

Expertstelsysteem voor optimale planning en ontwerp van rwzi's

Inleiding

In de afgelopen 20 jaar is in Nederland hard gewerkt om de gevolgen van lozingen van afvalwater voor de kwaliteit van het ontvangende oppervlaktewater te verminderen. Dit resulteerde in de plaatsing van enkele honderden rioolwater-zuiveringsinstallaties (rwzi's) in ons land.

In de toekomst zullen in Nederland waarschijnlijk nog slechts weinig nieuwe zuiveringsinstallaties worden gebouwd.



IR. E. C. DOEKEMEIJER
Vakgroep Waterzuivering,
Landbouwwuniversiteit
Wageningen



DR. IR. A. KLAPWIJK
Vakgroep Waterzuivering,
Landbouwwuniversiteit
Wageningen

De bestaande rwzi's zullen echter bijvoorbeeld vanwege de leeftijd, een te lage capaciteit of vanwege het niet kunnen voldoen aan strengere normen ten aanzien van stikstof en/of fosfaat uitgebreid of gerenoveerd moeten worden.

Bij de planning van renovaties en uitbreidingen bij zowel bestaande rwzi's als bij nieuwe kleinschalige zuiveringsinstallaties ten behoeve van de zogenaamde 'Individuele behandeling van afvalwater', is een afweging tussen een aantal factoren noodzakelijk.

Deze factoren zijn:

1. Investerings- en operationele kosten;
2. Primaire milieueffecten (zuiveringsrendement van de verschillende methoden);
3. Secundaire milieueffecten (stankoverlast voor directe omwonenden, slibproductie) en eventuele daaruit voortvloeiende overheidsmaatregelen;
4. Ruimtebeslag;
5. Stabiliteit en betrouwbaarheid;
6. Uitbreidingsmogelijkheden;
7. Kennis, die door de verschillende technieken aan de bouwer, maar vooral aan de operator wordt gevraagd.

Voor de bepaling van de optimale zuiveringsmethode en de optimale locatie(s), is het noodzakelijk, dat alle bovengenoemde factoren in een integrale benadering worden beoordeeld. In het verleden is deze integrale benadering niet altijd uitgevoerd als gevolg van het ontbreken van kennis over een aantal van deze factoren en het volgen van een

Samenvatting

Voor de zuivering van afvalwater staan vele verschillende technieken ter beschikking. Welk alternatief optimaal is, hangt af van diverse randvoorwaarden zoals investerings- en operationele kosten, zuiveringsrendementen van de verschillende zuiveringstechnieken, het omringende milieu etc. De afweging, die op basis van deze randvoorwaarden geschiedt, is echter zeer complex en vraagt een grote hoeveelheid kennis.

Expertsystemen vormen een nieuwe categorie geautomatiseerde instrumenten, die het gebruik van grote hoeveelheden kennis minder gecompliceerd maakt. Door de vakgroep Waterzuivering van de Landbouwwuniversiteit te Wageningen is een voorstudie uitgevoerd met het oog op de vraag welke expertsystemen ten behoeve van de zuivering van afvalwater reeds bestaan en of de ontwikkeling van een expertstelsysteem voor optimale afweging van zuiveringstechnologieën zinvol is. Uit de resultaten is gebleken, dat een dergelijk expertstelsysteem niet bestaat, doch dat de ontwikkeling ervan haalbaar lijkt binnen een periode van vier jaar. Tevens blijkt er bij water- en zuiveringsschappen een grote behoefte te bestaan aan een dergelijk beleidsinstrument.

ontoereikende methodiek.

In het verleden werd namelijk de beschikbare kennis, die nodig was voor de oplossing van een probleem, op papier verzameld en bewerkt. De handmatige be- en verwerking op papier van data en gegevens van bestaande installaties, die vaak nodig zijn voor de bepaling van de 'optimale' oplossing, werd geleidelijk moeilijker, naarmate meer gegevens ter beschikking kwamen.

Vanaf het begin van de jaren zeventig is om deze redenen gebruik gemaakt van computers. De computers, die worden gebruikt voor de verwerking van data en voor het gebruik van simulatiemodellen, zijn echter tot op heden alleen uitgerust met programma's voor de verwerking van *getallen*. Dit houdt in, dat alleen kwantificeerbare kennis kan worden toegepast. Niet-kwantificeerbare kennis kan dus niet worden ingebracht omdat de computer niet is uitgerust met 'gereedschap' om deze kennis te gebruiken.

Een voorbeeld van *kwantificeerbare kennis* luidt:

als: $x + y = z$, $z + y^2 = a$ en $b = \sqrt{a}$;
stel: $x = 2$ en $y = 3$;
dan: $z = 5$, $y^2 = 9 \rightarrow a = 14 \rightarrow b = 3,74$.

