



Peter Jules van Overloop, TU Delft  
Peter Beuse, Rijkswaterstaat Noord-Holland

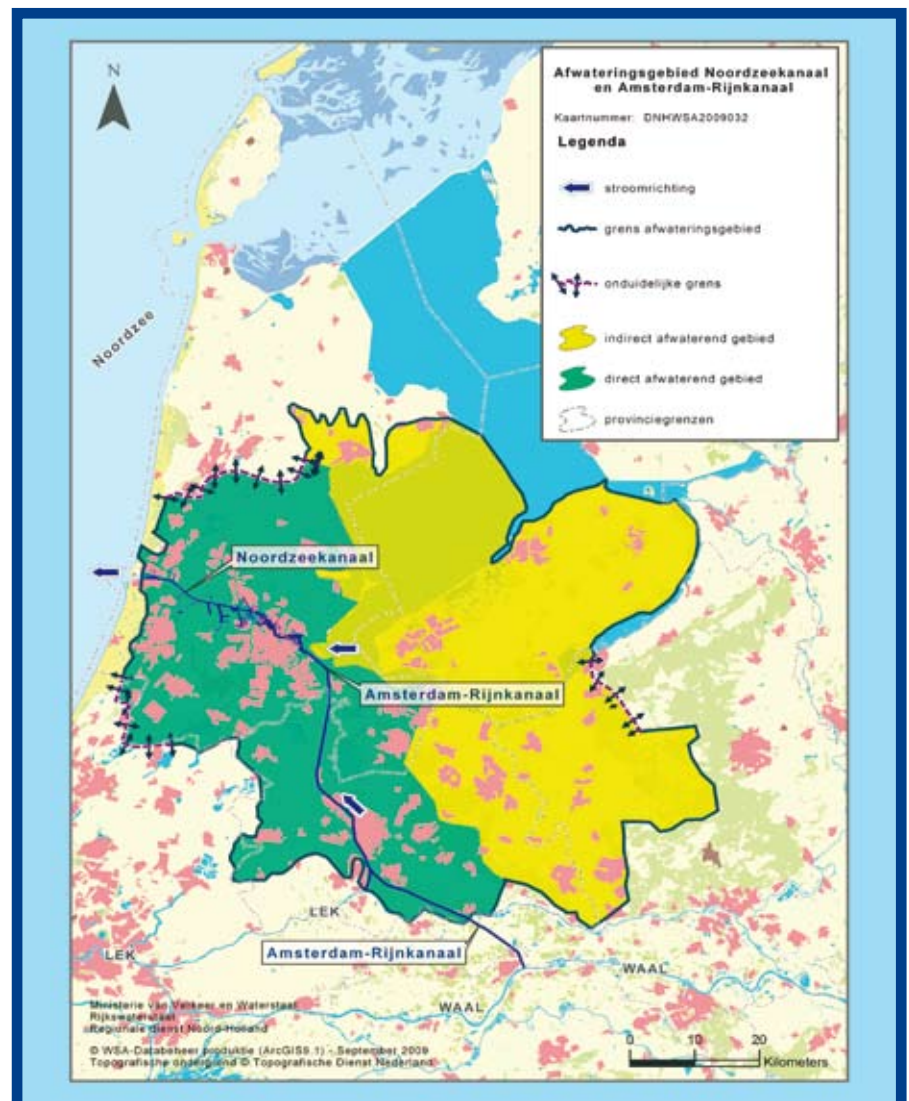
# Grotere pompen voor een energiezuiniger waterbeheer

In 2004 is het spui- en maalcomplex IJmuiden uitgebreid met twee pompen (van vier naar zes), ieder met een capaciteit van 50 kubieke meter per seconde. Alle zes pompen tezamen vormen met 260 kubieke meter per seconde het grootste gemaal van Europa. Parallel aan het maalgedeelte is er de mogelijkheid om water te spuien tijdens laag water met zeven spuiokers, afsluitbaar met schuiven. Het jaarlijkse energieverbruik van de pompen bedraagt gemiddeld acht miljoen kWh. Voor het gemak omgerekend met een bedrag van 0,10 euro per kiloWattuur betekent dit een kostenpost van 800.000 euro per jaar. Een reductie in het energieverbruik van enkele procenten levert dus al een aanzienlijke kostenbesparing op.

