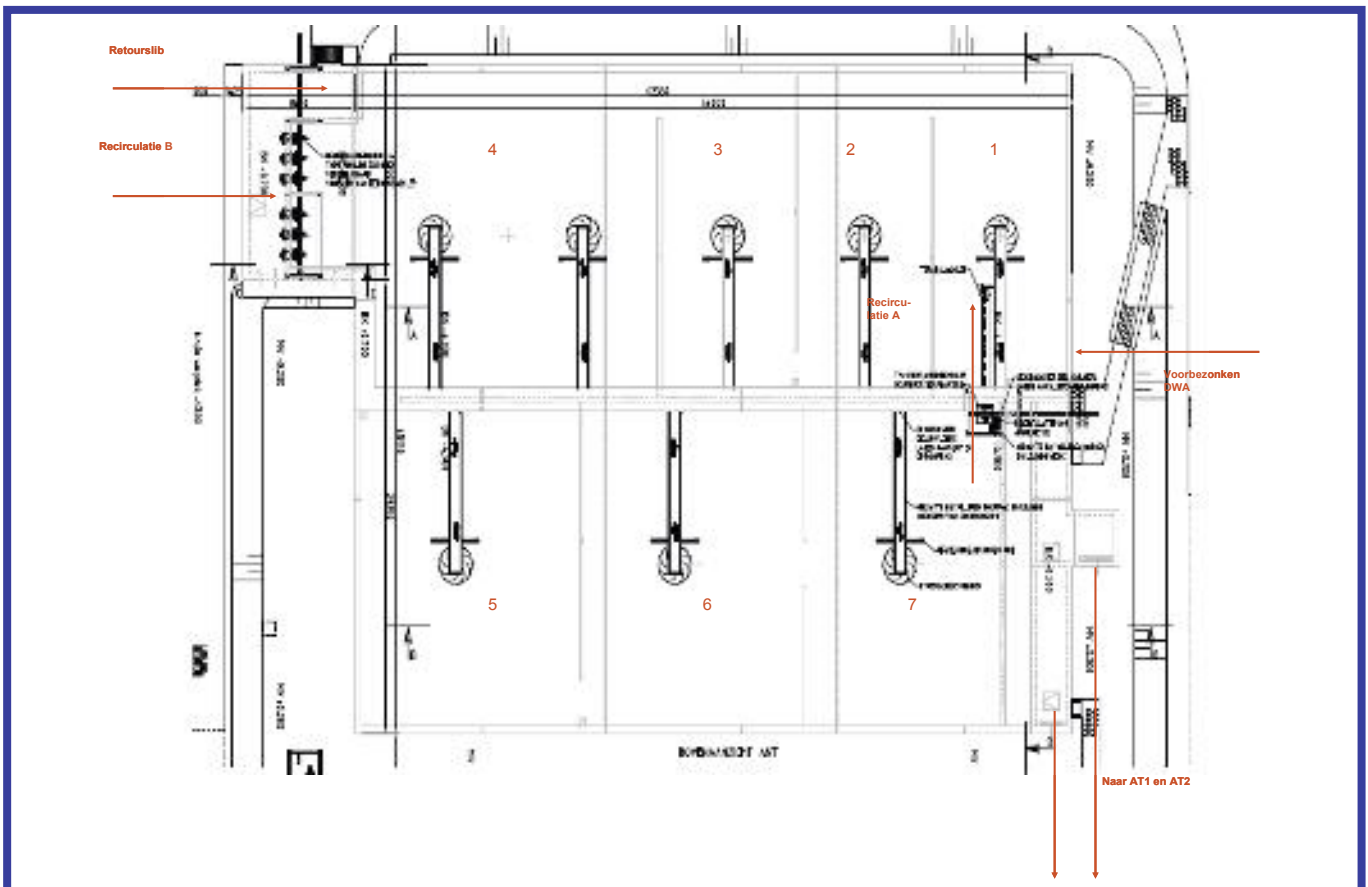
De totale inhoud van de anaerobe tank bedraagt 3.100 kubieke meter en van de denitrificatietank 7.900 kubieke meter. De diepte is vijf meter. In tabel 1 staan de ontwerpdebieten weergegeven.