Een voorbeeld van *niet-kwantificeerbare kennis* luidt:

'Als iemand zich niet wel voelt, dan moet hij de lichaamstemperatuur opnemen';
'Als de temperatuur boven 40 °C ligt en hij zonder jas heeft buiten gelopen, dan heeft hij waarschijnlijk griep';
'Als de persoon griep heeft, dan kan hij beter thuis blijven en onder de wol kruipen'.

In de laatste jaren zijn nieuwe programma's en programmeertalen ontwikkeld, die het mogelijk maken ook niet-kwantifi-

ceerbare kennis in een computer onder te brengen. Deze programma's, zogenaamde *expertsystemen* genoemd, combineren de verwerking van getallen met de verwerking met (niet-kwantificeerbare) kennis.

Met behulp van de (in zogenaamde ALS/DAN-regels) in het expertstelsysteem opgeslagen kennis wordt aan de gebruiker van het expertstelsysteem de mogelijkheid verstrekt om 'op de stoel van een menselijke expert te gaan zitten' (in deze context kan de term 'kennisbibliotheek' worden toegepast). Het stelsysteem bevat namelijk dezelfde kennis, die ook door een menselijke expert wordt toegepast. Dit betreft kennis, die zowel via een opleiding, vakliteratuur en ervaring is opgedaan.

Het grote voordeel van een expertstelsysteem ten opzicht van een menselijke expert ligt in de grotere hoeveelheid kennis, die in het expertstelsysteem kan worden ondergebracht. Tevens kan een computer geen kennis over het hoofd zien of vergeten, mits de kennis op een juiste manier is ingevoerd. Verder wordt een geïntegreerd gebruik mogelijk van kwantificeerbare (data) en niet-kwantificeerbare kennis. Door de wijde verspreidheid van computers is het tenslotte mogelijk om de kennis, die oorspronkelijk slechts op één plaats aanwezig was (in het brein van de menselijke expert), door meer mensen te laten gebruiken. De gebruikers behoeven zelf geen expert te zijn. Doordat de kennis op een logische manier in het expertstelsysteem is ondergebracht en omdat het expertstelsysteem zichzelf kan verklaren, kan het zelfs een educatieve taak verzorgen. Een beperking van een expertstelsysteem ligt in de onmogelijkheid om nieuwe dingen te leren, terwijl een menselijke expert deze mogelijkheid van kennisverwerving wel bezit. Voor het up-to-date houden van

een eenmaal ontwikkeld expertsysteem is het dan ook noodzakelijk dat onderhoud (dat wil zeggen het evalueren van reeds in het expertsysteem aangebrachte kennis en het inbrengen van nieuwe kennis) regelmatig plaatsvindt.

Het optimaal plannen van (verbeteringen en uitbreidingen aan bestaande) water-zuiveringsinstallaties is een uiterst moeilijke zaak. Gezien de complexiteit van het optimaal plannen en de grote hoeveelheid kennis, die hiervoor wordt gevraagd, is een expertsysteem het aangewezen instrument om het een en ander mogelijk te maken.

De haalbaarheidsstudie

In februari 1988 is door de auteurs een project voorgesteld, waarbinnen een expertsysteem zou worden ontwikkeld voor een voorspelling en minimalisatie van de kosten, die zijn verbonden aan de zuivering van afvalwater, en rekening houdende met (de kwaliteit van) het milieu.

Vanaf september 1988 tot maart 1989 is een voorbereidende studie uitgevoerd, die gedeeltelijk werd gefinancierd door DBW/RIZA te Lelystad en waarbinnen een beantwoording van de volgende vragen centraal was gesteld:

1. Wat is de huidige situatie op het desbetreffende onderzoeksgebied en in het bijzonder met betrekking op de modellen en systemen, die al in de praktijk worden toegepast?

2. Wat is de doelstelling van het eventuele vervolgonderzoek en langs welke weg dient deze doelstelling te worden bereikt?

3. Wat zijn de wetenschappelijke en de praktische betekenis van het te ontwikkelen model c.q. expertsysteem?

Door een literatuurrecherche en interviews met informanten is via een beoordeling van reeds bestaande expert-systemen getracht om op bovenstaande vragen een antwoord te verkrijgen. Tenslotte is een naam voor het expertsysteem bedacht. Deze naam luidt: *OPTIE*, hetgeen betekent:

Optimale Manning van Technieken voor de zuivering van afvalwater In een Expertsysteem.

Het *doel* van *OPTIE* is de optimalisatie van de planning en van het ontwerp van zuiveringstechnische werken. Door een integrale aanpak van de problematiek rond uitbreiding en renovatie van water-zuiveringsinstallaties wordt het mogelijk om de werkelijk optimale oplossing te genereren. Hierbij wordt vooral gekeken naar een minimalisatie van de kosten met zo min mogelijk negatieve milieu-effecten [Doekemeijer, 1989].