Het watersysteem dat door het complex IJmuiden wordt beïnvloed, betreft het Noordzeekanaal en het Amsterdam-Rijnkanaal. De instroom van water in deze kanalen is afkomstig van de hoogheemraadschappen De Stichtse Rijnlanden, Hollands Noorderkwartier, Rijnland en Amstel, Gooi en Vecht, van directe afstroming en water voor doorspoeling vanuit de Lek en het Markermeer (zie afbeelding 1). Het water in het Noordzeekanaal kan tijdens laag water worden gespuid met zeven spuiokers, die geheel onder water liggen. Om zoutindringing zoveel mogelijk tegen te gaan, worden de schuiven pas geopend wanneer het kanaalpeil twaalf centimeter hoger is dan de waterstand aan zeezijde. De maximale capaciteit van deze schuiven tezamen is gelimiteerd op 500 kubieke meter per seconde. Tevens kunnen zes pompen het water uit het kanaal uitslaan. Er zijn drie paar van steeds twee identieke pompen beschikbaar. Ieder paar heeft een eigen karakteristieke relatie tussen vermogen, debiet en opvoerhoogte. Uiteraard geldt voor alle pompen de fysische wet dat bij grotere opvoerhoogten en gelijkblijvend elektrisch vermogen het debiet reduceert en bij gelijkblijvend debiet het benodigde elektrische vermogen toeneemt.

Naast het afvoeren van overtollig water is scheepvaart de belangrijkste gebruiksfunctie van de kanalen. Aangezien schepen over schutsluirdrempels en tunnels en onder bruggen door moeten kunnen varen, zijn

Afb. 1: Totale beheergebied dat loost bij IJmuiden (groen = volledig, geel = voor ongeveer de helft).



de marges waarbinnen de waterstanden op het kanaal mogen fluctueren beperkt. Het maximaal toegestane peil op het Noordzee-kanaal is NAP -0,30 m, terwijl het toegestane minimum peil NAP -0,55 m is.

### Operationeel waterbeheer

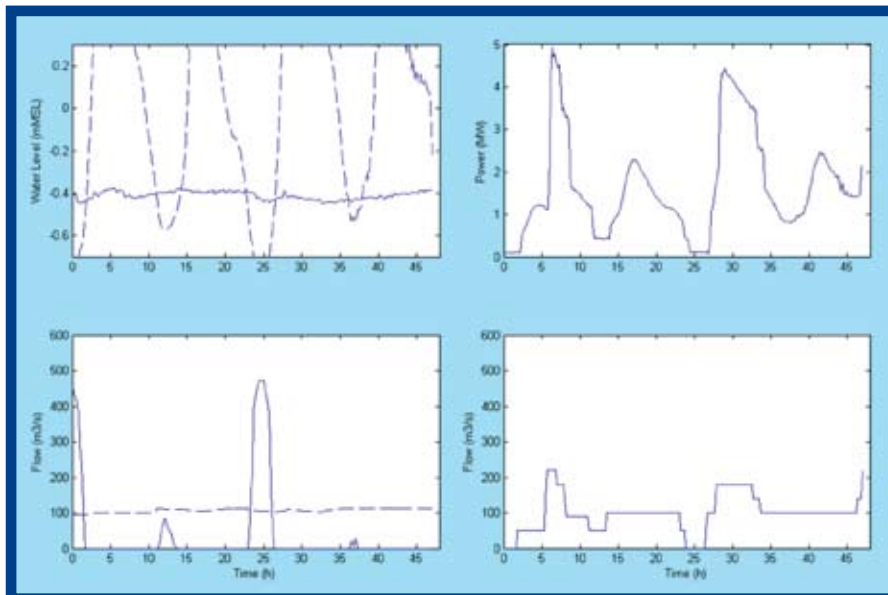
Het beheer van het complex werd tot augustus 2008 gevoerd vanuit de controlekamer te IJmuiden. Operators waren dag en nacht, zeven dagen per week aanwezig op het complex. In de controlekamer hebben ze de beschikking over actuele metingen van verschillende locaties op het kanaal en aan de zeezijde. Wanneer de gemiddelde waterstand op het kanaal afwijkt van het streefpeil van NAP -0,40 m, wordt hierop gereageerd door het inzetten van één of meer pompen. Aangezien het gebruik van de spuisluis veruit de goedkoopste manier is om water kwijt te raken, wordt deze optie zoveel mogelijk benut. Er is een digitaal rekenblad beschikbaar dat rekening houdt met de verwachte neerslag en de spui mogelijkheden en waarmee wordt bepaald hoeveel water moet worden afgevoerd, maar de operators reageren ook op de verwachte neerslag op basis van hun ervaring.