Tabel 1. Ontwerpdebieten (CFD-procesinstellingen).

procesinstelling	grootte
voorbezonden afvalwater	1.550 m ³ /h (DWA)
recirculatie B	4 x 1.550 m ³ /h
retourslib	4 x 940 m ³ /h
recirculatie A	1 x 1.550 m ³ /h

Alleen het DWA-debiet wordt naar de ANT geleid. Het RWA- minus DWA-debiet wordt rechtstreeks naar de twee bestaande beluchte tanks geleid (via aanpassing van het bestaande verdeelwerk). Hierdoor kan het slibgehalte in de ANT relatief hoog worden gehouden en daarmee op het

Afb. 2: Weergave ANT met hyperboloïde mengers.



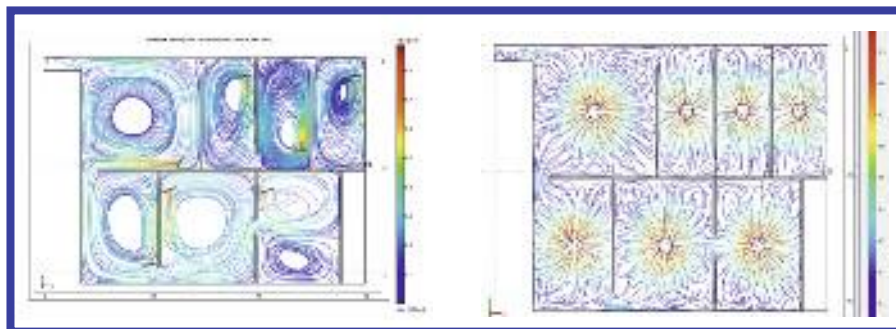
volume worden bespaard. Dat scheelt naast bouwkosten ook mengenergie.

De verschillende CFD-resultaten met stromingslijnen voor de twee mengsystemen zijn weergegeven in afbeelding 3. De gemiddelde snelheden bij berekeningen van menging met de horizontale as mengers bedroegen 17 tot 23 centimeter per seconde (vermogen twee Watt per kubieke meter). Bij de hyperboloïde mengers was dit 34 tot 47 centimeter per seconde (vermogen drie Watt per kubieke meter).

Hoewel de horizontale mengers een lager energieverbruik hebben dan verticale mengers (volgens de leveranciers) geeft het CFD-beeld aan dat de menging minder goed is. Met CFD zijn vervolgens verblijftijdspredingsberekeningen gemaakt (zie tabel 2). Hieruit bleek dat bij de hyperboloïde mengers de tracerpieken later optreden en lager waren, wat wijst op een betere menging.

Vervolgens is ervoor gekozen de inzet van hyperboloïde mengers verder te optimaliseren.

Bij de hyperboloïde mengers is vervolgens gekeken hoeveel vermogen werkelijk nodig is om voldoende menging te bereiken. Daarbij is bekeken hoeveel procent van de volumina snelheden heeft beneden de 0,15 meter per seconde (zie afbeelding 4). Daarbij bleek noodzakelijk om in compartiment 4 twee kleinere mengers in plaats van één grote mengter te plaatsen.



Afb. 3: Stromingslijnen van horizontale (links) en verticale hyperboloïde mengers (rechts).

Bij het voorkómen van kortsluitstromen, lage snelheden en risico's voor dode zones speelt ook de draairichting een rol. De leverancier adviseert om deze zoveel mogelijk te kiezen in de richting van de stroming, omdat dat energetisch optimaal is. Uit de berekende snelheden blijkt echter bijna geen verschil (tabel 3), zodat toch gekozen is voor de tegenstroomse situatie, omdat daarmee een minder groot risico voor kortsluitstromen ontstaat. Voor compartiment 4 is de draairichting zo gekozen dat de retourstromen en de stromen uit de anaerobe tanks zo snel mogelijk met elkaar in contact komen.