Bovenstaande omschrijving van het voorgestelde doel van *OPTIE* is gebruikt als referentiekader voor de hierna besproken modellen en expertsystemen.

Resultaten

In *Nederland* heeft het Raadgevend Ingenieursbureau Witteveen+Bos te Deventer sinds een aantal jaren de beschikking over een zelf ontworpen geautomatiseerd systeem, waarmee de kosten van zuiveringstechnische werken voor huishoudelijk afvalwater zijn te berekenen en te voorspellen. Onder de 'kostenterm' vallen zowel de bouwkosten van een rwzi als de beheerskosten.

Tevens kan een toetsing plaatsvinden van eventuele verbeteringen aan een bestaande rwzi. Dit gebeurt door een intelligent gebruik van databanken in een personal computer, waarin gegevens uit begrotingen en zuiveringstechnische gegevens zijn ondergebracht. Door een selectieve toepassing van deze gegevens in simulatiemodellen kan voor een bepaalde probleemsituatie een kostenberekening plaatsvinden. Na een dergelijke simulatie van (de werking van) een zuiveringsinstallatie kan opnieuw worden gesimuleerd wat de invloed is van modificaties aan de installatie op de kosten en de zuiveringsefficiënties.

Naast de eerder genoemde data-banken en simulatiemodellen wordt gebruik gemaakt van dimensioneringsmodellen en de kennis van een 'expert'. Deze kennis is noodzakelijk voor een goed en verantwoord gebruik van de gegevens uit de data-bank en een toetsing van de resultaten van de computerberekening aan eventueel beschikbare praktijkgegevens.

Tenslotte heeft het ingenieursbureau onderzoek verricht naar de knelpunten bij de invoering van defosfatering bij (bestaande) zuiveringsinstallaties. Het betrof een algemene en beschrijvende studie, waarin de voordelen en nadelen, inclusief de kosten, van de verschillende alternatieven voor de verwijdering van fosfaat nader zijn onderzocht [Witteveen+Bos, 1988]. Met de resultaten van dit onderzoek is het mogelijk om 'algemene' doelstellingen van het (overheids-)beleid bij te stellen en/of te onderbouwen.

Met de resultaten van dit onderzoek kunnen echter geen problemen op micro- of meso-niveau worden opgelost. Dat wil zeggen, dat afzonderlijke zuiverings-schappen op basis van deze resultaten geen beslissing kunnen formuleren omtrent het 'optimale' zuiverings-alternatief. Dit laatste is alleen mogelijk, wanneer de resultaten op een juiste

manier door een expert worden geïnterpreteerd.

Het Raadgevend Ingenieursbureau DHV te Amersfoort is op het moment werkzaam aan de ontwikkeling van een zogenaamd 'bouwkostenmodel'. Dit model zal de bouwkosten moeten voorspellen van een (nieuwe) zuiveringsinstallatie, voordat de systeemkeuze is gemaakt [DHV, 1987]. Dit houdt in, dat nog voor een beslissing heeft plaats gevonden omtrent de toe te passen zuiveringstechnologieën en bijbehorende dimensionering, al een indruk van de bouwkosten van een zuiveringsinstallatie kan worden gegeven.

Het model bevindt nog in een pril ontwikkelingsstadium; inmiddels is gestart met de ontwikkeling van een voorbeeldsysteem (prototype), dat betrekking heeft op slibontwatering met zeefbandpersen [DHV, 1988].

Tijdens een bezoek aan diverse instellingen in Ontario in *Canada* is gebleken, dat in dat land het onderzoek naar en de ontwikkeling van expertsystemen voor waterzuiveringstechnologie zich in een verder gevorderd stadium bevindt dan in *Nederland*.

Zo wordt al vanaf het eind van de jaren zeventig door McMaster University (Hamilton, Ontario) in samenwerking met het Waste Water Technology Centre (Burlington, Ontario), met succes getracht expertsystemen te ontwikkelen. In die periode zijn inmiddels drie expertsystemen ontwikkeld [Patry, 1987]. Het eerste expertsysteem is ontwikkeld voor de operationele besturing en de diagnose van een rwzi en is getiteld: *DASP* (Diagnosis Activated Sludge Process). Een operator kan het expertsysteem consulteren, waarna het expertsysteem in staat is tot het geven van oplossingen bij – door de plantoperator gesignaleerde – zuiveringstechnische problemen. Via zintuiglijke en/of microscopische waarnemingen kan de operator problemen doorgeven aan het expertsysteem. Vanuit de opgeslagen kennis kan het expertsysteem dan een oplossing met een bepaald waarschijnlijkheidspercentage aandragen.

Wanneer door de operator bijvoorbeeld schuim op de aëratietank wordt waargenomen, kan hij dit probleem voorleggen aan het expertsysteem.