Sinds augustus 2008 wordt het waterbeheer op afstand uitgevoerd vanuit de Verkeerspost Schellingwoude. Operators hebben tevens scheepvaartmanagement als belangrijke taak erbij gekregen. Tegelijkertijd is er een beslissingsondersteunend systeem (BOS) beschikbaar gekomen dat adviezen voor het waterbeheer genereert<sup>(1),2),3)</sup>. Deze adviezen geven de inzet van de schuiven en pompen over de komende 24 uur en het verwachte effect daarvan op de waterstanden. Ieder uur wordt een nieuw advies berekend voor de aankomende 24 uur en door acceptatie van dit advies wordt deze doorgezet naar de afzonderlijke schuiven en pompen. Belangrijk is dat de operator nog steeds verantwoordelijk is voor het waterbeheer en in geval van twijfel kan en moet afwijken van het advies. De operator heeft in plaats van permanent regelaar de rol van supervisor gekregen.

De adviezen worden berekend met behulp van wiskundige optimalisatie, waarin de waterstandsafwijkingen van streefpeil worden gewogen tegen het benodigde energieverbruik<sup>4)</sup>. De oplossingsruimte van de optimalisatie wordt gelimiteerd door fysische beperkingen, zoals maximale pomp- en spuicapaciteiten en operationele beperkingen, zoals minimaal en maximaal toegestane waterpeilen en minimaal toegestane schakelfrequentie van de pompen (zie voor vergelijkbare configuraties van deze real-time optimalisatiemethode<sup>5),6),7),8)</sup>).

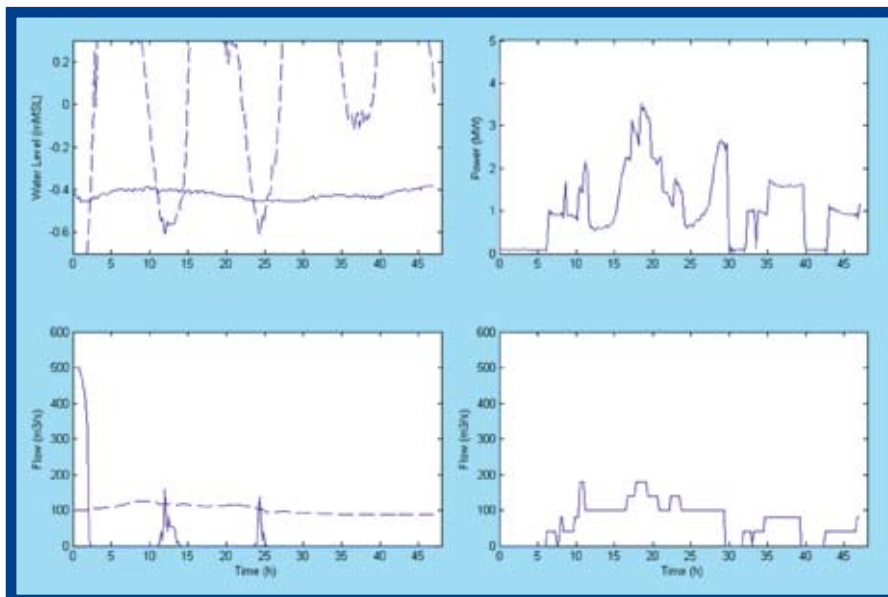
### Energiebesparing

Het gebruikte computersysteem combineert veel informatie, kijkt vooruit en optimaliseert. Het is de verwachting dat men hierdoor energie bespaart. In eerste instantie was de verwachting dat de belangrijkste besparing zou zitten in het beter benutten van de waterstandmarges. Doordat het BOS nauwkeuriger kan berekenen wat de verwachte situatie is, zou pompen kunnen



Afb. 2: Operationeel beheer door operators (18 en 19 juli 2008).

