

Optimalisering van grote ronde nabezinktanks

Deel I: Stroming zonder slib

Inleiding

Een methode voor het zuiveren van afvalwater is de actief-slibmethode. Hierbij wordt in een beluchtingsruimte het te behandelen water in contact gebracht met zogenaamd actief slib. Het mengsel van slib en water wordt intensief belucht. De actief-slibvlokken bestaan uit een slijmerige grondstof waarin micro-organismen leven. De organische verontreinigingen in het afvalwater worden door deze organismen opgenomen en in de levende massa omgezet en veranderen zo in bezinkbare stoffen.



DRS. R. BOOY
TU Delft



IR. L. M. MELIS
TU Delft



G. W. NEGATE
TU Delft

Na de beluchtingsruimte doorloopt het mengsel van slib en water een nabezinktank, waarin het slib bezinkt en zo gezuiverd water wordt afgescheiden. Een deel van het bezonken slib, het retourslib, wordt teruggevoerd naar de beluchtingsruimte, waar het weer nieuw afvalwater kan zuiveren. Het overige slib, het spuislib, wordt afgevoerd.

De in Nederland gangbare nabezinktanks kunnen worden onderscheiden naar vorm (rechthoekig of cirkelvormig) en naar afmeting. Elk ontwerp heeft zijn voor- en nadelen. Een praktijkonderzoek van de Stichting Toegepast Onderzoek Reiniging Afvalwater (STORA) heeft uitgewezen dat grote ronde nabezinktanks (diameter circa 50 m) bij tijden te veel slib met het effluent lozen.

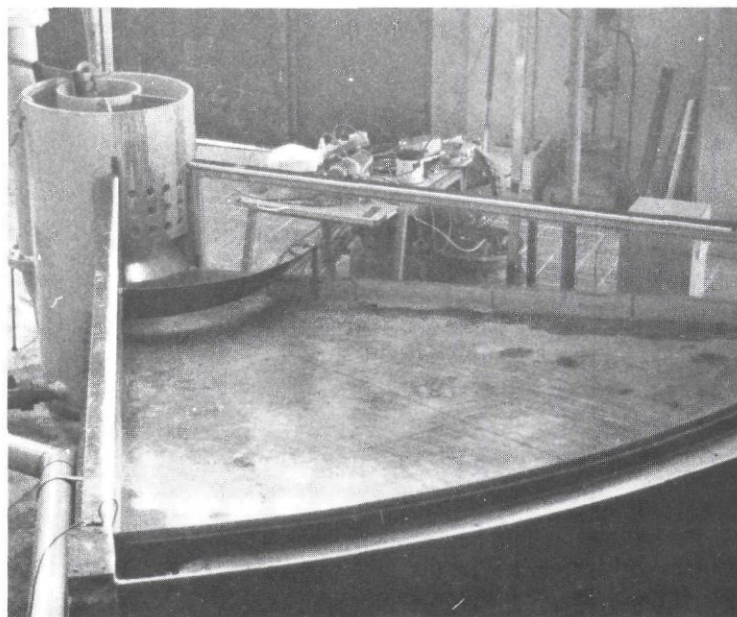
Voor het verbeteren van het ontwerp is onder andere aan de Technische Universiteit Delft in opdracht van de STORA een onderzoek uitgevoerd. Het is te beschouwen als een aanzet tot een veelomvattender onderzoek met als doel de optimalisering van grote ronde nabezinktanks. Bij een gegeven tankdiameter, waterdiepte en bodemhelling, zijn nog veel variaties mogelijk, onder andere in

Samenvatting

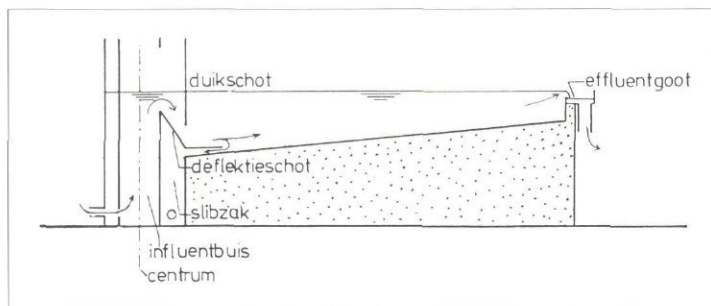
Met het oog op de optimalisering van de stroming en bezinking in grote ronde nabezinktanks zijn berekeningen verricht voor een aantal varianten betreffende de inlaat-geometrie en de waterafvoer. Deze fase van het onderzoek is beperkt tot stroming zonder slib. De berekende stromingen zijn geverifieerd aan de hand van metingen in een laboratoriummodel. Het gebruikte rekenmodel blijkt een bevredigende reproductie van de gemeten stromingen te geven.

- de verhouding van retourdebiet tot instroomdebiet
 - de vorm van de inlaatconstructie.
- In het onderzoek moest nagegaan worden hoe deze variabelen de stroming en de bezinking beïnvloeden. Een dergelijk onderzoek kan op verschillende manieren worden uitgevoerd:
- Metingen in een nabezinktank. Dit is kostbaar en de invloeden van wind en van variaties van aard en hoeveelheid van het actief slib (afhankelijk van aangevoerd afvalwater en temperatuur) kunnen de metingen verstoren. De vele variabelen maken een groot aantal metingen noodzakelijk.
 - Metingen in een schaalmodel in het laboratorium. Hierin zijn de constructieve wijzigingen en ook metingen eenvoudiger uit te voeren en zijn allerlei externe invloeden beter in de hand te houden. Desondanks blijft het grote aantal metingen dat gedaan moet worden een probleem. Ook moet aan een aantal schaalregels worden voldaan om de uitkomsten toepasbaar te laten zijn op praktijkschaal. Vooral bij de stroming met slib levert dit problemen op.
 - Numerieke berekeningen in een computermodel. Hiermee kan op relatief eenvoudige wijze het effect van bepaalde wijzigingen doorgerekend worden.