Via een vraag en antwoord spel bepaalt het expertsysteem de aard van het schuim (kleur, geur), de plaats van de waarneming (aëratietank, nabezinker e.a.), waarna door het expertsysteem de oorzaak kan worden vastgesteld en eventuele

oplossingsalternatieven kunnen worden aangedragen [Gall and Patry, 1988]. Het tweede expertsysteem is getiteld: *LAISim*, hetgeen betekent: Integrated Artificial Intelligence/Simulation Model. Dit expertsysteem bestaat uit 3 onderdelen:

1. automatische monsternamen en analyse;
2. databank met opgeslagen analyse-resultaten uit het verleden en 'bibliotheek' met opgeslagen kennisregels;
3. simulatiemodellen.

In dit integrale systeem wordt de 'werkelijke wereld' (lees: de processen in een zuiveringsinstallatie) gevolgd via het nemen van monsters en automatische analyse daarvan. Via een databank met analyseresultaten uit het verleden worden de monsters doorgespeeld naar simulatiemodellen. Hiermee wordt een beschrijving gegeven van in de nabije toekomst al dan niet te verwachten problemen. Deze beschrijving wordt teruggekoppeld naar de bibliotheek met opgeslagen kennis.

Hier volgt een interpretatie van de simulatieresultaten. Indien op basis van deze kennis kan worden verondersteld, dat er problemen te verwachten zijn, wordt dit teruggekoppeld naar de operator. Deze kan dan de nodige maatregelen nemen teneinde deze problemen te voorkomen.

Via de automatische monsternamen kan de besturing van een zuiveringsinstallatie worden geoptimaliseerd. Met een DO-meter (Dissolved Oxygen) kan het gehalte aan opgelost zuurstof worden gemeten. Het resultaat wordt naar de databank gestuurd, waar wordt gecheckt of de gemeten waarde boven of beneden de ingestelde boven- resp. ondergrens ligt. Is dit laatste het geval, dan zal de beluchting automatisch worden geïnitieerd. Bij het bereiken van de bovenste grenswaarde wordt de beluchting automatisch weer uitgeschakeld.

Tijdens het verrichte onderzoek op praktijkschaal bij een actief-slibinstallatie is gebleken [Speirs, 1986], dat de automatische besturing van het gehalte aan opgelost zuurstof een besparing van 30% op de energiekosten kan bewerkstelligen ten opzichte van een handbediende installatie [Speirs and Stephenson, 1985]. In de komende jaren zal het onderzoek aan McMaster University zich voornamelijk richten op de verdere ontwikkeling van dit systeem.

Het derde expertsysteem, waarmee McMaster University zich heeft beziggehouden, is het 'plannings'-systeem *PDES* (Preliminary Design Expert System).

In twee jaar is een systeem ontwikkeld, waarmee een optimale systeemkeuze (=allocatie van zuiveringstechnieken) kan

worden gemaakt, met een minimalisering van de kosten als randvoorwaarde. Deze optimalisatie kan echter alleen worden uitgevoerd voor *nieuwe* zuiveringstechnische werken voor huishoudelijk afvalwater. Tijdens de optimalisatie wordt rekening gehouden met de specifieke voor- en nadelen van de verschillende zuiveringsalternatieven en de specifieke randvoorwaarden die voor een bepaalde zuiveringsinstallatie gelden [Gall and Patry, 1988].

In Engeland is door het Waste Water Research Centre (WRC) te Stevenage vanaf het midden van de jaren 70 gewerkt aan de ontwikkeling van een model, waarmee de beheers-, bouw- en proceskosten van grote zuiveringstechnische werken kunnen worden bepaald: het 'Sewage Treatment Optimization Model' (*STOM*) [Spearing, 1987].

Het model kan in twee standen worden gebruikt:

1. de 'fixed mode', waarin, door een vooraf vastgestelde systeemconfiguratie en vastgestelde ontwerpdimensionering, de kosten kunnen worden berekend of voorspeld;
2. de 'optimization mode', waarin door de vaststelling van de systeemconfiguratie en door een automatische wijziging van de ontwerpdimensies van de installatie, een optimalisatie mogelijk is naar minimale kosten.

Voor het model is veel aandacht besteed aan de slibverwerkingsproblematiek. Het 'simulatiemodel' voor de kosten, verbonden aan het transport van slib, is door WRC voor de regionale overheden apart ontwikkeld. Dit is veroorzaakt door grote regionale verschillen tussen de zuiveringsdistricten onderling. De (simulatie-)modellen, die worden gebruikt voor de beschrijving van (de kosten van) de verschillende processen, zijn 'steady state' modellen. Deze modellen beschrijven toestanden van gemiddeld evenwicht en zijn er niet op gericht om een dynamisch beeld te verschaffen van de werking en kosten van een zuiveringsinstallatie.

