

# Model voor regeling voor snelle zandfilters

IR. J. GROENNOU, NV KIWA ONDERZOEK EN ADVIES

IR. J. KAPPELHOF, NV KIWA ONDERZOEK EN ADVIES

IR. H. VAN GINNEKEN, TU DELFT

DR. R. BABUSKA, TU DELFT

*Aan de hand van metingen aan een proeffilter van het Waterbedrijf Groningen heeft Kiwa een model ontwikkeld, waarmee het mogelijk is een ontwerp te maken voor een regeling voor een snel zandfilter binnen één looptijd. De regeling moet ervoor zorgen dat de gemiddelde ijzerconcentratie van het effluent onder een bepaalde maximale waarde blijft. De onderzoeksresultaten laten zien dat het model goed voorspelt en goed inzicht geeft in de werking van het filter, afhankelijk van de situatie. Tijdens het AIRTC-symposium in Grand Canyon (USA) zijn de resultaten gepresenteerd.*

Snelle zandfilters worden al sinds de vorige eeuw gebruikt voor het zuiveren van grondwater. Hoewel het op die manier geproduceerde drinkwater van uitstekende kwaliteit is, bestaan nog enkele problemen met zandfilters. Die houden verband met te hoge ijzerconcentratie in het effluent en hoog verbruik van gezuiverd water (voor het spoelen van de filters).

Bij de metingen aan het proeffilter van Waterbedrijf Groningen zijn filtratiesnelheid, looptijd, het moment van spoelen en de spoelprocedure gevarieerd. Aangezien het moment van spoelen en de spoelprocedure slechts in beperkte mate gevarieerd zijn, heeft Kiwa zich beperkt tot het ontwikkelen van een model voor een regeling binnen één looptijd (een zogenaamde korte termijn regeling).

De ijzerconcentratie in het effluent wordt beïnvloed door de filtratiesnelheid, de looptijd, de standtijd van het filtermateriaal en de ijzerconcentratie in de instroom. De filtratiesnelheid, het moment van spoelen en de spoelprocedure - opgesplitst in snelheid van spoelwater, snelheid van spoellucht en tijdsduur ervan - zijn gebruikt als stuurvariabelen voor het opzetten van een regeling.

Een regeling voor het optimaal gebruik van een snel zandfilter moet verschillende taken kunnen uitvoeren, zoals het bijregelen van de bedrijfsvoering als antwoord op langzame veranderingen en het reageren op snelle (tijdelijke) veranderingen.

Als de stationaire bedrijfsvoering gegeven is hoeft het systeem in principe alleen nog maar te reageren op veranderingen die optreden ten opzichte van de stationaire toestand. Een voorbeeld van langzame veranderingen is een veranderende kwaliteit van het grondwater. Als de ijzerconcentratie in de instroom verandert, kan het zijn dat de spoeling niet meer optimaal is. Een regeling kan hierop inspelen door de looptijd of de spoelprocedure aan te passen die maar eens per looptijd gewijzigd kunnen worden. Een voorbeeld van snelle veranderingen is een hogere of lagere vraag, bijvoorbeeld als gevolg van het schoonmaken van een naastliggend filter. Een regeling kan hierop inspelen door de filtratiesnelheid te veranderen.

## Effecten op korte termijn

Bij de huidige bedrijfsvoering wordt de filtratiesnelheid veelal bepaald door de vraag naar water en wordt geen rekening gehouden met de toestand van het filterbed. Als een prognose voor de vraag voor een bepaalde tijdsduur bekend is, moet het mogelijk zijn de filtratiesnelheid zo te kiezen dat de gemiddelde ijzerconcentratie in het effluent, rekening houdend met de toestand van het filter, geminimaliseerd wordt.

