


Optimale besturing van ontharding

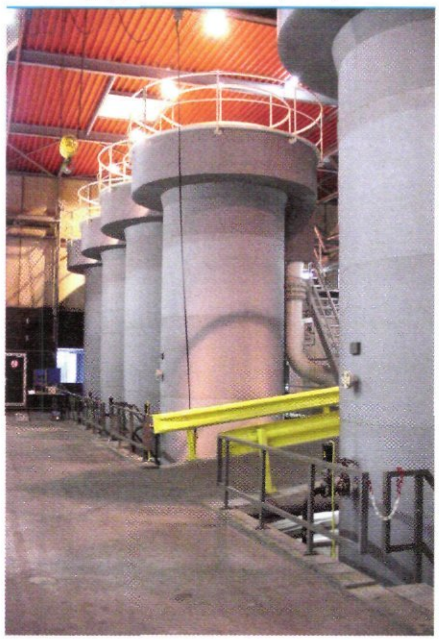
LUUK RIETVELD, TECHNISCHE UNIVERSITEIT DELFT
ONNO KRAMER, WATERLEIDINGBEDRIJF AMSTERDAM
KARIN BOSKLOPPER, WATERLEIDINGBEDRIJF AMSTERDAM
HANS VAN DIJK, TECHNISCHE UNIVERSITEIT DELFT

Ontharding is een dynamisch proces dat door variaties van debiet en kwaliteit continu bijgeregeld moet worden. Daarom is een model ontwikkeld dat verschillende stuurscenario's kan doorrekenen, waarmee het optimale scenario geselecteerd kan worden. Hierbij spelen de deelstroomverhouding, het aantal reactoren in bedrijf en de bedhoogte een belangrijke rol. Het doel van deze modellering is te komen tot een, on-line, optimale besturing waarbij de zuivering integraal bezien wordt.

In het kader van het project PROMICIT wordt in de periode 2003-2006 onderzoek uitgevoerd naar integrale en optimale besturing van productielocatie Weesperkarspel van Waterleidingbedrijf Amsterdam. PROMICIT is een samenwerkingsverband van Waterleidingbedrijf Amsterdam, Technische Universiteit Delft, DHV Water en het bedrijf ABB. Het wordt medegefinancierd door Senter. Een deel van het onderzoek richt zich op de ontwikkeling van modellen van zuiveringsprocessen[3].

In deze bijdrage worden de resultaten besproken van een modelstudie van de ontharding. Variaties in debiet en waterkwaliteit spelen dagelijks een rol bij de sturing van de ontharding. Het doel is een sturing te ontwikkelen, die leidt tot een constante en betrouwbare waterkwaliteit tegen minimale kosten en effecten op het milieu. Het model voor de ontharding is ontwikkeld in de Stimela omgeving, waarbij gebruik wordt gemaakt van Matlab/Simulink[4]. Partiële differentiaalvergelijkingen worden numeriek opgelost en variaties in tijd en plaats kunnen worden gevolgd. De modellen van de individuele processen zijn beschikbaar in een modelbibliotheek en kunnen met elkaar worden verbonden, resulterend in een zuiveringstrein. Op deze manier kan het effect van verandering in de sturing van verschillende zuiveringsprocessen worden geëvalueerd.

Ontharding op productielocatie Weesperkarspel.



Het model is gebaseerd op de theorie van ontharding met korrelreactoren[2),5)]. Het is ook beschikbaar via internet (www.stimela.com). Daar kunnen onderzoekers, studenten, technologen en operators kennis uitwisselen over de zuiveringsprocessen. De modellen vervullen hierbij een sleutelrol.

Huidige besturing van de ontharding

Afhankelijk van temperatuur worden op productielocatie Weesperkarspel de deelstroomverhouding en de natronloogdosering aangepast, zodat de totale hardheid van het gemengde effluent 1,5 mmol/l bedraagt. Het aftappen van korrels wordt geregeld op basis van de hydraulische weerstand van het bed (maximale drukval). De hydraulische weerstand wordt tussen 1,65 and 1,72 m gehouden. Debiet, pH, temperatuur, hardheid en hydraulische weerstand worden elke minuut gemeten, terwijl calcium, bicarbonaat, korreldiameter en bedhoogte minder frequent worden bepaald (dagelijks tot wekelijks).