Als grote nadelen van *STOM* gelden de ouderdom, de slechte beschrijving van nitrificatie, de slechte toepasbaarheid van *STOM* voor kleine waterzuiveringsinstallaties en het ontbreken van een 'defosfateringsmodule'. Mede om deze redenen zijn de lokale waterkwaliteitsbeheerders (de zogenaamde Thames Water Authorities) een eigen versie van *STOM* gaan ontwikkelen.

Als gevolg van grote belangstelling van overheidszijde voor het toepassen van automatische procescontrole voor een

kostenreductie (voor DO en Mixed Liquors) bij het bedrijven van een (grote) zuiveringsinstallatie, wordt door het WRC geprobeerd om een aanvullend zogenaamd '*PERFORMANCE model*' te ontwikkelen. Het *PERFORMANCE model* bevindt zich nog in een ontwikkelingsstadium, aangezien pas begin 1988 met het onderzoek is gestart.

Het *PERFORMANCE model* is voornamelijk de berekening toegedacht van 'operating costs' (proceskosten). Tevens evalueert dit model de werking van een installatie en van de toegepaste technieken en moet het in de toekomst de mogelijkheid bieden om bepaalde prestatie- en/of kosten-doelen te simuleren. In tegenstelling tot het *STOM*-model maakt het *PERFORMANCE model* gebruik van dynamische modellering.

Ten slotte heeft WRC een expertsysteem ontwikkeld voor de bepaling van de meest kosten-effectieve systeemconfiguratie voor kleine pompstations ten behoeve van de drinkwatervoorziening. Dit expertsysteem is getiteld: *FACS* (Flowsheeting And Costing System for small water supplies) [Warden, 1985].

In het systeem zijn circa 100 mogelijke systeemconfiguraties ondergebracht. De gebruiker elimineert via de beantwoording van een aantal door het expertsysteem gestelde vragen een groot aantal alternatieven.

voorbeeld

stel: 100 mogelijke systeemconfiguraties 'is op een bestaand station al een goede pomp en servicegebouw aanwezig?'; stel de gebruiker antwoordt met 'ja'; het expertsysteem zal de alternatieven, waar rekening is gehouden met de plaatsing van een nieuw gebouw en/of pomp elimineren. Er blijven nu nog bijvoorbeeld 70 alternatieven over.

Na afloop van dit vraag- en antwoord-spel zullen in de meeste gevallen minder dan 10 alternatieven resterend. Deze alternatieven verschijnen op de monitor inclusief verwachte prijzen met een boven- en ondergrens.

Door het invoeren van enkele site-specifieke randvoorwaarden (hoe vaak wordt het pompstation bezocht, hoe groot is het specifieke debiet, hoe lang zijn de servicemensen gemiddeld per week bezig met onderhoud, hoe goed is de infrastructuur naar het station etc.) worden de boven- en ondergrens van de totale kosten van het pompstation bijgesteld. Uiteindelijk resulteert een nauwkeurige kostprijs van (de uitbreiding van) het pompstation.

Naast de ontwikkeling van een eigen STOM-model zijn de Thames water Authorities een expertsysteem aan het ontwikkelen voor kostenminimalisatie van waterzuiveringstechnologie. Op basis van gegevens over influent, effluent en slib(verwerking) kan een afweging plaatsvinden tussen diverse zuiverings-technologieën, terwijl tevens de werking en kosten van een bestaande installatie kunnen worden geëvalueerd. De ontwikkeling van een dergelijk expertsysteem is ingegeven, nadat positieve ervaringen waren opgedaan met de ontwikkeling van een voorbeeld-expertsysteem voor de optimale keuze tussen verschillende zuiveringsalternatieven [Bloodworth, 1988].

De Universiteit van Surrey in Guildford is als lid van de Water Industry Expert-systems Club (WIESC) vanaf september 1985 betrokken geweest bij de ontwikkeling van twee expertsystemen [Ahmad et al., 1988]:

1. Sewerage Rehabilitation Planning Expert System (SERPES);
2. Water Distribution Network Expert System (WADNES). SERPES is voornamelijk bedoeld om het hydraulisch gedrag van een zuiveringsinstallatie te volgen en te voorspellen.

WADNES heeft ook een hydraulisch karakter, maar is ontwikkeld voor ramp-situaties in het waterdistributienet van een middelgrote stad. WADNES identificeert die plek in het distributienet met de grootste kans 'om het lek te vinden', geeft voor-schriften voor oplossingsgerichte actie en implementeert deze actie.

In *Finland* wordt gewerkt aan de ontwikkeling van een expertsysteem voor het actief-slibproces. Dit expertsysteem moet de operator bijstaan bij 'externe bedreigingen'. Hierbij valt te denken aan aanvoer van toxische stoffen, snelle verhoging van de aanvoer etc. [Koskinen, 1988].

