

‘Waterketen kan profiteren van computermodellen’

Het afgelopen decennium is het modelleren van stromingen en processen met behulp van een computer sterk opgekomen. Op tal van terreinen worden computermodellen gebruikt om ontwerpen te ondersteunen of knelpunten te analyseren. Ook in de watersector wordt steeds vaker teruggegrepen op simulatieberekeningen. In dit artikel demonstreren ondergetekenden de mogelijkheden van *computational fluid dynamics*, kortweg CFD, in het bijzonder in de drinkwaterbereiding en afvalwaterbehandeling.

Met CFD zijn processen in een tank of leiding gedetailleerd in kaart te brengen. Het is bijvoorbeeld mogelijk om met een stromingsmodel te bepalen hoe het proces reageert op een variabele aanvoer (DWA/RWA), of wat de intensiteit van de menging is bij de voortstuwers, wat de beste plaats is voor de beluchting en wat de impact is van recirculatiestromen en pompen.

CFD-modellen zijn naast grotere watersystemen (havens, bekkens en rivieren) toepasbaar voor leidingen, voorbezink-, coagulatie-, flocculatie-, actiefslib- en nabezinktanks én effluentlozingsconstructies. Dit geldt voor alle toepassingen voor de verwerking van (afval)water, dus naast rwzi's ook voor drinkwaterproductie- en distributiestationen. Aan de hand van drie voorbeelden schetsen we hoe stromingsmodellering is te gebruiken in advieswerk en ontwerpprojecten.

De opkomst van stromingsmodellering heeft alles te maken met de stormachtige ontwikkeling van de computer. Computers zijn de afgelopen decennia vele malen krachtiger geworden, terwijl de prijs sterk daalde. De ontwikkeling is nu zover dat met een desktop pc zonder al te veel problemen een eenvoudige stroming kan worden doorge-rekend.

Naast de ontwikkeling van de computer speelt de ontwikkeling van de modellen zelf een grote rol. De basis voor elk stromingsmodel zijn nog altijd de Navier-Stokes-vergelijkingen, maar voor allerlei specifieke situaties zijn de vergelijkingen vereenvoudigd. Zo zijn er modellen die turbulentie beschrijven op een globaal niveau, zodat men niet elk detail hoeft te berekenen, en modellen die het mogelijk maken te rekenen aan meefasestromingen (bijvoorbeeld lucht en water) of bezinking van slib. De modellen zijn ook een stuk betrouwbaarder geworden door meer kalibratie en validatie met behulp van fysische experimenten. Het laatste aspect dat van grote invloed is geweest, is het verbeteren van algoritmes voor het oplossen van de onderliggende vergelijkingen. Uiteindelijk resulteert elk model in een stelsel vergelijkingen dat moet worden opgelost. Hoe sneller dat gaat, des te meer berekeningen kunnen worden gedaan. De laatste decennia zijn grote stappen gezet in

het vergroten van de efficiëntie waarmee de stelsels worden opgelost.

Door de grote sprongen voorwaarts die op de drie voornoemde terreinen zijn gemaakt, is het nu mogelijk om op een goed geutilleerde computer te rekenen aan complexe, driedimensionale stromingen. Voor het rekenen aan stromingen zijn verschillende programma's op de markt van heel generiek tot specifiek voor één toepassing.

Opties voor modellering

Het is natuurlijk heel aardig dat stromingen kunnen worden berekend. Maar waarom zou je dat gaan doen? Wat is het nut van CFD? Deze vragen zijn het best te beantwoorden door het vergelijken van de modellering met de alternatieven en het afwegen van de voor- en nadelen. Stel, een beheerder van een rwzi wil graag een beter inzicht krijgen in een onderdeel van het zuiveringsproces. Er zijn bijvoorbeeld problemen met één van de actiefslibtanks. Het vermoeden bestaat dat er een kortsluitstroom is tussen in- en uitstroom. Dan is er een aantal manieren om er achter te komen of dat daadwerkelijk het geval is.

De eerste manier is meten. Door op strategische plekken een meetapparaat te plaatsen voor snelheid en troebelheid is vast te stellen hoe de stroming er uitziet. Meten heeft echter een paar nadelen: het is niet eenvoudig goed te meten in een installatie in bedrijf vanwege wisselende omstandigheden. De stroming wordt met de ophanging van van de meetapparatuur verstoord waardoor een andere stroming wordt gemeten dan waar men in geïnteresseerd is, er is alleen informatie waar werkelijk gemeten wordt én meetapparatuur is prijzig en heeft te lijden van de zware fysieke omstandigheden als gevolg van het agressieve rioolwater.