Vier regelingen[6)] zijn van belang:

- De instelling en verdeling van het debiet, die gebaseerd is op de drinkwatervraag.
- De regeling van de deelstroomverhouding, die handmatig plaatsvindt.
- De regeling van de dosering van natronloog, die berekend wordt met een empirische formule. Deze is gebaseerd op de gewenste calciumreductie, het waterdebiet, de effluent pH, de deelstroomverhouding, de temperatuur en een handmatige correctie.
- De regeling van de aftap van de korrels, die de totale drukval over de reactor tussen 1,65 en 1,72 m houdt.

In de zomer resulteert deze sturing in een hogere deelstroomverhouding en een hogere natronloogdosering per reactor. In de winter wordt de deelstroomverhouding lager ingesteld en zijn de natronloogdoseringen per reactor lager. Om de oververzadiging in de winter aanvaardbaar te houden, wordt de maximale korrelgrootte verlaagd.

Hoe wordt de ontharding optimaal bestuurd?

Optimale sturing van ontharding is een feit wanneer, gebruikmakend van de bestaande infrastructuur, het gemengde effluent een minimale oververzadiging heeft, pH-correctie kan worden voorkomen en een minimale natronloogdosering wordt toegepast. Daarnaast moet het energieverbruik minimaal zijn. Hierbij zijn de kosten minimaal en is de waterkwaliteit constant en stabiel en voldoet aan de eisen.

Oververzadiging wordt uitgedrukt in theoretisch afzetbaar calcium carbonaat (TACC). Om de laagste TACC in het effluent van de reactor te krijgen, moet de hoogte van het gefluïdiseerde bed maximaal zijn. De bedhoogte hangt af van de hoeveelheid korrels in de reactor, het debiet, de korreldiameter (en dichtheid) en de temperatuur van het water. Het debiet door de reactor hangt weer af van de drinkwatervraag, het aantal reactoren dat in bedrijf is en de deelstroomverhouding. Hoe lager het debiet door de reactor is, des te meer korrels in de reactor kunnen worden gehouden.

De TACC in het effluent van de reactor wordt beïnvloed door de dosering van natronloog en het beschikbare korreloppervlak (aantal en diamater van korrels). Het mengen van een licht oververzadigd effluent met niet ontharde water kan resulteren in kalk-koolzuurevenwicht[1]. De toelaatbare oververzadiging in het effluent van de reactor hangt af van kwaliteit van het niet ontharde water en de deelstroomverhouding en de geaccepteerde oververzadiging in het gemengde effluent.

Optimale besturing van de ontharding wordt derhalve bepaald door het debiet, de deelstroomverhouding, de korreldiameter/aftap, het aantal korrels in de reactor, de dosering van natronloog en het aantal reactoren in bedrijf. Het regelen van al deze variabelen heeft financiële gevolgen:

- De deelstroomverhouding, de bedhoogte en de korrelafvoersnelheid beïnvloeden de oververzadiging in het gemengde effluent, dat op zijn beurt de dosering van natronloog en de dosering van zuur voor neutralisatie en de regeneratiefrequentie van de nageschakelde biologische actieve kool beïnvloedt.
- De korrelafvoersnelheid beïnvloedt de grootte van de afgetapte korrels en dus de hoeveelheid entmateriaal per kilo pellets.
- Het aantal reactoren in bedrijf beïnvloedt de onderhoudskosten.
- Het aantal reactoren in bedrijf en de deelstroomverhouding beïnvloeden de energiekosten.