Energiebesparing ANT

Het energieverbruik van de menging in de ANT kan in principe verder worden gereduceerd door het aan- en uitschakelen van de mengers en/of het toepassen van een lager toerental.

Aan- en uitschakeling

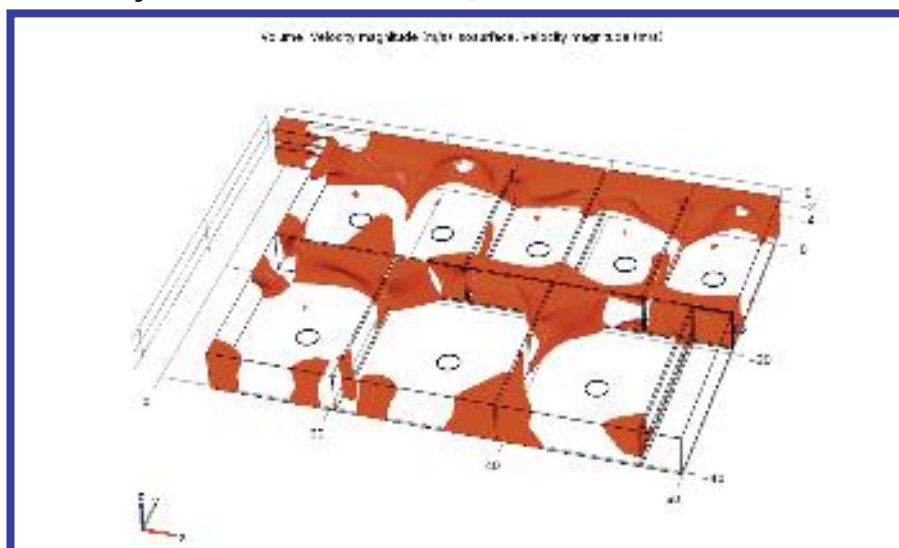
Om het aan- en uitschakelen van de mengers goed mogelijk te maken zonder daarbij de tandwielkasten te zwaar te belasten en te grote opstartvermogens te krijgen, worden alle mengers uitgerust met frequentieomvormers (FO's). Naast de functie van *softstarter* is het met de FO's ook mogelijk het toerental van de mengers te variëren. Afbeelding 5 geeft twee plaatjes weer met de stromingslijnen en de hoogte van de slibdeken na uitschakelen.

Uitgaande van de bezinksnelheden bij het toegepaste slibgehalte van 4,6 g/l en een SVI van 80-120 ml/g varieert de bezinksnelheid van 1,2 tot 1,8 m/h⁶). Gesteld wordt dat een helderwaterzone van 50 cm (tien procent van volume) acceptabel is, dan zouden de mengers 50/180*60 tot 50/120*60 = 17 tot 25 minuten uit kunnen. Naast bezinking van het slib kunnen ook kortsluitstromen optreden. In de denitrificatietanks (compartimenten 4-7) is dit significant. De afstand van sparing tot sparing is circa 19 meter. De snelheid op die plek bedraagt volgens de CFD-berekeningen circa 15 cm/s. Met een afstand van 19 meter is de tijdsduur circa 1.900/15 = 127 seconden oftewel twee minuten. Ook CFD geeft aan dat na uitschakeling van de mengers de stroomlijnen binnen een paar minuten veranderen van gemengd naar een vrijwel rechtlijnige stroming tussen ingang en uitgang van het compartiment (zie afbeelding 5). De kortsluiting dreigt daarmee zo snel op te treden dat de mengers slechts zeer korte tijden uit kan staan. Dat geeft voor de denitrificatie een slecht werkbaar situatie.