Deze omstandigheden maken een regeling gebaseerd op voorspellingen uitgaande van een model van het proces, voor de hand liggend. Met behulp van een model worden de stuurvariabelen zo ingesteld dat de uitgang zo

goed mogelijk aan een referentie-functie voldoet. In het specifieke geval van het filter betekent dit dat de filtratiesnelheid zo gepland wordt dat het verloop van de ijzerconcentratie in het effluent minimaal is. Met behulp van de prognose van de vraag wordt de gemiddelde filtratiesnelheid vastgesteld. Door met een model de ijzerconcentratie te voorspellen voor de gehele looptijd is het mogelijk om het meest optimale verloop voor de filtratiesnelheid te vinden. Dit kan betekenen dat de filtratiesnelheid niet steeds gelijk is aan maar gemiddeld wel even groot is als de vraag.

## Modellering van het filter

Om een goede regeling te ontwerpen op basis van het geschetste principe is het noodzakelijk een model voor de ijzerconcentratie in het effluent te ontwikkelen waarbij een evenwicht gevonden moet worden tussen de nauwkeurigheid en de complexiteit ervan. Een te complex model is vaak ondoorzichtig en onhandig in het onderhoud; een te eenvoudig model daarentegen zal geen nauwkeurige voorspellingen kunnen geven. Aangezien het filtratieproces zeer complex is (meerdere processen lopen door elkaar heen), is het niet mogelijk een mechanistisch model te maken op basis van kennis van het proces. Als alternatief kunnen technieken gebruikt worden die alleen meetwaarden van het proces gebruiken. Als de ingangs- en uitgangswaarden bekend zijn, is het mogelijk een model op te stellen gebaseerd op deze meetwaarden.

Om het filtratieproces met behulp van een model te beschrijven zijn voldoende en goede gegevens nodig. Met dit doel zijn bij het Waterbedrijf Groningen gedurende drie weken metingen gedaan aan een proeffilter. Hierbij zijn zowel de filtratiesnelheid als, zij het in zeer beperkte mate, de looptijd als de spoelprocedure veranderd. Gemeten zijn troebelheid van het effluent en filtratiesnelheid. Troebelheid wordt in plaats van ijzerconcentratie gemeten omdat troebelheid continu gemeten kan worden en omdat er een hele goede relatie bestaat tussen troebelheid en ijzerconcentratie.

In afbeelding 1 zijn de troebelheid en de filtratiesnelheid van de laatste dag van de tweede week afgebeeld. Deze afbeelding toont een verband tussen de filtratiesnelheid en de troebelheid. Elke snelheidsverandering wordt na enige tijd gevolgd door een verandering in de troebelheid. Aan de hand van berekeningen volgt dat de troebelheid ongeveer 11 minuten achterloopt.

De grootte en de richting van de snelheidsveranderingen spelen eveneens een belangrijke rol. Een grote positieve verande-

ring (zoals bij  $t=40$ ) heeft een enorme sprong in de troebelheid tot gevolg. Er is zelfs sprake van 'overshoot' voordat de troebelheid zijn uiteindelijke stationaire waarde bereikt. Bij negatieve snelheidsveranderingen (zoals bij  $t=85$ ) loopt de troebelheid veel langzamer terug.

Ook het verleden van het filter heeft een grote invloed. Bij de snelheidsveranderingen tussen  $t=75$  en  $t=125$  hebben twee sprongen, die beide tot ongeveer 4 m/h gaan, een ander effect op de troebelheid. Een mogelijke verklaring is dat tijdens de eerste snelheidsverhoging ijzervlokken, die los op de zandkorrels liggen, uit het filter gespoeld worden waardoor de troebelheid stijgt. Bij de tweede snelheidsverhoging zijn er minder instabiele ijzervlokken, waardoor er een minder hoge piek in de troebelheid volgt. De werking van het filter hangt dus af van de hoeveelheid ijzervlokken in het filter die gelijk is aan het verschil tussen de hoeveelheid aangevoerd ijzer ( $Fe_{in}$ ) en de hoeveelheid afgevoerd ijzer ( $Fe_{uit}$ ).

Als ook de troebelheid in het verleden als ingang gebruikt wordt, zijn de elementen van de ingangen zoals weergegeven in tabel 1.