Berekeningen met computermodellen vereisen nog steeds controle aan de hand van uitgevoerde metingen, zeker bij gecompliceerde stromingen zoals in nabezinktanks optreden. Gekozen is voor een combinatie van metingen in een schaalmodel en berekeningen met een computermodel. Het schaalmodel werd gebouwd in het Laboratorium voor Vloeistofmechanica van de TU Delft. Het volledig zelf ontwikkelen van een computermodel is zeer tijdrovend, zodat gebruik is gemaakt van een algemeen stromingssimulatiepakket PHOENICS van CHAM Ltd. Dit pakket lijkt voldoende mogelijkheden te bieden om de gewenste berekeningen uit te voeren, zowel wat de configuratie van de nabezinktank, de stromingsmodellering als de modellering van het slib betreft. Het onderzoek werd ingedeeld in verschillende fasen. In de eerste fase, die in dit artikel is beschreven, werd de stroming van zuiver water zonder slib numeriek gemodelleerd. De berekende stromingen werden gecontroleerd aan de hand van metingen. De tweede fase is in het volgende artikel beschreven en betrof stroming met slib. In mogelijke toekomstige fasen van het onderzoek kan achtereenvolgens de invloed van slib, van wind



Afb. 1 – Het laboratoriummodel van een nabezinktank.



Afb. 2 - Voorzieningen in de nabezinktank.

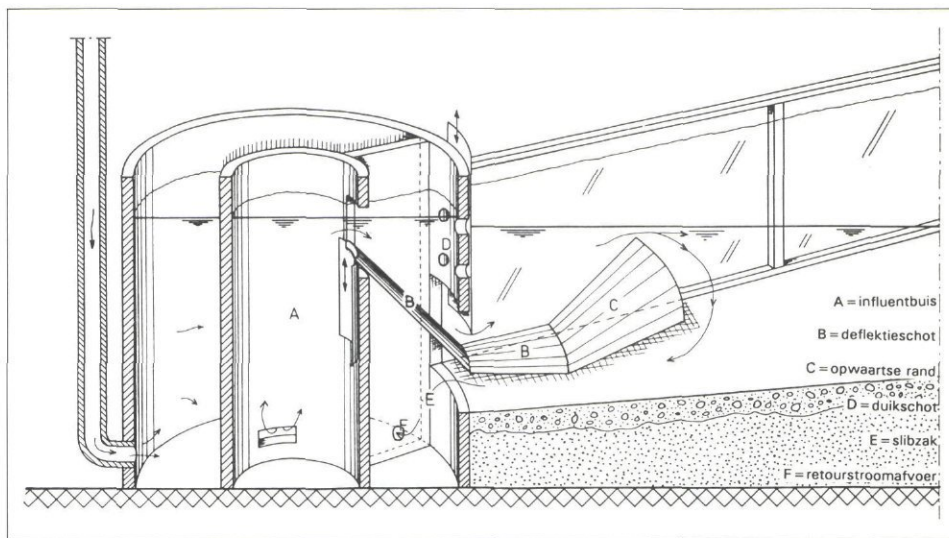
en van bodemschrappers bij de computer-modellering worden betrokken.

Beschrijving van het laboratoriummodel

Het schaalmodel in het laboratorium is beperkt tot een sector van 60 graden van een cirkelvormige nabezinktank en is weergegeven in afbeelding 1. De vereenvoudiging tot een sector is mogelijk door er van uit te gaan dat de stroming in een ronde nabezinktank rotatie-symmetrisch is. Een sector is goedkoper en bezet minder ruimte in het laboratorium. Verder is de stroming in zijn geheel beter bereikbaar voor het doen van metingen. Door de zijwanden van glas te maken was het mogelijk om, bijvoorbeeld met kleurstof, de verticale verdeling van de stroming te observeren. Nadelen van een sector zijn dat het niet mogelijk is om er in toekomstige fasen een ronddraaiende ruimer in aan te brengen en dat de stroming toch nog enigszins beïnvloed wordt door de wanden. De straal van het prototype was 24 m en bij een schaal van 1:8 was de straal van het model dus 3 m.

In het onderstaande zal eerst de vormgeving van een nabezinktank besproken worden en vervolgens de wijze waarop deze is nagebouwd in het laboratorium-model. Het gaat hier om een cirkelvormige nabezinktank met de toevoer van influent in het centrum. Het influent stroomt binnen door de influentbuis en vervolgens in radiale richting naar de effluentgoot die rondom op de buitenwand van de tank is aangebracht. Onderweg bezinkt het slib. Om de bezinking te optimaliseren is nog een aantal voorzieningen in de tank aangebracht, die zijn aangegeven in afbeelding 2. Voor een rustige instroming van het iets zwaardere influent wordt doorgaans om de influentbuis heen een duikschot aangebracht, dat vanaf de waterspiegel tot een zekere diepte in de tank steekt [1]. Het slib dat onderweg bezinkt moet geruimd worden. Hiervoor bestaan verschillende systemen. In dit project werd uitgegaan van ronddraaiende schrappers die het slib over de aflopende bodem naar het centrum van de tank toe schuiven. Daar bevindt zich een

heidsverdeling over de verticaal. Aangevoerd kan worden dat bij verwaarloosbare diffusie, die de slibdeeltjes vooral in verticale richting verspreidt, deze snelheidsverdeling geen rol speelt [2, 3]. Echter ter plaatse van snelheidsgradiënten in de stroming wordt turbulentie geproduceerd, met als gevolg veelal een aanmerkelijke turbulente diffusie in een groot deel van de nabezinktank. Daarom lijkt het zaak snelheidsgradiënten te