Een tweede manier is het bouwen van een (schaal)model in een laboratorium. Meten is dan nog steeds nodig, maar de omstandigheden zijn beter te controleren. De resultaten zijn daardoor over het algemeen betrouwbaarder. De grote nadelen van een echt model zijn hoge kosten en inflexibiliteit. Het bouwen van een model - zelfs als het een schaalmodel betreft - is erg duur. En als het model er eenmaal staat is het lastig, zo niet onmogelijk de geometrie aan te

passen. Schaalmodellen moeten bovendien zorgvuldig worden teruggeschaald naar de werkelijke situatie.

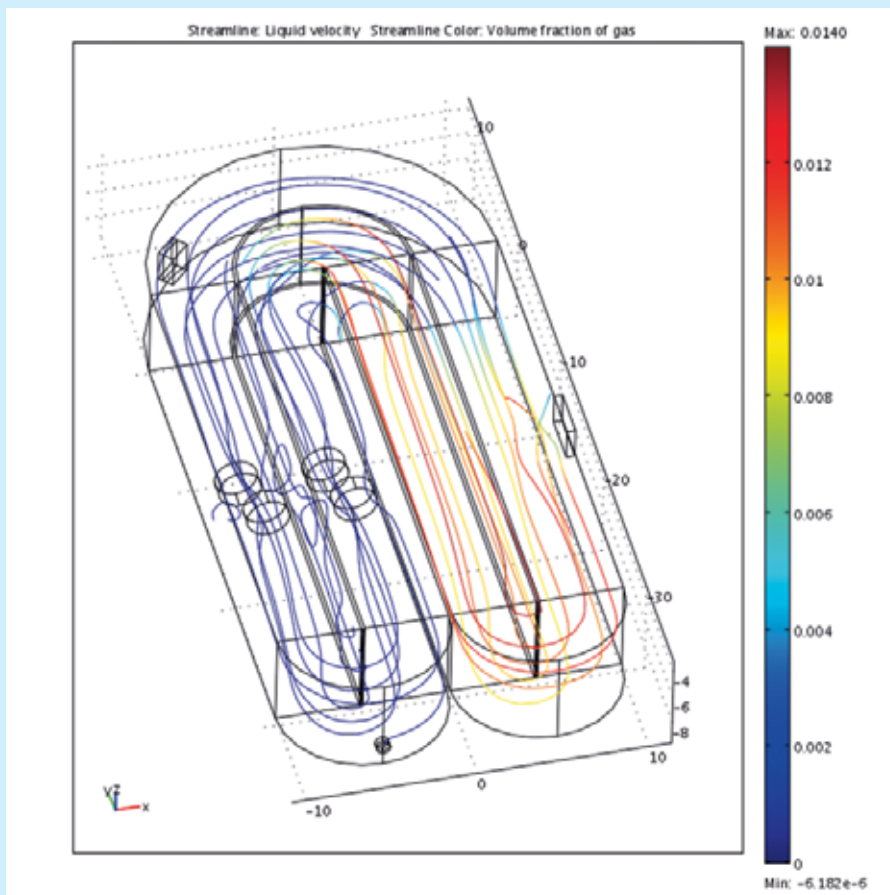
In plaats van een echt model is het ook mogelijk een virtueel model te bouwen met behulp van een computer. Een computermodel heeft in vergelijking met de eerdergenoemde opties een aantal belangrijke voordelen: het bouwen van een model is goedkoop en de details van de stroming zijn op veel meer plekken bekend. De informatie beperkt zich dus niet tot een aantal meetpunten. Aanpassingen aan het model zijn relatief eenvoudig door te voeren. Modellering is daarmee een goedkoop en snel alternatief voor het werken met metingen of (schaal)modellen.

Ander belangrijk voordeel is dat mogelijke oplossingen of verbeteringen direct getest kunnen worden op effectiviteit. Voorwaarde voor het succesvol toepassen van een virtueel model is het hebben van kennis van zowel het gemodelleerde proces als het gebruikte fysisch-mathematische model. Deze combinatie van kennis is nodig om de uitkomst van de modelberekeningen correct te interpreteren en waar nodig het model aan te passen. Dat vraagt ingenieurs met een verschillende achtergrond, enerzijds in afvalwatertechnologie, anderzijds in de toegepaste wiskunde.