Aangezien de troebelheid 11 minuten achterloopt op de filtratiesnelheid en verder geen dynamica verondersteld wordt, kan het proces als volgt beschreven worden:

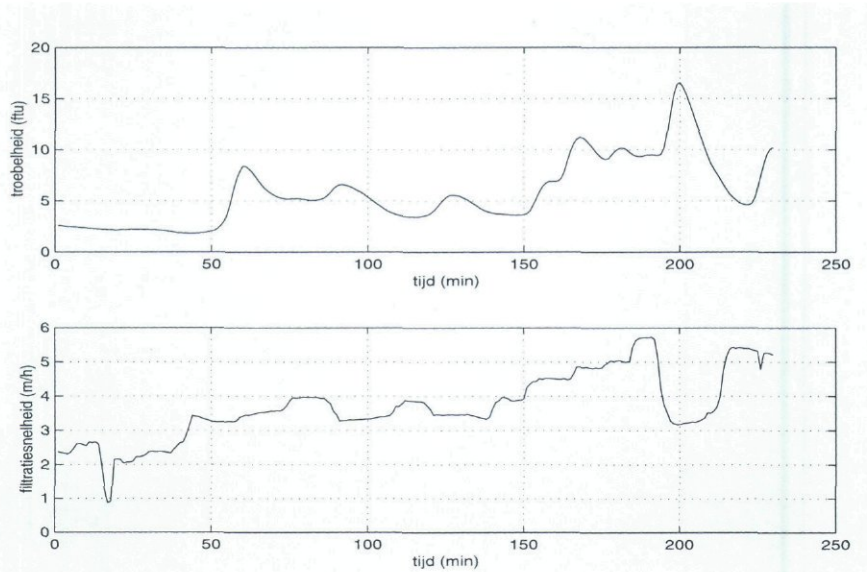
$$T_t = \int (t_{t-11}, v_{t-11}, dv_{t-11}, (Fe_{in})_{t-11}, (Fe_{uit})_{t-11})$$

waarbij  $T_t$  de waarde voor de troebelheid op tijdstip  $t$  is.

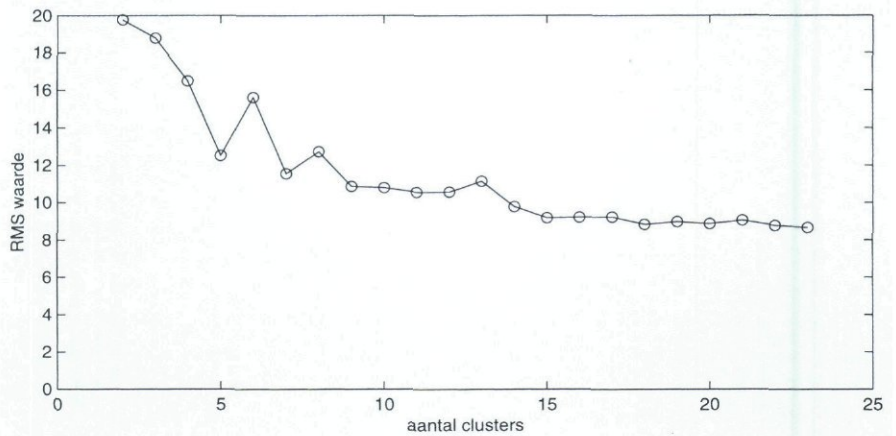
Omdat geen mechanistisch model van het proces beschikbaar is ligt het voor de hand een modelstructuur te kiezen die flexibel is. Aan de hand van een onderwerp, waarbij gekeken is naar zowel lokale lineaire modellen als globale niet-lineaire modellen, is gekozen voor lokale lineaire modellen. Dit zijn modellen die uit meerdere sub-modellen bestaan die elk het proces stuksgewijs lineair benaderen. Een voorbeeld van lokale lineaire modellen zijn de Takagi-Sugeno modellen (1985). Dit type modellen heeft een duidelijke en doorzichtige structuur, die gemakkelijk te begrijpen en te interpreteren is.