Afb. 3 - Schets van een doorsnede van de inlaatconstructie van het model.

verdieping, de slibzak, vanwaar het slib wordt afgezogen. Ook een deel van de vloeistof die door de influentbuis de tank binnenstroomt wordt via de slibzak afgezogen, om zo de slibruiming te bevorderen. In de praktijk komt het echter ook wel voor dat een deel van het influent direct als retourstroom in de slibzak verdwijnt zonder extra slib mee te voeren. Om zo een kortsluiting te voorkomen wordt wel een deflectieschot toegepast. Dat is in principe een horizontaal schot aan de influentbuis, waarover het volledige inkomende debiet de tank in stroomt, waarna de retourstroom afbuigt, onder het deflectieschot door terugstroomt en in de slibzak verdwijnt. Veelal wordt aangenomen dat voor de optimalisering van de bezinking gestreefd moet worden naar een uniforme snel-

minimaliseren, dus te streven naar een uniforme snelheidsverdeling over de verticaal. Hiertoe wordt bijvoorbeeld wel een geperforeerd duikschot toegepast. Als de slibconcentratie niet meer gering is, zodat dichtheidseffecten en onderlinge beïnvloeding (floculatie en gehinderde bezinking) van slibdeeltjes een rol gaan spelen kan optimalisering een veel complexer probleem zijn. Hierop wordt verder ingegaan in deel II van dit artikel: Stroming met slib.

Een doorsnede van de inlaatconstructie van het laboratoriummodel is geschetst in afbeelding 3. De influentbuis van het laboratoriummodel wordt gevormd door een pvc buis en een deel van een wijdere pvc buis eromheen vormt het duikschot. De bovenrand van de influentbuis en de onderrand van het duikschot zijn in

TABEL I - Overzicht van de varianten.

Variable	Varianten	
diepte bovenrand influentbuis ¹	0,13 m; 0,22 m	
diepte onderkant duikschot ¹	0,25 m; 0,34 m	
deflectieschot	geen of verschillende vormen	
duikschot	ondoorlatend of geperforeerd	
totaal aangevoerd debiet ²	0,0066 m ³ /s	0,0114 m ³ /s
tankdebiet ²	0,0033 m ³ /s	0,0076 m ³ /s
retourdebiet ²	0,0033 m ³ /s	0,0038 m ³ /s

¹ lengteschaal model: prototype is 1:8

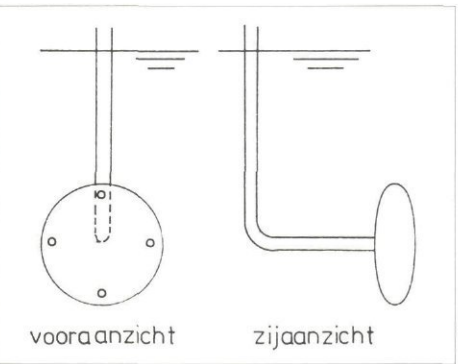
² schaling volgens Reynoldsgetal: 1 m³/s in model komt overeen met 8 m³/s in prototype (voor een sector van 60 graden).

hoogte te variëren door het verstellen van metalen platen. Ook kan de metalen plaat van het duikschot geheel verwijderd worden zodat ronde openingen in de pvc buis vrijkomen en een geperforeerd duikschot ontstaat. Om de varianten met en zonder deflektieschot te kunnen onderzoeken, is een uitneembaar deflektieschot aanwezig. Aan het horizontale gedeelte van het deflektieschot kan bovendien nog een omhooggerichte plaat bevestigd worden om na te gaan of de stroming in de tank te beïnvloeden is met de vorm van het deflektieschot. Het debiet door een nabezinktank is in de praktijk afhankelijk van de hoeveelheid aangevoerd afvalwater. De droogweerafvoer (DWA) en de afvoer bij regen (RWA) kunnen aanzienlijke variaties van het debiet door de nabezinktank veroorzaken. Het retourstroomdebet daarentegen is geen randvoorwaarde, maar kan naar believen gevarieerd worden. In het model werden twee extreme situaties nagebootst. Tabel I geeft een overzicht van de genoemde variabelen, waaruit verschillende combinaties zijn gekozen voor de experimenten.

Snelheidsmetingen in het laboratoriummodel

Voor het meten van de vloeistofsnelheden is gebruik gemaakt van een elektromagnetische snelheidsmeter (EMS). De snelheidsmeting met een EMS is gebaseerd op de inductiewet van Faraday. Bij de stroming van een geleidende vloeistof als water door een magnetisch veld, hier opgelegd door middel van een spoeltje in de sensor, ontstaat een spanningsverschil tussen twee elektroden op de sensor. Door het combineren van twee paar elektroden op de sensor zijn door het meten van de optredende spanningsverschillen tegelijk de snelheidscomponenten in radiale richting en in verticale richting te bepalen. De gebruikte sensor is weergegeven in afbeelding 4. In dit onderzoek is slechts het in de tijd gemiddelde snelheidsveld onderzocht.

Afb. 4 - De sensor van de EMS.