In *Zweden* wordt onderzoek gedaan naar expertsystemen en geavanceerde modellen, voornamelijk voor het actief-slibproces. Een en ander gebeurt in samenwerking met McMaster University in Canada.

In *Hongarije* heeft men zich geconcentreerd op de ontwikkeling van het IAWPRC Activated Sludge Model 1.

In *België* heeft men aan de Universiteit van Leuven een optimalisatieprogramma geschreven voor het kostenoptimaal ontwerpen van een zuiveringsinstallatie [Tyteca and Smeers, 1981].

In de *Verenigde Staten van Amerika* heeft men zich bij de Environmental Protecting

Agency (EPA) gewijd aan de bestudering en modellering van de gevolgen van (on)gezuiverde lozingen op het oppervlaktewater.

Door de Utah Water Research Lab. is speciaal voor oppervlaktewaterkwaliteits-beheer een gecombineerd 'simulatie/optimalisatie'-model ontwikkeld. Men heeft een stromingsmodel gekoppeld aan een model voor de minimalisatie van zuiveringskosten [Bishop and Grenney, 1976].

Phillips et al. [1980] hebben een studie uitgevoerd naar de ontwikkeling van een computermodel voor kostenoptimale planning van zuiveringsinstallaties in een bepaalde regio. Er is tevens bekeken in hoeverre een - regionaal gezien - optimale uitbreiding mogelijk is bij bestaande installaties.

Aansluitend op dit onderzoeksgebied hebben Pearson en Scherer [1981] onderzocht of tijdens de planning van uitbreidingen of vernieuwingen van bestaande installaties de plaatsing van enkele grote installaties kosten-optimaler is dan de plaatsing van vele kleine.

Discussie

Uit het oogpunt van het doel van het OPTIE-expertsysteem (Optimale Planning van Technieken voor de zuivering van afvalwater In een Expertsysteem) is het voor een onderbouwing van de ontwikkeling van OPTIE zinvol een aantal systemen nader samen te vatten en kenmerkende eigenschappen weer te geven. Deze systemen zijn:

1. verschillende simulatiemodellen. Het grote voordeel van integratie van kennis met rekenmodellen via de implementatie in een expertsysteem ten opzichte van de conventionele aanpak (gebruik en interpretatie van modellen door een menselijke expert) is al eerder ter sprake gekomen en zal daarom hier niet worden herhaald. De grote voordelen van OPTIE ten opzichte van simulatiemodellen zijn de grote principiële voordelen van een expertsysteem, zoals die reeds in de Inleiding ter sprake zijn gekomen (te weten: wijdere verspreiding van kennis, waardoor site-specifieke aanpak mogelijk wordt; integraal gebruik van simulatiemodellen met 'kennis', waardoor interpretatie van de resultaten ook door niet-experts mogelijk wordt).
2. STOM. Via de verkoop van floppy's met kennis en modellen zijn de Engelse waterkwaliteitsbeheerders in staat gesteld om inzicht te krijgen in de eigen, site-specifieke problemen.

STOM is modulair opgebouwd, hetgeen de doorzichtigheid vergroot en het onderhoud vereenvoudigt. Dit zijn belangrijke aspecten, die ook door het OPTIE-expert-

systeem moeten worden nagestreefd. STOM kan echter niet door Nederlandse overheden worden aangekocht, waardoor de ontwikkeling van een eigen systeem noodzakelijk wordt.

3. FACS. Het FACS-systeem van het Waste Water Research centre in Engeland is, hoewel het niet is ontwikkeld voor de zuivering van afvalwater, een goed voorbeeld van in het systeem aangebrachte gebruiksvriendelijkheid en de wijze, waarop door de gebruiker met de kennis in het expertsysteem wordt gecommuniceerd.

4. het 'PERFORMANCE'-model. Dit model is ontwikkeld voor de afweging tussen verschillende zuiveringsalternatieven. Het betreft echter een Engels model, waarvan de toepassingsmogelijkheden in Nederland nog onduidelijk zijn.

Tevens rest nog het specifieke nadeel van een model ten opzichte van een expertsysteem (te weten het hoge, van de gebruiker gevraagde, kennisniveau voor het gebruik van het model en de interpretatie van de resultaten ervan).

5. SERPES en WADNES. Beide expertsystemen zijn in een breder kader in opdracht van de overheid ontwikkeld. De resultaten van de ontwikkeling van de expertsystemen hebben de overheden overtuigd van het nut en het bestaansrecht van expertsystemen in het algemeen. De directe toepassingsmogelijkheden voor (de ontwikkeling van) het OPTIE-expertsysteem zijn echter vanwege de andere taakvelden afwezig.