Tabel 2. Verblijftijdspredingsberekeningen met tracer via CFD.

compartiment	verschijningsstijd piek (sec.)		relatieve hoogte piek	
	horizontale as	hyperboloïde	horizontale as	hyperboloïde
1	155	410	0,15	0,065
2	140	320	0,25	0,12
3	152	325	0,18	0,12
4	140	185	0,23	0,056
5	350	260	0,5	0,33
6	90	166	0,92	0,35
7	65	200	1,8	0,58

Afb. 4: Percentage van het volume dat snelheden heeft < 0,15 m/s.



Voor de anaerobe compartimenten (1-3) varieert de snelheid tussen 1,7 en 8,6 cm/sec. De tijd voordat kortsluitstroming optreedt, varieert dan van 4,5 tot 23 minuten. Voor het aan- en uitzetten van de mengers lijkt dit wel werkbaar. Stel dat uitgegaan wordt van het gemiddelde van circa 15 minuten, dan is 15 minuten aan en 15 minuten uit een realistische optie. Voor het proces van P-afgifte kan dit ook gunstig uitwerken, omdat de verblijftijd van het slib langer wordt dan de hydraulische verblijftijd. Hierdoor neemt de hydrolyse toe. Omdat inkomend CZV snel wordt geadsorbeerd door de slibvlokken, is continue menging met de waterfase niet noodzakelijk. Voor de anaerobe tanks lijkt aan- en uitschakelen dus goed werkbaar. In de praktijk zal dit verder moeten worden geoptimaliseerd.

Reductie van het toerental

Energie kan ook bespaard worden door het

compartiment	draairichting voorkeur*	snelheid (m/s)	V<0,15 m/s (%)	V<0,05 m/s (%)	draairichting	snelheid m/s (%)	<0,15 m/s (%)	V<0,05 m/s (%)
1	CCW	0,49	21,4	1,3	CW	0,48	22,1	1,8
2	CW	0,51	19,0	1,2	CCW	0,51	22,9	1,1
3	CCW	0,51	20,5	1,1	CW	0,49	25,2	1,7
4	links CW, rechts CCW	0,50	13,8	0,8	links CCW, rechts CW	0,52	13,7	0,8
5	CW	0,60	9,3	1,2	CCW	0,66	4,1	0,4
6	CW	0,55	11,9	1,7	CCW	0,60	7,0	1,0
7	CCW	0,57	13,0	2,1	CW	0,56	13	2,0

* CW = clockwise, CCW = counter clockwise

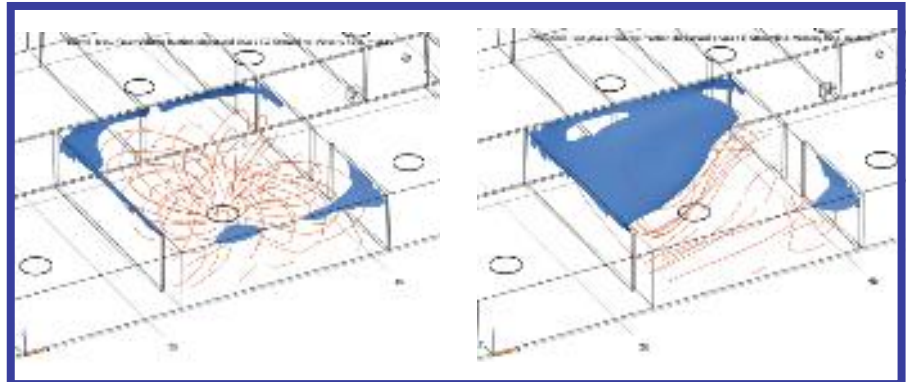
Tabel 3. Effect van draairichting op snelheden en menging.

toerental van de mengers te reduceren. Het voordeel daarvan is dat het slib in beweging blijft, zodat het niet vast kan koeken op de bodem. Tevens is het van belang om de retourstromen die in de ANT uitkomen, optimaal te benutten om de natuurlijke menging te stimuleren. CFD-modellering geeft meer inzicht in de mogelijkheden en risico's van beide mogelijkheden.