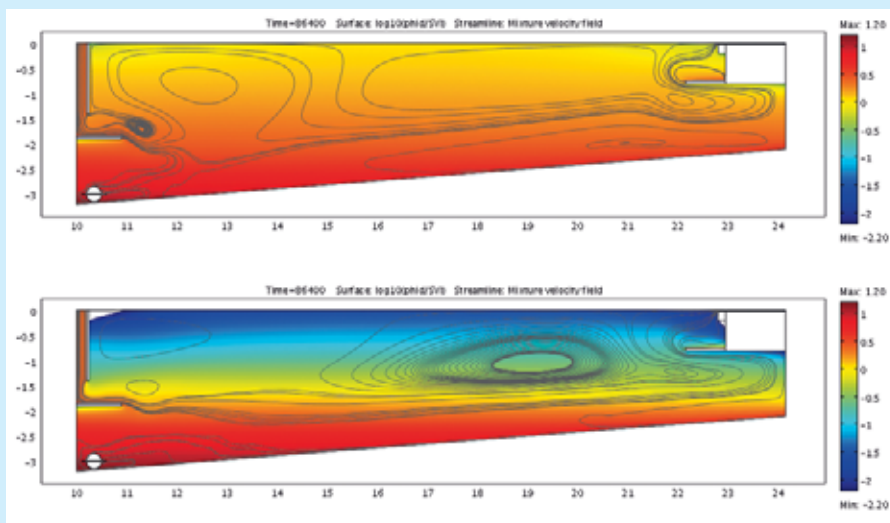
Een model staat nooit op zichzelf. Er is altijd een terugkoppeling naar de werkelijkheid nodig. Vandaar dat een combinatie van meten en modellering ideaal is. Door gebruik te maken van een model zijn minder meetpunten nodig. Een klein aantal metingen is voldoende om het model te valideren en daarmee de voorspellingen van het model te verbeteren. Wanneer het vermoeden bestaat van een kortsluitstroom op de rwzi, is met een computermodel heel goed te bepalen waar meetapparatuur het best kan worden ingezet om vast te stellen of het slib inderdaad de verkeerde kant op stroomt.

Toepassingen

Het nut van modellering voor de praktijk kan nog het best worden geïllustreerd aan hand van enkele voorbeelden waarbij Witteveen+Bos stromingsmodellen gebruikte.



Afb. 1: Stroomlijnen en volumefractie zuurstof in vierbenige actiefslibtank.



Afb. 2: Droogstofgehalte in een doorsnede van de gemodelleerde bezinktank (in g/l, logaritmische schaal) en stroomlijnen bij een vlokdiаметer van 0,6 mm.

Ondersteuning bij een nieuw ontwerp

Bij het ontwerp van een rioolwaterzuiveringsinstallatie kan goed gebruik gemaakt worden van modellering. In een vroeg ontwerp stadium kunnen verschillende varianten worden afgewogen door voor elke variant de stroming te berekenen en ze te vergelijken op effectiviteit. Als het ontwerp al in een vergevorderd stadium is, kan een model worden gebruikt ter verificatie. Doet het ontwerp wat ervan verwacht wordt? Of bestaat het risico op kortsluitstromen of een scheve hydraulische belasting? Dat laatste onderzocht Witteveen+Bos voor een uitbreiding van rwzi Tollebeek.

De ontwerpen van de anoxische tank, de wisseltank en de nitrificatietank zijn getoetst met behulp van CFD. De stromingsberekeningen gaven aanleiding tot een aanpassing in het ontwerp. De retourstroom van nitrificatietank naar de anoxische tank is bijvoorbeeld enigszins gewijzigd om de kans op een kortsluitstroom te verkleinen.

In afbeelding 1 is de stroming in de nitrificatietank met bellenbeluchting en voorstuwers afgebeeld. De bellenbeluchting bevindt zich in de twee rechterbenen, de voorstuwers in de linkerbenen. De stroming is afgebeeld met behulp van stroomlijnen. Een stroomlijn

is het traject dat een waterdeeltje volgt. Een neer of recirculatiestroming is te herkennen aan cirkelvormige gesloten stroomlijnen. Neren zijn te vinden rond de voorstuwers, direct na alle scherpe bochten en aan het begin en einde van het beluchtingspakket. Een neer gaat vaak gepaard met lage snelheden en maakt bezinking van slib mogelijk.