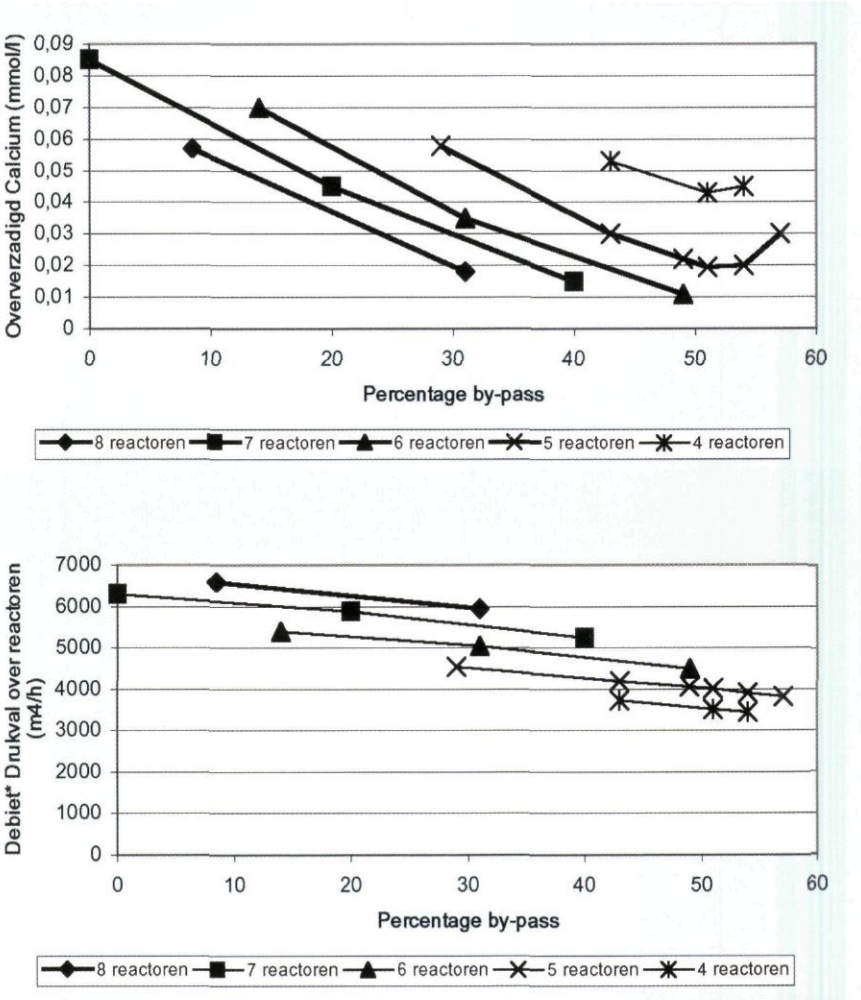
Voor een stationaire situatie kan de optimalisatie met de volgende doelfunctie J geformuleerd worden:

$$J = \Sigma\, w_1(Ca_{ref} - \hat{Ca})^2 + w_2\,(dCa_{ref} - d\hat{Ca})^2 + w_3\,(N) + w_4(d_{p,\,ref} - \hat{d}_p)^2\,,$$

waarin Ca voor de calciumconcentratie in het effluent staat, dCa voor de oververzadiging, N voor het aantal reactoren in bedrijf, d_p voor de grootte van de afgetapte korrel en w_i voor de wegingsfactoren die het relatieve belang van de verschillende criteria weergeven.

Voorbeeld van optimale bedrijfsvoering

Als voorbeeld zijn verschillende sturingsscenario's bij productielocatie Weesperkarspel met een model gesimuleerd voor een totaal debiet van 3500 kubieke meter per uur bij een temperatuur van 10°C (zie afbeelding 1). In alle scenario's is de totale hardheid van het gemengde effluent gesteld op 1,5 mmol/l en de maximale gefluïdiseerde bedhoogte op vijf meter. Daarnaast zijn drie watersnelheden in de reactor aangehouden, namelijk 94, 75 en 57 meter per uur en is de maximale korreldiameter gehouden op één millimeter.



Afb. 1: *Verschillende sturingsscenario's voor ontharding op productielocatie Weesperkarspel met een totaaldebiet van 3500 kubieke meter per uur bij 10°C.*
HCO_3^- = 204 mg/l, Ca^{2+} = 80 mg/l, pH = 7.61, EC = 53 mS/m.