In tabel 4 is aan de hand van berekeningen met CFD weergegeven wat het effect is van een 20 procent reductie in toerental op de gemiddelde snelheid en het energieverbruik. De relatie tussen vermogen en toerental is tot de derde macht: $P1/P2 = (T1)^3/(T2)^3$. Indien het toerental 20 procent afneemt, neemt het ingebrachte vermogen met 49 procent af (zie tabel 4). Dat is een significante besparing. De hoeveelheid volume met lagere snelheid (< 0,15 m/s) neemt beperkt toe. In de praktijk moet blijken of dit effect op de biologische omzettingen heeft. Met name voor de anaerobe tanks is het de vraag of deze toerentalreductie tot gevolg heeft dat de uiteinden van de rechthoekige tanks als dode zone gaan fungeren. Het risico van kortsluitstromen speelt bij reductie van het toerental niet of nauwelijks. Voor de denitrificatietanks lijkt toerentalreductie de best werkzame oplossing.

Conclusies

Op drie manieren blijkt energiebesparing op de rwzi Horstermeer mogelijk. Toepassen van pulsbeluchting in de facultatieve tank levert een besparing op



Afb. 5: Effect van het uitzetten van de mengers. Links de beginsituatie ($t = 0 \text{ sec.}$), alleen beginnende slibbezinking in de hoeken. Rechts $t = 600 \text{ sec.}$ Vrijwel overal beginnende slibbezinking mogelijk wegens de lage stroomsnelheden.

van drie tot vijf Watt per kubieke meter. Bovendien wordt bespaard op de aanschaf van (nieuwe) mengers en onderhoud. De aan/uit bedrijfsvoering van de hyperboloïde mengers in de anaerobe compartimenten van de ANT kan een besparing opleveren van circa twee Watt per kubieke meter. Reductie van het toerental van de hyperboloïde mengers in de denitrificatiecompartimenten met 20 procent kan een besparing opleveren van ongeveer 1,5 Watt per kubieke meter.

LITERATUUR

- 1) STOWA (2009). 1-step-filter als effluentpolishingstechniek. Rapport 2009-34.
- 2) Bosma A. en B. Reitsma (2008). Met CFD energie besparen bij afvalwaterzuiveringen. Roerwerk BNL.

- 3) Bosma A. en B. Reitsma (2007). 3-modellen kunnen rwzi's forse energiebesparing opleveren. Waterforum Online.
- 4) Bosma A. en B. Reitsma (2007). Hydraulic design of activated sludge tanks with CFD. Comsol conference Grenoble.
- 5) Bosma A., G. Dalstra, M. Verhoeven en B. Reitsma (2007). Meten en modelleren van het stromingsgedrag in de actief-slibtanks van de rwzi Eindhoven met CFD. Afvalwaterwetenschap nr. 2.
- 6) STOWA (2002). Optimalisatie van ronde nabezinktanks. Rapport 2002-21.

Tabel 4. Snelheden, % minder gemengd en energieverbruik per kubieke meter bij 0 en 20% toerentalreductie.

compartiment	draairichting*	toerental 100%				toerental 80%			
		snelheid (m/s)	V < 0,15 m/s (%)	V < 0,05 m/s (%)	W/m ³	snelheid (m/s)	V < 0,15 m/s (%)	V < 0,05 m/s (%)	W/m ³
1	CCW	0,49	21,4	1,3	3,8	0,39	30,0	2,1	1,9
2	CW	0,51	19,0	1,2	3,8	0,41	27,7	2,2	1,9
3	CCW	0,51	20,5	1,1	3,8	0,41	29,2	1,9	1,9
4	links CW, rechts CCW	0,50	13,8	0,8	3,4	0,42	17,6	1,1	1,7
5	CW	0,60	9,3	1,2	3,6	0,48	12,	1,8	1,8
6	CW	0,55	11,9	1,7	2,9	0,43	18,0	2,9	1,5
7	CCW	0,57	13,0	2,1	3,0	0,45	18,1	4,1	1,5

* CW = clockwise, CCW = counter clockwise