De identificatie van de lokale lineaire modellen is verdeeld in twee stappen (Babuska, 1996):

- Bepalen van de locaties van de sub-modellen. Dit geschiedt aan de hand van het clusteren van de meetwaarden van de ingangen en de uitgang of met behulp van eenvoudige kennis van het model
- Schatten van de parameters van de sub-



Afb. 1 Troebelheid en filtratiesnelheid tijdens handmatige snelheidsvariëaties.



Afb. 2 RMS-waarde van het TS-model afhankelijk van het aantal clusters.

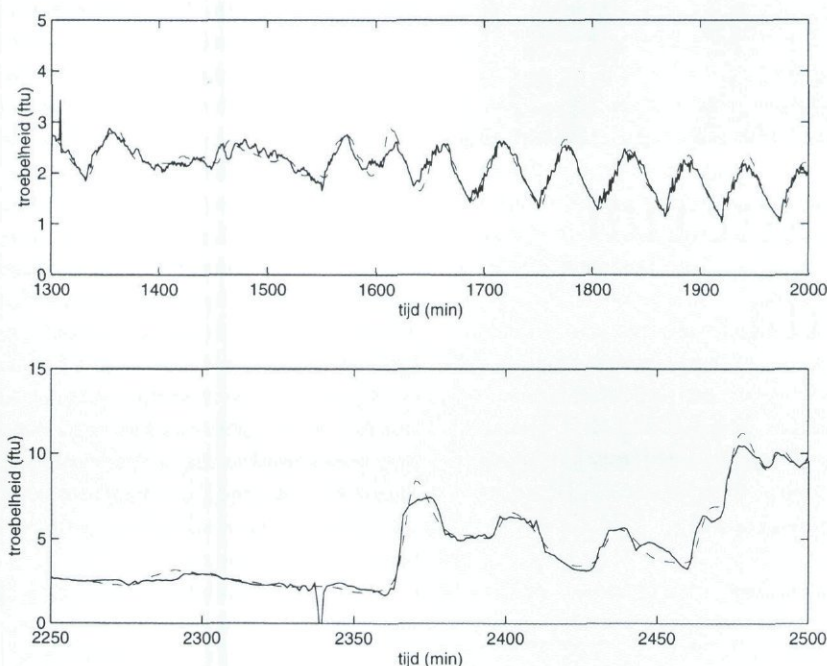
modellen. Nadat de locaties bepaald zijn kunnen de parameters van de afzonderlijke lineaire sub-modellen uit de data geschat worden.

### Resultaten van het model

De keuze van het aantal clusters is gedaan aan de hand van de RMS-waarde van de modeluitgang die een maat is voor de afwijking van het model ten opzichte van de meetwaarden (hoe lager de RMS-waarde, des te beter het

Tabel 1 Ingangsvariabelen voor de modellen van een snel zandfilter.

Ingangsvariabele	Symbol
Troebelheid van het filtraat	$T$
Filtratiesnelheid	$v$
Verandering van de filtratiesnelheid	$dv$
Hoeveelheid aangevoerd ijzer	$Fe_{in} = \int v \cdot dt$
Hoeveelheid afgevoerd ijzer	$Fe_{uit} = \int T \cdot v \cdot dt$



Afb. 3 Output voor de trainingsset van het TS-model met vijf clusters (boven: interval met nagenoeg constante snelheid, onder: interval met sterk wisselende snelheid. Doorgetrokken lijn: model-output, onderbroken lijn: trainingsdata).

model bij de meetwaarden past). Het gevolg van de keuze van het aantal clusters op de RMS-waarde is te zien in afbeelding 2.

Uit afbeelding 2 volgt dat een groter aantal clusters in het algemeen een beter model geeft. Als het aantal clusters toeneemt, wordt de verbetering van de fout echter kleiner. Op grond hiervan, en omdat de voorkeur uitgaat naar een eenvoudig model, is gekozen voor een model met slechts vijf clusters. In afbeelding 3 is de voorspelling van dit model samen met de meetwaarden weergegeven. Het model voorspelt de veranderingen in de troebelheid vrij goed.