Afb. 3: Operationeel beheer door overnemen van de adviezen van het beslissingsondersteunend systeem (15 en 16 oktober 2008).



worden uitgesteld ten faveure van een spui in de nabije toekomst. Uit de hiernavolgende resultaten blijkt echter dat de op dit moment behaalde besparing zit in het beter benutten van de relatie tussen vermogen, debiet en opvoerhoogte.

Dit kan worden geïllustreerd door een vergelijking te maken tussen een periode dat het beheer wordt uitgevoerd zonder gebruik van het BOS en een periode dat het beheer wordt uitgevoerd met gebruik van het BOS<sup>9)</sup>. De resultaten van twee dagen operationeel beheer zonder BOS zijn weergegeven in afbeelding 2. Linksboven zijn de gemeten buitenwaterstand en het gemiddelde kanaalpeil weergegeven. Rechtsboven staat het verbruikte vermogen. Linksonder betreft het berekende instroomdebiet en het gemeten spuidebiet. Rechtsonder is ten slotte het totale pompdebiet weergegeven.

Uit de metingen blijkt dat de operators hun taak goed uitvoeren. De waterstand op het kanaal blijft dicht bij het streefpeil en ruim

binnen de marges. Er wordt echter geen rekening gehouden met het energieverbruik van de pompen. Dit is te zien in de periode 35 tot 48 uur. Twee pompen staan aan met een totaaldebiet van 100 kubieke meter per seconde. Het getij gaat in die periode over van laag naar hoog water. Het verschil in verbruikt elektrisch vermogen gaat van één MegaWatt tijdens laag water naar 2,4 MW tijdens hoogwater.

Een ander voorbeeld van het niet meenemen van het energieaspect in het beheer is te zien aan het begin van de metingen. In de eerste twee uur wordt veel gespuid en wordt het peil in het kanaal tot NAP -0,45 m getrokken. Dit lijkt in eerste instantie energiezuinig. Er wordt daarna met slechts één pomp gemalen. Het duurt ongeveer drie uur voordat het kanaalpeil weer is gestegen tot streefpeil. Dit is een aanwijzing voor de operator om meer pompen bij te schakelen en het kanaalpeil op streefpeil te handhaven. Het moment van bijschakelen valt echter samen met de hoogwaterpiek die een aantal





uur na het einde van de spui optreedt. In de grafiek rechtsboven is te zien dat door het bijschakelen op uur 5 een grote sprong in het verbruikte vermogen tot 5 MW optreedt. De totale verbruikte energie in de gehele periode van 48 uur bedraagt 79.519 kWh.

Afbeelding 3 betreft de metingen over twee dagen waarin de adviezen van het beslissingsondersteunend systeem zijn overgenomen. Deze periode is genomen omdat een vergelijkbare instroom optrad. De spui mogelijkheden zijn iets minder dan in de eerste periode.

Uit deze metingen blijkt dat de peilen van het Noordzeekanaal eveneens ruim binnen de marges blijven, maar dat de relatie tussen vermogen, debiet en opvoerhoogte relatie beter wordt benut. Dit is te zien direct na uur 30 en uur 40. Aangezien op die momenten hoge buitenwaterstanden optreden, adviseert het BOS op die momenten geen pompen in te zetten. Tijdens de tussenliggende lage buitenwaterstanden wordt wel gepompt tegen lage energiekosten. Een andere belangrijke winst wordt gehaald uit het doorpompen tijdens perioden dat gespuid kan worden. De twee nieuw

geïnstalleerde pompen kunnen namelijk naar beneden pompen tot een maximum verval van 20 cm. Dit is een breuk met het in het verleden gangbare waterbeheer, waarin pompen uitsluitend worden gezien als werktuigen om water op te tillen. Als echter veel water moet worden afgevoerd en de spui beperkt is, is het zinvol om pompen juist op dat moment in te zetten.