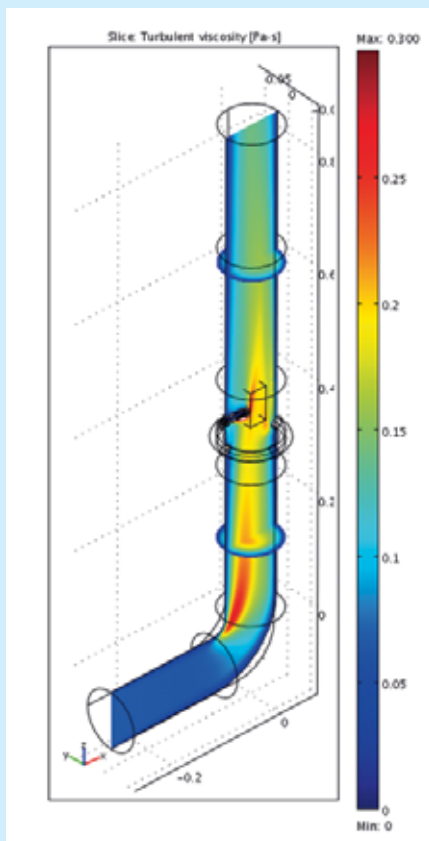
Op de plekken waar het model een lage snelheid voorspelt, wordt in de praktijk in soortgelijke tanks vaak ophoping van slib gevonden. De kleur van de stroomlijnen hangt samen met de volumefractie zuurstof. Blauw betekent geen zuurstof, rood maximaal zuurstof (1,4 procent). Het is goed te zien dat de beluchting zich alleen in de eerste twee benen bevindt. Dichtbij het oppervlak is de volumefractie zuurstof groter dan op de bodem, omdat de bellen als gevolg van een lager druk gaan uitzetten.

Zonder al te veel in details te treden, toch iets meer over de ingrediënten van dit model. De stroming is berekend met een model voor turbulente stromingen (k-epsilon). De voorstuwers zijn gesimuleerd als een directe kracht op de vloeistof. In de nitrificatie- en wisseltank is bellenbeluchting aanwezig en daar is dus sprake van een tweefasenstroming. Voor de berekening van die stroming is gebruik gemaakt van een speciaal model dat de stijging van de luchtbellen in de vloeistof beschrijft. Dit model is gebaseerd op resultaten van experimenten en houdt rekening met de extra turbulentie en weerstand die de bellen introduceren.

Verbeteringen bestaand ontwerp

Een tweede toepassing van CFD is de analyse van knelpunten in een bestaand ontwerp. Als een installatie niet goed functioneert, kan een computermodel gebruikt worden om de oorzaken te detecteren en te controleren of de voorgestelde maatregelen voldoende zijn om de prestaties te verbeteren. Dit kan het nemen van kostbare maatregelen voorkomen, die achteraf niet effectief blijken te zijn.

Recent heeft Witteveen+Bos dit gedaan voor een rioolwaterzuiveringsinstallatie waar operationele knelpunten werden verondersteld met betrekking tot slibbezinking. De tanks zijn ontworpen om slib en water te scheiden, maar in de praktijk bleek het drogestofgehalte in het overloopwater bij de uitstroom veel groter dan in het oorspronkelijke ontwerp werd verondersteld. Eén van de maatregelen die Witteveen+Bos voorstelde, is het stimuleren van de vloggroei in het traject voor de bezinktank, ter bevordering van de vlokbezinking. Met een computermodel is de effectiviteit van deze maatregel getoetst. Een kleine toename in de vlokdiаметer bleek reeds een groot effect te hebben op het bezinkingsrendement van de tank. In afbeelding 2 is het effect van een verandering van de diameter te zien. Voor twee verschillende vlokdiаметers (0,6 en 0,8 mm) is de stroming en de verdeling van het slib in de tank berekend. In de bovenste figuur (0,6 mm vlokdiаметer) verloopt het bezinkingsproces in de tank niet optimaal



Afb. 3: Turbulente viscositeit in een buis met doseerlans.

en spoelt slib uit met het overloopwater (zie de gele kleur met weinig kleurgradiaties). Tevens is er een kortsluitstroom ontstaan tussen de instroom (linksboven) en de retourstroom (linksonder), waardoor ongecontroleerde recirculatie van slib plaatsheeft en het bezinkproces verder nadelig wordt beïnvloed. In de onderste figuur (0,8 mm vlokdiаметer) is de kortsluitstroom verdwenen. Het slib stroomt nu van het geleidingschot bij de instroom horizontaal de tank in, waardoor de slibvlokken voldoende tijd hebben te bezinken. Het bezonken dikke slib (zie rode kleur) wordt vervolgens netjes over de hellende bodem afgevoerd naar de retourstroomleiding. Het supernatante water bovenin de tank - in het bijzonder bij de uitstroom naar het effluentkanaal (rechtsboven) - is blauw gekleurd en bevat weinig slib, terwijl het rond de retourstroomleiding nog donkerder rood (ingedikt) is geworden, wat duidt op een hogere slibconcentratie. Een grotere vlokdiаметer leidt tot een ander stromingspatroon in de tank en daarmee tot een veel betere bezinking. De voorgestelde maatregel om de vlokvorming te verbeteren wordt dus ondersteund door het model en blijkt ook in de praktijk effectief. Ondertussen is de voorgestelde maatregel op de rwzi succesvol toegepast.