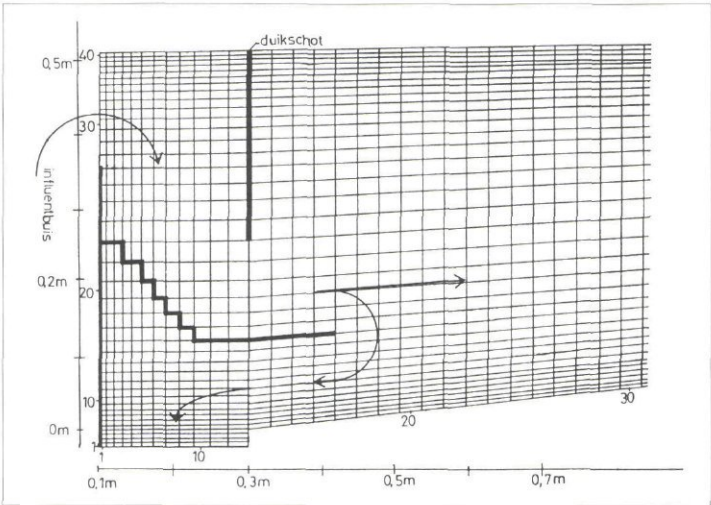


Uit testen bleek dat een meetduur van 6 minuten per meetpunt voldoende was om de turbulente fluctuaties van de snelheid effectief weg te middelen. Als de stroming zuiver rotatie-symmetrisch was over de sector zou volstaan kunnen worden met het uitvoeren van een aantal metingen in het bissectrice-vlak van de sector. Om dit na te gaan is ook steeds in een aantal punten buiten dit vlak gemeten. Het doormeten van een stromingsvariant, kostte ongeveer 3 meetdagen. Er zijn totaal 15 varianten doorgemeten. De lange duur werd mede veroorzaakt door het verloop van de instelling van de EMS, waardoor eens per uur een tijdrovende ijkmeting nodig bleek. Het grote aantal te meten varianten maakte het meten in een groter aantal meetpunten, wat voor de vergelijking met de berekeningsresultaten aantrekkelijk zou zijn, te tijdrovend. Hierbij moet echter opgemerkt worden dat de grootte van de sensor van de EMS maakt dat niet echt een puntmeting mogelijk is. De met de EMS gemeten snelheid is een maat voor de gemiddelde snelheid in een schijfje water langs de EMS met een diameter van ongeveer 2 cm. De winst in de nauwkeurigheid van de bepaling van het snelheidsveld, die met een groter aantal meetpunten te behalen is, is dus beperkt. De metingen buiten het bissectrice-vlak lieten zien dat de stroming niet volledig rotatie-symmetrisch was. Vaak bleek de verdeling van de stroming vooral over het achterste deel van de nabezinktank langzaam in de tijd te variëren. Dit werd bevestigd aan de hand van proeven waarin de verplaatsing van de vloeistof door toegevoegde kleurstoffen werd gevolgd. Dit soort fluctuaties wordt vaker waargenomen in een divergerende, ofwel vertragende stroming. Ze treden dus waarschijnlijk niet alleen in het model maar ook in het prototype op. Numerieke modellering van dit verschijnsel is nog niet goed mogelijk. De precisie van de EMS bij lage snelheden valt iets tegen, onder andere door het verlopen van de instelling. Daardoor waren de lage gemeten snelheden in het achterste deel van het schaalmodel van de nabezinktank ook minder betrouwbaar.

Numerieke modellering van de stroming

Centraal in de numerieke modellering van vloeistofstromingen is de modellering van de verschillende transporten, bijvoorbeeld van warmte, impuls, slib. In vloeistofstroming is sprake van convectief transport van een grootheid, dit is transport met de vloeistof mee. Zo voert stromend water zijn inhoud aan warmte,

slib, impuls, enz. mee. Daarnaast is sprake van transport ten opzichte van de vloeistof. Hieronder vallen bijv. het bezinken van slib en diffusief transport van warmte, impuls of slib, enz. door de moleculaire warmtebeweging of door de turbulente vloeistofbeweging. De laatste, diffusief turbulent transport, is meestal van overheersend belang. Door bij de schaling van prototype naar model het Reynolds getal gelijk te kiezen, is de verhouding tussen convectief en diffusief transport in model en prototype gelijk. Dit garandeert, tenminste bij uniforme dichtheid, een overeenkomstig stromingspatroon. Het mechanisme van turbulente diffusie is als volgt te beschrijven. In een turbulente stroming, zoals de stroming in een nabezinktank (zowel in het prototype als in het schaalmodel), bewegen pakketten water min of meer willekeurig door elkaar. Deze pakketten water nemen bij hun beweging hun inhoud aan warmte, impuls, slib, enz. mee en veroorzaken zo een transport van deze grootheden. Diffusieve turbulente transporten zullen verschillen in temperatuur, impuls en slibconcentratie proberen te verminderen. Grote gradiënten in de te transporteren grootheid en sterke turbulentie brengen grote diffusieve transporten mee. Een voorbeeld is de reeds besproken turbulente diffusie, samenhangend met de turbulentie opgewekt door snelheidsgradiënten in de stroming, welke het bezinken van slib tegenwerkt. Bij een numerieke modellering worden deze (diffusieve) turbulente transporten meestal evenredig gesteld aan de gradiënt van de temperatuur, snelheid, slibconcentratie, enz. Daarbij moeten voor de evenredigheidsconstanten, de turbulente diffusiecoëfficiënt D in het geval van slibtransport en de turbulente viscositeit ν in het geval van impulstransport, waarden worden opgelegd. De bruikbaarheid van de berekende resultaten staat of valt veelal met een juiste keuze van deze coëfficiënten. In een complexe stroming als in een nabezinktank is het niet eenvoudig goede waarden voor de coëfficiënten te vinden. Ze zijn in het algemeen sterk van de plaats, van het stromingspatroon, en van de turbulentietoestand afhankelijk. Daarom is gebruik gemaakt van een turbulentiemodel waarbij via extra op te lossen vergelijkingen voor twee turbulente grootheden k en ϵ de benodigde waarden voor D en ν worden afgeleid, het k - ϵ -model. De fysische basis van het k - ϵ -model is helaas enigszins beperkt [4]. Het is echter het best bruikbare model voor turbulente stromingen gebleken tot op heden. Toch is het onverstandig de uitkomsten ermee behaald te vertrouwen



Afb. 5 - het voorste deel van het rekenrooster.

zonder voldoende verificatie aan de hand van metingen.