Het totale energieverbruik over de twee dagen met BOS bedraagt 52.491 kWh. In deze twee dagen is ongeveer 2000 euro bespaard ten opzichte van het beheer zonder BOS. Vermeld moet worden dat door gebruik te maken van het BOS vaker (1,7 keer) is geschakeld met de pompen, maar dat nog steeds voldaan is aan de minimale schakelfrequentie per pomp van eens per drie uur.

Een andere vergelijking kan worden gemaakt door het jaar 2007 (volledig jaar zonder BOS) te vergelijken met 2009 (volledig jaar met BOS). De verbruikte energie in 2007 is 7.445.241 kWh, terwijl dit in 2009 4.851.348 kWh is. Dit betekent een besparing van 35 procent. Waarschijnlijk is dit een overschatting van de werkelijke besparing, aangezien 2007 natter was dan 2009. In

2008, waarin het BOS vanaf september functioneert, bedraagt het energieverbruik 6.863.648 kWh (acht procent besparing). Deze getallen in ogenschouw nemend, is 25 procent besparing een realistische inschatting. Dit betekent bij een gemiddelde kostenpost van 800.000 euro per jaar een besparing van 200.000 euro per jaar.

### Discussie

De grootste besparing wordt gehaald uit het inzetten van extra pompen tijdens perioden dat deze tegen lage energiekosten veel water kunnen uitslaan. Ook dag- en nachttarieven kunnen hiervoor worden benut, indien het energiecontract hierin voorziet. Hoewel het hier in eerste instantie een kostenbesparing betreft, zou het koppelen met energienetwerken in de toekomst ook tot energiebesparing op landelijke schaal kunnen leiden. Het plaatsen van pompen op de Afsluitdijk om het IJsselmeer te bemalen bij verwachte zeespiegelstijging, zou wel eens een veel goedkopere optie kunnen zijn dan nu door Rijkswaterstaat gedacht. Deze overwegingen en de resultaten van meer dan een jaar optimaal pompen bij IJmuiden verklaren de paradox in de titel van dit artikel. Grote pompen kunnen in korte tijd veel water uitslaan op gunstige momenten. Deze gunstige momenten kunnen zelfs periodes zijn dat het buitenwater lager staat dan het binnenwater. In plaats van kiezen tussen spuien of pompen is er blijkbaar een veel geleidelijkere overgang hiertussen. Bij verwachte zeespiegelstijging kan Nederland adaptief gebruik maken van een glijdende schaal van: spuien - naar spuien en goedkoop pompen - naar goedkoop pompen.

### LITERATUUR

- 1) Trinité Automatisering (2002). Technisch en functioneel ontwerp BOS Noordzeekanaal/ Amsterdam-Rijnkanaal.
- 2) HKV Lijn in Water (2002). Beslissings Ondersteunend Systeem Noordzeekanaal/ Amsterdam-Rijnkanaal, modelvorming.
- 3) Van Overloop P.-J., P. Beuse en R. Weissenbruch (2005). Energiezuinig beheer van maal- en spuicomples IJmuiden. H<sub>2</sub>O nr. 14/15, pag. 47-49.
- 4) Van Overloop P.-J. (2006). Model predictive control on open water systems. Proefschrift Technische Universiteit Delft.
- 5) Nelen F. (1992). Optimized control of urban drainage systems. Proefschrift Technische Universiteit Delft.
- 6) Lobbrecht A. (1997). Dynamic water-system control. Proefschrift Technische Universiteit Delft.
- 7) Botterhuis A. en A. McCaffrey (2003). Application of chance constraint programming to water system control. In Safety and Reliability. Bedford en Van Gelder.
- 8) Van Leeuwen P. (2003). Sturing van afvalwater-systemen. Proefschrift Technische Universiteit Delft.
- 9) Van Overloop P., R. Negenborn, B. De Schutter en N. van de Giesen (2010). Predictive control for national water flow optimization in The Netherlands. Chapter 17 in Intelligent Infrastructures (R. Negenborn, Z. Lukszo en H. Hellendoorn, red.), pag. 439-461.