Toetsen en bijstellen van ontwerpregels

Het laatste voorbeeld heeft betrekking op de mogelijkheid een installatie scherp te ontwerpen. Veel ontwerpregels zijn ruim gekozen, zodat zeker is dat de installatie werkt. Een groot nadeel is dat in de praktijk sprake zal zijn van overcapaciteit en onnodig



Het one-step-filter, dat de achtergrond vormt van de mixing-casus.

energieverbruik. Een computermodel kan helpen een installatie scherper te ontwerpen.

Een voorbeeld van een ruime ontwerpregel betreft de menging van chemicaliën die gedoseerd worden in een buis. Om een snelle menging met het langsstromende water te garanderen, moet volgens de regels direct na het doseerpunt een statische menger worden geplaatst. De energie die een statische menger kost, wordt uitgedrukt in een G-waarde. Een hoge G-waarde betekent dat veel energie nodig is om het water door de statische menger te pompen. Een hoge G-waarde zorgt in principe ook voor een goede menging van chemicaliën en water. Volgens de theorie is snelle menging gegarandeerd bij een G-waarde van 1.500 tot 7.500 s^{-1} . In de praktijk blijkt een veel lagere G-waarde echter ook al te voldoen. Sterker nog, het lijkt erop dat een statische menger vaak helemaal niet nodig is om menging te garanderen. De buiswand, de doseerlans, een eenvoudige doorlaat en een haakse bocht in de leiding voor het doseerpunt lijken al voldoende turbulentie op te wekken en te zorgen voor een snelle menging. Het vermijden van het toepassen van een statische menger scheelt opvoerhoogte en daarmee energie als de installatie in gebruik is.

Witteveen+Bos heeft een situatie doorgerekend om te bepalen welke G-waarden dan wel voldoende zijn om een goede menging te garanderen. In afbeelding 3 is turbulentie in de stroming afgebeeld. Het water stroomt linksonder de buis in, na de bocht bevindt zich een doseerlans halverwege de buis. Aan de bovenkant verlaat het water het model. Het is duidelijk te zien dat juist in de bocht en rond de doseerlans veel turbulentie wordt opgewekt. Aan de hand van de opgewekte turbulentie wordt vervolgens bepaald hoe goed en hoe snel gedoseerde chemicaliën zich mengen in de buis. Met een bocht en doorlaat vlak voor het doseerpunt zijn de chemicaliën een halve meter na het



De opstelling in Tollebeek.

doseerpunt al voor 98 procent gemengd. Dat komt overeen met praktijkwaarnemingen. De drukverliezen over de bocht, de doseerlans en de doorlaat - die heel goed overeenkomen met wat uit de literatuur bekend is - worden omgerekend naar een G-waarde. Uit de berekeningen blijkt dat ook bij lagere G-waarden voldoende menging wordt gerealiseerd. Dit voorbeeld illustreert dat met behulp van CFD een installatie scherper kan worden ontworpen. Dat leidt uiteindelijk bij de ingebruikname van de installatie tot een structureel lager energieverbruik en dus tot lagere bedrijfskosten.

In dit artikel lag de nadruk op drie specifieke toepassingen. Daarmee is voorbijgegaan aan stromingen als gevolg van dichtheidsverschillen, chemische reacties, warmte-transport, verblijftijdspreading, etc. Het is goed om te realiseren dat CFD veel meer mogelijkheden biedt dan de hier genoemde. De meerwaarde van stromingsmodellering voor de waterketen zit vooral in de mogelijkheid een ontwerp te toetsen. Een nieuwe installatie is met behulp van een computermodel scherper te ontwerpen. Voor bestaande installaties kan het effect van ingrijpende maatregelen worden onderzocht. In beide gevallen leidt het tot kostenbesparingen op de langere termijn. De kans dat maatregelen niet effectief blijken of een installatie fouten bevat, wordt met een CFD-toets verder verkleind.

Arie de Niet en Arjen van Nieuwenhuijzen (Witteveen+Bos), Herman Evenblij (Witteveen+Bos, thans Waterschap Groot Salland)