Bij de numerieke modellering van een stroming wordt het stromingsgebied waarover de berekening wordt uitgevoerd, het rekendomein, ingedeeld in volume-elementjes, de rekencellen, die samen het rekenrooster vormen. Van de te bepalen grootheden, de snelheidscomponenten in de verschillende richtingen, de druk, k , ϵ en eventueel de slijbconcentratie, worden gemiddelde waarden over de cellen berekend. De nauwkeurigheid van de berekeningen neemt in het algemeen toe bij verfijning van het rekenrooster. Dit gaat echter gepaard met een sterke stijging van de rekentijd. Een verfijning met een factor 2 in een 2-dimensionaal rooster kost bijv. achtmaal zoveel rekentijd.

Het gebruikte rekenrooster in het inlooptank en in het voorste gedeelte van de nabezinktank is weergegeven in afbeelding 5. In de lengterichting van het model is het rekenrooster opgebouwd uit 102 cellen, waarvan 90 met gelijke lengte in de nabezinktank en 12 ongelijke in het inlooptank. De hoogte van de nabezinktank is verdeeld in 36 ongelijke cellen. Voor de modellering van de retourstroming zijn daarbij 4 cellen in het inlooptank toegevoegd. Het gebruik van ongelijke cellen heeft als reden dat de rekenresultaten bij turbulente stromingen, zeker bij gebruik van het k - ϵ -model, sterk afhankelijk zijn van de fijnheid van het rekenrooster bij randen zoals de bodem en het oppervlak. Dit zou tot zeer grote aantallen rekencellen leiden als gebruik werd gemaakt van een equidistant rooster. De keuze van het rooster in dwarsrichting berust op de veronderstelde rotatiesymmetrie van de stroming. Berekend is een 2-dimensionale stroming in een smalle taartpunt, waarbij slechts 1 cel in dwarsrichting is gebruikt. De randvoor-

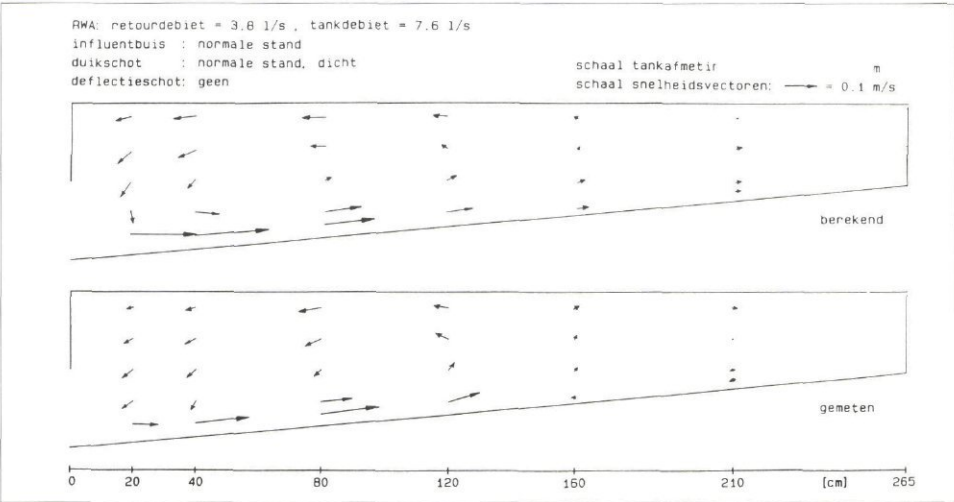
waarden aan de zijwanden zijn zo gekozen dat ze de stroming niet beïnvloeden. Berekeningen in de literatuur gaan over rechthoekige (na)bezinktanks [5, 6, 7]. In alle drie gevallen wordt een te eenvoudig turbulentiemodel met een constante turbulente viscositeit gebruikt. Alleen bij [7] is sprake van snelheidsmetingen in een modeltank. Vergelijking van berekend en gemeten snelheidsveld blijft echter achterwege. [8] geeft een berekening van de stroming in een ronde nabezinktank bij aanwezigheid van schrapers, echter zonder verificatie van de berekeningsresultaten.