### Interpretatie resultaten

Uit de analyse van de lokale sub-modellen (Van Ginneken, 1998) blijkt dat verschillende clusters gebruikt worden om het gebied vlak na het spoelen, het gebied met vrijwel constante filtratiesnelheid en het gebied met grotere variaties in de filtratiesnelheid te modelleren. Omdat hierbij gebruik wordt gemaakt van lokale sub-modellen voor specifieke situaties, kunnen de gevolgen van geringe en grotere snelheidsvariaties goed gevolgd worden. De invloed van de filtratie-snelheid op de troebelheid is, vlak na het spoelen, geringer dan in de rest van de looptijd. Wellicht komt dit

doordat vlak na het spoelen nog vrij veel spoelwater in het filter aanwezig is. Ook laten de daarin aanwezige ijzervlokken zich niet makkelijk afvangen. De hoeveelheid aan- en afgevoerd ijzer wordt in alle sub-modellen van elkaar afgetrokken, hetgeen erop duidt dat de toestand van het filter als zodanig wordt meegenomen.

### Bijstelling van het model

Het filtratieproces is niet onveranderlijk gedurende de levensduur van het filter. Zo

zullen, bijvoorbeeld als gevolg van aangroei van het filtergrind of verandering van spoel-procedure, de eigenschappen van het filter dusdanig veranderen dat een bijstelling van het model tijdens het bedrijf van het filter noodzakelijk is, om een betrouwbare voorspelling te geven. Omdat bij niet-lineaire processen de rol van de niet-lineariteit vaak niet verandert, kan dit het best gedaan worden door alleen de parameters van het model aan te passen.

### Conclusies en aanbevelingen

Uit het onderzoek is gebleken dat modellen, gebaseerd op lineaire sub-modellen, de troebelheid goed kunnen voorspellen. De modellen zijn daarom geschikt voor het opzetten van een regeling waarbij, zoals in dit geval, de vraag voor een bepaalde tijdsduur bekend is. Tevens geven de modellen inzicht in de werking voor specifieke situaties. De beschikbare meetwaarden zijn echter te eenzijdig om harde conclusies te kunnen trekken. Om voorspellingen te kunnen doen voor situaties waarbij de filtratiesnelheid meer gevarieerd wordt, moeten extra experimenten gedaan worden. Het is ook mogelijk dat andere variabelen de modellen kunnen verbeteren hetgeen in een vervolgonderzoek kan worden vastgesteld. Daarnaast moet worden nagegaan wat, vanuit economisch oogpunt gezien, het meest aantrekkelijk is: een eenvoudige regeling dan wel een regeling gebaseerd op bovenstaand model. ☐

### LITERATUUR

Babuska, R. (1997). 'Fuzzy modeling and identification', Technische Universiteit Delft.  
 Ginneken, H. van (1998). Geavanceerde regeling voor snelle zandfiltratie, Kiwa, Nieuwegein, SWI 98.142.  
 Takagi, T. and Sugeno, M. (1985). 'Fuzzy identification of systems and its application to modeling and control', IEEE Trans. systems, mans and cybernetics 15(1), 116-132.

## Dubbelnummers in de zomer

H<sub>2</sub>O komt in juli en augustus in een iets lagere frequentie uit. De nummers 14 en 15 worden samengevoegd. Dit dubbelnummer komt uit op 16 juli. De nummers 16 en 17 worden eveneens samengevoegd. Dat dubbelnummer komt uit op 13 augustus. Vanaf nummer 18 (3 september) komt H<sub>2</sub>O weer als vanouds om de twee weken uit. De kopij voor de beide dubbelnummers moet ongeveer twee weken van tevoren op de redactie binnen zijn.

- nr. 14/15 16 juli (kopijsluiting 2 juli)
- nr. 16/17 13 augustus (kopijsluiting 30 juli)
- nr. 18 3 september (kopijsluiting 20 augustus)