6. PDES. Het systeem, dat het meest overeen zou komen met het OPTIE-expertsysteem is het Preliminary Design Expert System (PDES) van McMaster University in Canada. De ontwikkeling van een nieuw expertsysteem als OPTIE is zinvol, omdat PDES primair is ontwikkeld voor ontwerp en planning van *nieuwe* installaties voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater in *Canada*. Voordat een dergelijk expertsysteem in Nederland kan worden gebruikt, zal derhalve eerst een bijstelling naar de Nederlandse situatie moeten plaats vinden.

Tevens is PDES niet geschikt voor de afweging tussen uitbreidings- en renovatie-alternatieven. In de komende jaren zullen nog maar weinig nieuwe, grote zuiveringsinstallaties in Nederland gebouwd gaan worden. Veelal zullen vragen ontstaan naar kostenoptimale renovatie- en uitbreidingsalternatieven. Vanwege de niet in PDES opgenomen zuiveringsmethoden voor defosfatering zal het Preliminary Design Expert System in ieder geval hiermee moeten worden uitgebreid.

Toepassingsgebieden van het OPTIE-expertsysteem.

In gesprekken met enkele zuiveringschappen is duidelijk geworden dat men grote behoefte heeft aan een kennis-bevattende databank, waarvan men op een eenvoudige manier gebruik kan maken. De problemen waarvoor men zich geplaatst ziet, zijn uniform: verwijdering van fosfaat en stikstof, problemen rond de vorming van licht slib, stank- en geluids-overlast voor omwonenden etc. OPTIE zou voor al deze problemen kunnen bijdragen in het vinden van de optimale oplossing. Gezien de snelheid, waarmee de strenge wettelijke eisen van kracht zullen worden, is op dit moment de behoefte het grootst. Het is daarom aanbevelingswaardig dat zo spoedig mogelijk het OPTIE-expertsysteem wordt ontwikkeld.

Integrale afweging voor de bepaling van een optimale oplossing is niet iets dat alleen in de waterzuiveringstechnologie speelt. Tevens komt het tot uiting in:

- Milieu-Effect Rapportage (MER);
- waterkwantiteitsbeheer;
- beleid t.a.v. verwerking van vast afval, etc.

Na ontwikkeling van het OPTIE-expertsysteem lijkt een verdere uitbreiding voorhanden met aspecten van waterkwantiteitsbeheer. Zeker gezien de ontwikkeling van het beleid in de richting van 'Integraal waterbeheer' lijkt dit een wenselijke uitbreiding.

De structuur van OPTIE zal in principe te gebruiken zijn voor de andere toepassingsgebieden. De kennis van OPTIE zal in dat geval wel moeten worden aangepast.

Conclusies

Huidige situatie.

Een expertsysteem voor optimale afweging in de afvalwaterzuiveringstechnologie en zoals door de auteurs is voorgesteld, is nog niet ontwikkeld. De grote kracht van een dergelijk systeem ligt in het ter beschikking komen en logische structurering van grote hoeveelheden kennis, waarmee ook locale problemen bij afzonderlijke zuiveringschappen *optimaal* kunnen worden opgelost.

(Inter-)nationaal gezien zijn vooral modellen geformuleerd voor simulatie van zuiveringsprocessen of voor berekening van kosten, verbonden aan de zuivering van afvalwater. Vanwege het eenzijdige karakter van dit soort systemen vindt geen integrale afweging plaats, waardoor geen optimale oplossing kan worden vastgesteld.

Praktisch belang.

Uit de gesprekken met externe informanten is gebleken, dat waterkwaliteitsbeheerders in de praktijk een integrale aanpak van problemen ten aanzien van zuiveringstechnologie willen gaan toepassen.

De zuiveringsschappen zien zich in de komende jaren geconfronteerd met strengere wettelijke eisen. Deze wettelijke eisen hebben betrekking op de kwaliteit van het effluent (gehalten aan fosfaat, zware metalen etc.), maar ook op de bedrijfsvoering (minder productie van lawaai, stank, slib etc.).

Om tot een optimale afweging te komen hoe men aan de wettelijke eisen kan voldoen, ontbeert men momenteel een instrument waarmee een integrale afweging mogelijk wordt. Het OPTIE-expertsysteem zou derhalve in een grote behoefte voorzien.

Wetenschappelijk belang

Uit gesprekken met diverse interne begeleiders lijkt het wetenschappelijk belang van het onderzoek voornamelijk te liggen in het ontwerpen van een expertsysteem waarin een integratie van de volgende betrokken onderzoeksdisciplines plaats vindt:

- waterzuiveringstechnologie;
- operationele analyse en optimaliseringstechnieken;
- milieu-economie.