Uit de scenario-analyse van dit voorbeeld kan geconcludeerd worden dat oververzadiging van het gemengde effluent minimaal is bij een deelstroomverhouding van ongeveer 50 procent met een maximum aantal reactoren in bedrijf onder de geldende randvoorwaarden (in dit geval zes). Met deze deelstroomverhouding kunnen niet meer reactoren bedreven worden, omdat de snelheid in de reactoren dan te laag wordt. Het energiegebruik bij zes reactoren in bedrijf ten opzichte van vijf ligt ongeveer tien procent hoger, maar de oververzadiging bedraagt de helft. Het hangt van de wegingsfactoren in de doelfunctie af welk alternatief zal worden geselecteerd.

Conclusie

Geconcludeerd kan worden dat modellering toegepast kan worden voor optimalisatie van de sturing van de ontharding en zal leiden tot een andere aanpak dan op dit moment gebruikelijk is. In het voorbeeld is de optimalisatie uitgevoerd in een stationaire situatie. Bij drinkwaterzuivering zijn de waterkwaliteit en het waterdebiet echter veranderlijk en moeten dagelijks nieuwe instellingen gevonden worden. Door de hoge kosten van de regeneratie van actieve kool en chemicaliën zal het in de praktijk erop neer komen dat gestreefd moet worden naar een minimale TACC in het gemengde effluent. Dit betekent dat de maximale deelstroomverhouding en vervolgens het maximale aantal reactoren ingezet moeten worden. De reactoren zullen zoveel mogelijk gevuld moeten zijn met gefluïdiseerde korrels. Om de maximale deelstroomverhouding en bedhoogte te bepalen, wordt het model gebruikt. De nieuwe instelling kan niet instantaan bereikt worden vanwege het dynamische gedrag van het proces. In het geval van een verhoging van het debiet in de reactor moeten bijvoorbeeld eerst korrels afgelaten worden om uitspoelen te voorkomen. De hoeveelheid korrels die per reactor afgetapt moeten worden en de corresponderende drukval over de reactor worden berekend met het model.

Het model kan niet alleen het stationaire optimum bepalen, maar tevens het dynamische gedrag van de reactoren voorspellen. Dit is voornamelijk van belang bij frequente debietsschakelingen, zoals bij grondwaterpompstations. In sommige situaties zal slechts zelden de stationaire situatie bereikt worden. Het model kan dan toch als instrument dienen om het proces optimaal te sturen. De kwaliteit van de deelstroom kan tevens onderdeel zijn van de besluitvorming. Een aangepaste behandeling van de deelstroom kan bijvoorbeeld leiden tot een lagere oververzadiging.

Voorspelling van het waterdebiet en de optimale instelling van de deelstroomverhouding en het aantal reactoren in bedrijf kan offline worden uitgevoerd. Het is ook mogelijk om een model gestuurde regelaar te ontwerpen die de reactoren on-line aanstuurt. In dat geval kunnen ook strategieën worden ontwikkeld voor de besturing tussen twee optimale stationaire situaties in, rekening houdend met het dynamische gedrag van het proces. In de proefinstallatie op Weesperkarspel worden voorbereidingen getroffen om een dergelijke regelaar te implementeren. De proefinstallatie wordt geautomatiseerd, on-line data worden verzameld en naar de PC gestuurd. De kleppen van de installatie worden vervolgens aangestuurd door de PC.

LITERATUUR

1) DHV consultants (1983). Het kalkkoolzuurevenwicht opnieuw bezien.

2) Graveland A., H. van Dijk, P. de Moel en J. Oomen (1983). Developments in water softening by means of pellet reactors. JAWWA, pag. 619-625.

3) Van der Helm A., O. Kramer, K. Bosklopper en J. Hofman (2003). Hogere ambities vragen andere bedrijfsvoering. H_2O nr. 18, pag. 33-35.

4) Van der Helm A. en L. Rietveld (2002). Modelling of drinking water treatment processes within the Stimela Environment. Water Science and Technology: Water Supply nr. 1, pag. 87-93.

5) Van Dijk H. en D. Wilms (1991). Water treatment without waste material-fundamentals and state of the art of pellet softening. Journal Water SRT-Aqua nr. 5, pag. 263-280.

6) Wuister J. (2003). Controlling a pellet reactor, a model-based approach to drinking water softening. Afstudeerverslag Delft Centre for Systems and Control, TU-Delft.