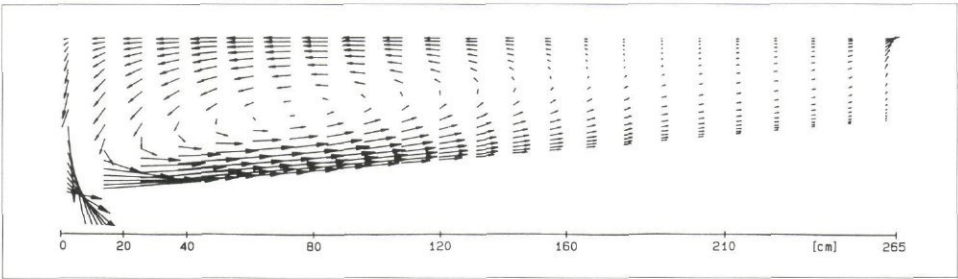
Resultaten

Om de bruikbaarheid van de numerieke modellering na te gaan zijn de snelheden in de berekende stromingen met de gemeten snelheden vergeleken. De weergegeven stroming is beperkt tot de nabezinktank zelf, omdat geen metingen in het inlooptank verricht zijn. Slechts enkele van de vele varianten kunnen hier aan de orde komen. Voor vollediger

informatie wordt verwezen naar [9]. Het eenvoudigst te modelleren was de groep van vier varianten met een dicht duikschot en zonder deflectieschot. De gemeten en berekende resultaten van één van deze varianten, 1RWA, zijn weergegeven in afbeelding 6. Bij vergelijking van berekende en gemeten resultaten blijkt dat de stroming in grote lijnen goed gereproduceerd wordt. In het bijzonder de lengte en sterkte van de neer (circulatie) voorin de nabezinktank, een belangrijk aspect van de stroming, komen goed overeen. Een tweede neer achterin de nabezinktank, die bij de metingen nauwelijks zichtbaar is, wordt bij de berekeningen niet gevonden. Het niet loslaten bij een simulatie van een stroming langs een wand zonder duidelijk opgelegd loslaatpunt, zoals in de nabezinktank tussen eerste en tweede neer aan de bodem gebeurt, is een bekend probleem bij numerieke modellering van vloeistofstromingen. Gelukkig is dit een minder belangrijk aspect van de stroming. De stroming achterin de tank zal overheerst worden door de rondgaande stroming veroorzaakt door de schrapers. Daarbij zijn de snelheden achterin zo klein dat de turbulente diffusie, dus de vorm van het snelheidsprofiel, wellicht minder belangrijk is. Langs de bodem voorin de tank treedt een bodemstraal op. Deze bodemstraal, die van belang is voor de productie van turbulentie, wordt niet volledig correct gemodelleerd. Voor een goede modellering van zo een straal is een veel groter aantal rekencellen nodig. De resultaten van de andere varianten in deze groep bevestigen deze conclusies. Het geringe aantal weergegeven punten in afbeelding 6 leidt tot een gebrekkige representatie van de stroming. Voor een goede vergelijking tussen gemeten en berekende snelheid zijn voor beide de waarden in de

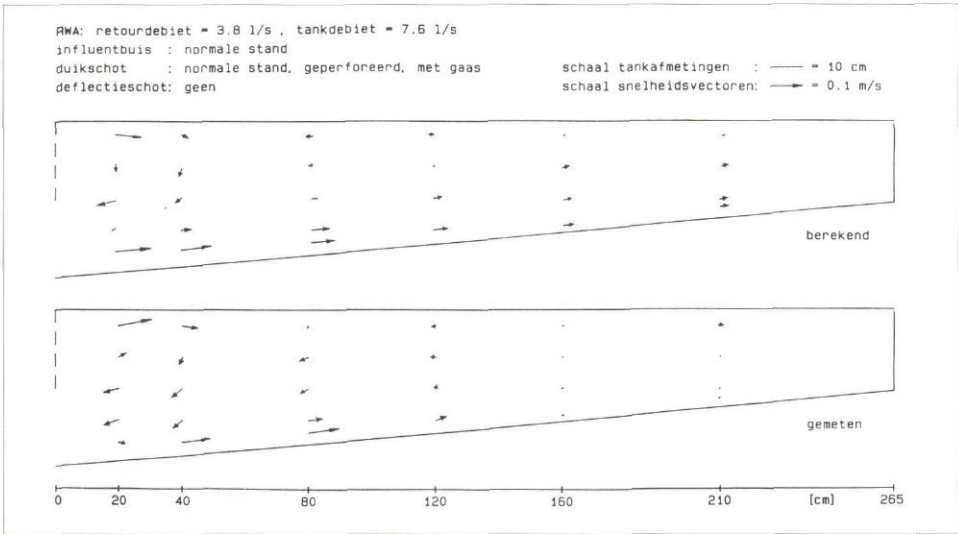
Afb. 6 - Gemeten en berekende snelheden, variant 1RWA.





Afb. 7 - Berekend stromingsbeeld, variant 1RWA.

Afb. 8 - Gemeten en berekende snelheden, variant 5RWA.