Realiseerbaarheid

In diverse gesprekken met onderzoekers en mensen uit de praktijk is gebleken, dat het doel van het voorgestelde expertsysteem haalbaar lijkt in een periode van vier jaar. In dit kader kan worden vermeld, dat voor de ontwikkeling van het voorgestelde OPTIE-expertsysteem gebruik kan worden gemaakt van het PDES-expertsysteem, dat door McMaster University is ontwikkeld voor een kostenoptimale planning van nieuwe zuiveringsinstallaties voor huishoudelijk afvalwater.

Verantwoording

Dit onderzoek is mede gefinancierd door DBW/RIZA te Lelystad.

Literatuur

Doekemeijer, E. C. (1989). *Rapport haalbaarheidsstudie optimalisatiemodel zuiveringstechnologie*. Landbouwniversiteit Wageningen, vakgroep Waterzuivering, Wageningen, januari 1989, 56 p. + bijlagen.
Witteveen + Bos (1988). *Knop punten bij de invoering van defosfatering*. Witteveen + Bos Raadgevende Ingenieurs, werk no. Lls. 65. 1. BS/38, Deventer, december 1988, 61 p. + bijlagen.
DHV (1987). *Voorstel voor een proefproject inzake de ontwikkeling van een bouwkosten-informatiesysteem*. Concept, DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV,

rapportnr. : 4-5101-06-01, Amersfoort, september 1987.

DHV (1988). *Proefproject Bouwkosteninformatiesysteem*. Tussenrapportage/gespreksnotitie, DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV, Amersfoort, augustus 1988.

Patry, G. G. (1987). Dynamic Modelling and Expert Systems in Waste Water Engineering. In: Chapman, D. (Ed.). *Waste Water Technology Centre newsletter*. No. 9, November 1987, Burlington, Ontario, Canada.

Gall, R. A. B. and Patry, G. G. (1988). *Knowledge-Based Systems in Waste Water Engineering*. McMaster File No. 5-52618, DSS Project: KE405-7-6012/01-SE, McMaster University, Department of Civil Engineering, Hamilton, Ontario, Canada, October 1988, 113 p.

Speirs, G. and Stephenson, J. P. (1985). 'Operational Audit Assist Plant Selection For Demonstration Of Energy Savings And Improved Control', reprint from *Proceedings of 4th specialized IAWPRC Conference 'Instrumentation and Control of water and Waste Water Treatment and Transport Systems'*, pp. 457-464, Houston, USA, 1985, Pergamon Press, Oxford and New York, 1985.

Speirs, G. (1986). Project Update: Automated process Control The Tillsonburg Demonstration. In: Chapman, D. (Ed.). *Waste Water Technology Centre Newsletter*. No. 4, August 1986, Burlington, Ontario, Canada.

Spearing, B. W. (1987). Sewage Treatment Optimisation Model - STOM - the sewage works in a personal computer. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*. Part 1, vol. 82, December 1987, pp. 1145-1164.

Warden, J. H. (1985). *FACS: A Flowsheeting And Costing System for small water supplies*. WRc Processes, reportnr. 389-S, Stevenage, Great Britain, 8 p.

Bloodworth, J. (1988). *Review of the Sewage Treatment Process Expert System project*. Thames Water Operational Research, Ref. : OR/STWEXPERT/04, Great Britain.

Ahmad, K., Holmes-Higgin, P. R., Hornsby, C. P. W. and Langdon, A. J. (1988). Expert systems for planning and controlling physical networks in the water industry, *Knowledge-Based Systems*, Vol. 1, no. 3, pp. 153-165, June 1988, Butterworth & Co (Publishers) Ltd., Great Britain.

Koskinen, K. (1988). *Expert system as a top level controller for activated sludge process*. Letter to G. Patry, 20 October 1988, previously presented as a poster in juli 1988, Brighton, Great Britain, 4 p.
Tytca, D. and Smeers, Z. (1981). Nonlinear programming Design of Waste Water Treatment Plant. *Journal of the Environmental Engineering Division*. Proceedings of the American Society of Civil Engineers ASCE, vol. 107, No. EE4, August 1981, pp. 767-779.

Bishop, A. B. and Grenney, W. J. (1976). Coupled Optimization Simulation Water Quality Model. *Journal of the Environmental Engineering Division*. Proceedings of the American Society of Civil Engineers ASCE, vol. 102, no. 5, October 1976, pp. 1071-1086.

Phillips, K. J., Kellogg, S. R., Beltrami, E. J. and Carroll, T. O. (1980). Least-cost optimization for areawide (208) wastewater management using mixed integer programming, *Proceedings of the 10th International Conference of the IAWPR*, Toronto, Ontario, Canada, June 23-27 1980, pp. 991-1010, Pergamon Press Ltd., Great Britain.

Pearson, F. and Scherer, C. R. (1981). O&M Costs and Optimal Capacity Expansion. *Journal of the Environmental Engineering Division*. Proceedings of the American Society of Civil Engineers ASCE, vol. 107, No. EE4, August 1981, pp. 619-633.

● ● ●