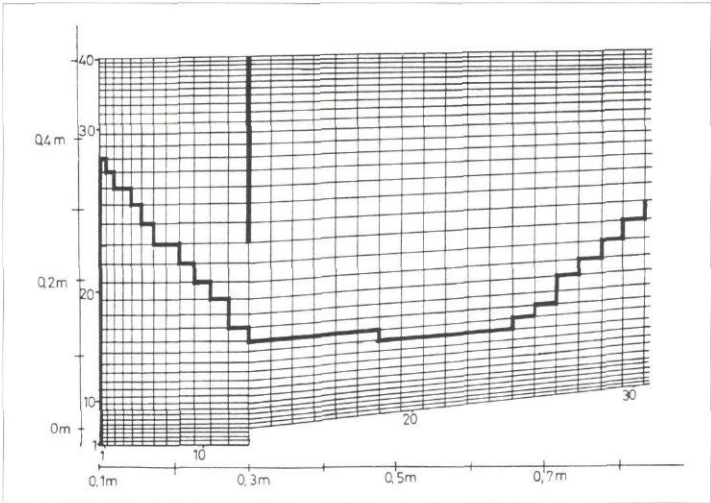
meetpunten weergegeven. Het aantal punten waarin de snelheid berekend is, is echter veel groter dan het aantal meetpunten. In afbeelding 7 is een wat groter aantal gebruikt namelijk één op de vier berekende punten in langsrichting en één op de twee over de diepte. Een tweede groep varianten wordt gekenmerkt door een geperforeerd duikschot en afwezigheid van een deflectieschot. De perforatie moet leiden tot een meer uniforme stroming. Bij een juiste keuze van de aard en mate van perforatie lijkt dit inderdaad mogelijk. Het modelleren van een perforatie in een 2-dimensionaal model is niet goed mogelijk. De ronde stralen die uit de openingen komen verbreden zich in twee richtingen en de vloeistof kan om de stralen heen in een andere richting stromen. In de 2-dimensionale modellering, zoals gebruikt, betekenen de perforaties sleuven. De nu vlakke stralen verbreden zich slechts in één richting, dus minder sterk, en de vloeistof kan de stralen nu niet meer passeren. Ook is de directe invloed van de perforaties op de stroming niet goed duidelijk en slecht te modelleren, bijvoorbeeld de sterkte van het richtend effect van de openingen op de stralen. Een voorbeeld van de mogelijkheid tot modelleren van de stroming in deze groep geeft

Afb. 9 - Modellering van deflectieschot c.

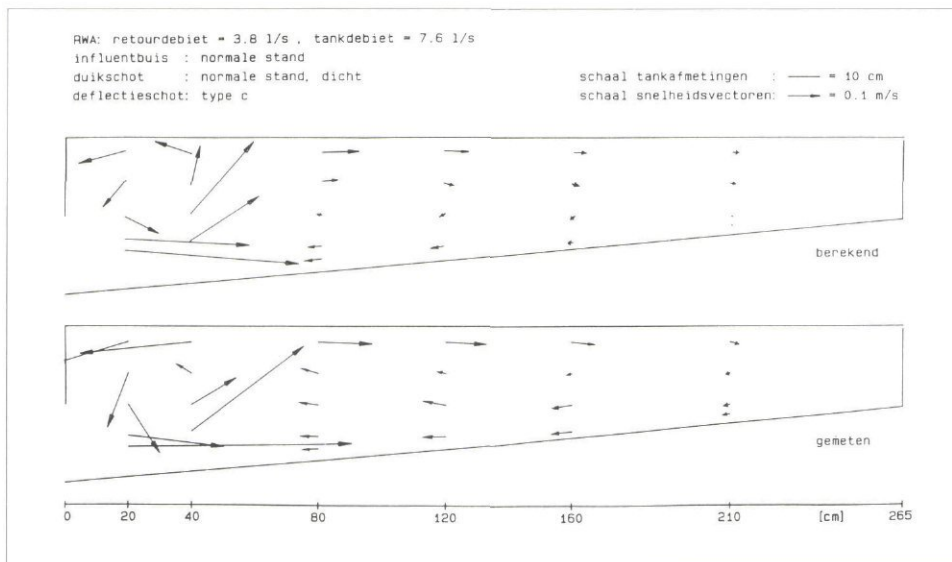
afbeelding 8, waarin de resultaten bij variant 5RWA zijn weergegeven. De modellering voldoet ongeveer even goed als in het geval van variant 1RWA, met een in grote lijnen bevredigende reproductie van het gemeten snelheidspatroon en met dezelfde zwakke plekken: de straal bij de bodem en de tweede neer. De onnauwkeurigheid van de meting van kleine stroomsnelheden en het instabiele karakter van de vertragende stroming maakt de gemeten stroming in dit gebied echter weinig betrouwbaar. De gemeten

waarden van de snelheid zouden betekenen dat door het voorste deel van de nabezinktank netto veel meer water stroomt dan door het achterste deel, wat in verband met het massabehoud onmogelijk is. Een probleem van de modellering van de stroming bij een geperforeerd duikschot is dat niet gegarandeerd kan worden dat de gekozen modellering ook werkt bij andere perforaties. Ook blijkt de stroming door het duikschot sterk te worden beïnvloed door de stroming in het inloopstuk. Een 3-dimensionale modellering met een fijnmazig rekenrooster om het duikschot lijkt nodig om de stroming hier voor verschillende perforaties betrouwbaar te kunnen voorspellen.

Een derde groep varianten betreft de stroming bij aanwezigheid van een deflectieschot. Er zijn drie verschillende deflectieschotten gebruikt. Een probleem bij de numerieke modellering is dat alleen randen ingevoerd kunnen worden die de celwanden van het rekenrooster volgen. Dit heeft tot gevolg dat de schotten als een trapjeslijn door het rooster lopen, zoals te zien is in afbeelding 9. In berekeningen blijkt een stroming langs zo een trapjeslijn o.a. een te grote wandwrijving en een te grote (numerieke)



viscositeit ten gevolge te hebben. Dit leidt ertoe dat een berekende wandstraal nog sneller verbreedt dan hij al doet door het te grove rekenrooster alleen. Het rekenrooster ter plaatse van het deflectieschot is nog grover dan bij de bodem, waar in variant 1RWA het rooster voor de berekening van de wandstraal al te grof bleek. Als voorbeeld zijn de resultaten van variant 10RWA met deflectieschot c gegeven in afbeelding 10. Ook hier blijkt de stroming in grote lijnen bevredigend gemodelleerd te worden. Zowel de eerste



Afb. 10 - Gemeten en berekende snelheden, variant 10RWA.

als de tweede neer worden berekend. De sterkere verbreding en dus lagere snelheid van de berekende straal langs het deflectieschot heeft als gevolg dat vooral de tweede neer wat te zwak berekend wordt. Hetzelfde wordt gevonden bij de andere vijf varianten, zowel bij een open als bij een geperforeerd duikschot. Soms heeft de lagere snelheid van de berekende straal een wat kortere neer achterin de nabezinktank ten gevolge. Het gebruik van een aangepast rooster waarin het deflectieschot niet als trapjeslijn gemodelleerd wordt zal de modellering van de straal langs het schot verbeteren.

Conclusies

In het algemeen wordt de stroming in grote lijnen goed gemodelleerd, vooral wat betreft de plaats, lengte en sterkte van de eerste neer. De gemeten sterke wandstraal langs de bodem en langs een eventueel aanwezig deflectieschot verspreidde zich te snel in de berekeningen o.a. door het gebruik van een te grof rekenrooster.

Verfijning van het rooster en zonodig aanpassing aan het deflectieschot zal een betere berekening van de stroming ten gevolge hebben, wel ten koste van veel rekentijd. Loslating van de stroming van de bodem en daarmee vorming van een tweede neer achterin de nabezinktank werd bij de berekening niet gereproduceerd. De stroming achter een geperforeerd duikschot is principieel 3-dimensionaal en is met een 2-dimensionaal rekenmodel moeilijk te reproduceren. De gevolgdde modellering gaf bij de gebruikte perforatie een bevredigend resultaat. Op basis van de gevonden resultaten lijkt het aan te bevelen de modellering uit te breiden tot stroming met slib.

Literatuur

1. Bretscher, U., Krebs, P. and Hager, W. H. (1992). *Improvement of flow in final settling tanks*. Journal of Environmental Engineering 118(3), blz. 307-321.
2. Wouda, T. W. M., Rietema, K. and Ottengraf, S. P. P. (1977). *Continuous sedimentation theory (Effects of density gradients and velocity profiles on sedimentation efficiency)*. Chemical Engineering Science 32, blz. 351-358.
3. Wouda, T. W. M., Ottengraf, S. P. P. en Rietema, K. (1978). *De theorie van continue sedimentatie*. H₂O (11) 1978, nr. 20, blz. 456-464.
4. Booij, R. (1992). *Collegedictaat b82: Turbulentie in de waterloophkunde*. Faculteit der Civiele Techniek, TU Delft.
5. Valloulis, I. A. and List, E. J. (1984). *Numerical simulation of a sedimentation basin (Design application)*. Environ. Sci. Technol. 18, blz. 248-253.
6. Abdel-Gawad, S. M. and McCorquodale, J. A. (1985). *Numerical simulation of rectangular settling tanks*. Journal of Hydraulic Research 23(2), blz. 85-100.
7. Krebs, P. (1991). *The hydraulics of final settling tanks*. Wat. Sci. Tech. 23, blz. 1037-1046.
8. Botsch, B. (1990). *Runde Absetzbecken mit Schlammräumern*. Abwasserreinigung 37, blz. 770-777.
9. Melis, L. M. M. (1991). *Optimalisering van grote nabezinktanks: Mathematisch model voor de waterbeweging*. Intern rapport nr. 7 van de Vakgroep Gezondheidstechniek en Waterbeheersing, TU Delft.



Robinia aanplant op waterwinterrein als alternatief voor tropisch hardhout

Eind april werd op het terrein rond het drinkwaterpompstation 'Velddriel' in de Bommelerwaard een nieuw bos aangeplant met een oppervlakte van bijna 4 hectare. De hoofdboomsoort in dit bos is de robinia, beter bekend als de witte of valse acacia. Het bos is eigendom van de Waterleiding Maatschappij Gelderland (WMG) en het wordt aangeplant in samenwerking met Stichting Robinia uit Wageningen.

De aanplant heeft plaatsgevonden in het kader van het beleid van de WMG, dat erop is gericht om het grondgebruik in waterwingebieden te extensiveren. Dit houdt in dat, met het oog op een optimale grondwaterbescherming, de traditionele teelt van landbouwgewassen zo veel mogelijk wordt vervangen door alternatieve gebruiksvormen. Voor de uitvoering van dit project heeft de WMG in de Stichting Robinia een gelijkgestemde partner gevonden. Stichting Robinia houdt zich onder meer bezig met het zoeken naar milieuvriendelijke alternatieven voor tropisch hardhout en op milieubelastende wijze verduurzaamd naalddhout, het bekende gewolmaniseerde of gecreosoteerde tuin- en paalhout.

Het is mogelijk om in Nederland houtsoorten te telen die kwalitatief zijn te vergelijken met verschillende tropische hardhoutsoorten zoals merbau en bangkirai; voorbeelden hiervan zijn de robinia en tamme kastanje. In het project bij pompstation 'Velddriel' bestaat de hoofdbeplanting behalve uit robinia uit de boomsoorten zoete kers, tamme kastanje en linde. De randbeplanting wordt gevormd door onder andere gelderse roos en hazelaar. Tenslotte wordt het hele perceel ingezaaid met witte klaver.

Met de beschreven aanplant worden de volgende doelen bereikt:

- vastlegging van CO₂;
- milieuvriendelijk grondgebruik (geen kunstmest en bestrijdingsmiddelen);
- productie van duurzaam paalhout (robinia, tamme kastanje);
- productie van waardevol zaaghout (robinia, zoete kers);
- verhogen van de natuurwaarde.

Hiermee hopen de WMG en de Stichting Robinia met een goede bescherming voor het grondwater tevens een bijdrage te leveren aan een schoner en beter milieu. (Persbericht WMG)