



Energiezuinig beheer van maal- en spuicomplex IJmuiden

P.-J. VAN OVERLOOP, TECHNISCHE UNIVERSITEIT DELFT

P. BEUSE, RIJKSWATERSTAAT NOORD-HOLLAND

R. VAN WEISSENBRUCH, TECHNISCHE UNIVERSITEIT DELFT, THANS HKV LIJN IN WATER

Rijkswaterstaat Noord-Holland is beheerder van het maal- en spuicomplex IJmuiden. Dit complex voert water af van het Noordzeekanaal en in het verlengde daarvan het Amsterdam-Rijnkanaal. Grote waterschappen, zoals de hoogheemraadschappen van Rijnland, Hollands Noorderkwartier, Amstel, Gooi en Vecht en De Stichtse Rijnlanden, hebben deze kanalen als belangrijke afvoermogelijkheid. Al met al maakt dit het maal- en spuicomplex IJmuiden tot een belangrijk onderdeel van het operationele waterbeheer in West-Nederland. Om de veiligheid in de toekomst te kunnen blijven garanderen, is in september 2004 de pompcapaciteit aanzienlijk vergroot: twee extra grote pompen zorgden voor een uitbreiding van de capaciteit van 160 naar 260 kubieke meter per seconde. Het complex heeft hiermee nu de grootste pompcapaciteit van Europa. Omdat de pompen veel energie gebruiken, is door Rijkswaterstaat en de TU Delft een onderzoek verricht naar energiezuinig beheer. Dit resulteerde in de Module Energiezuinig beheer IJmuiden (EMOD)¹⁾. Deze wordt geïmplementeerd in het beslissingsondersteunend systeem (BOS) op het complex en dient als ondersteuning voor de peilbeheerders ter plaatse.

Het maal- en spuicomplex IJmuiden is verantwoordelijk voor het peilbeheer van het Noordzeekanaal en het Amsterdam-Rijnkanaal (zie afbeelding 1). Het streefpeil dat wordt gehandhaafd is -0,40 m NAP met een bovenmarge van -0,30 m NAP en -0,55 m NAP als benedengrens. Neerslag in het beheersgebied van de aanliggende waterschappen leidt tot aanvoer vanuit de poldergebieden naar beide kanalen. Het totale oppervlak dat water aanvoert bedraagt ongeveer 230.000 hectare²⁾. De 'looptijd' van het verst gelegen aanvoerpunt tot IJmuiden bedraagt

ongeveer twaalf uur (als er wordt gespuid). Door deze aanvoer stijgt het peil in de kanalen, die een bergend oppervlak bezitten van ongeveer 3.900 hectare. De peilen kunnen worden verlaagd door afvoer via de spuisluis tijdens laagtij of de inzet van één of meer van de zes pompen. Het maximale spuidebiet bedraagt 500 kubieke meter per seconde gedurende enkele uren tijdens een spui. Het maximale pompdebiet bedraagt 260 kubieke meter per seconde.

Bij de uitbreiding van het gemaal is ter ondersteuning van de peilbeheerders een beslissingsondersteunend systeem geïmplementeerd³⁾. Hierdoor worden onder andere metingen opgehaald van de waterstand in het Noordzeekanaal, verwachtingen van de buitenwaterstanden op de Noordzee en de neerslagmetingen en voorspellingen. Dit gebeurt ieder uur opnieuw. Alle metingen worden opgeslagen in een database. Uit de

Afb. 1: Het beheergebied van het maal- spuicomplex IJmuiden.





Het maal- en spuicomplex op het moment dat nog gewerkt werd aan de uitbreiding van de pompcapaciteit.

neerslag wordt met een aantal heuristische formules een aanvoerdebiet naar de kanalen berekend⁴.

Binnen het BOS zijn een aantal strategieën te selecteren voor de manier van afdalen:

- peilbeheer

Het peil in het Noordzee- en Amsterdam-Rijnkanaal moet zo dicht mogelijk bij het streefpeil blijven;

- visintrek

Door een bepaalde inzetvolgorde van de schuifopeningen wordt het mogelijk gemaakt voor migrerende vissen om de kanalen binnen te zwemmen om te gaan paaien;

- terugdringen zouttong

Om het chloridegehalte in het Noordzee-kanaal niet te hoog op te laten lopen, wordt water ingelaten vanuit het Markermeer. Door vervolgens bij IJmuiden te spuien, wordt hiermee het Noordzeekanaal doorgespoeld;

- gelijkmatig spuien

Door een min of meer constant debiet in de kanalen te handhaven, wordt het peil zo constant mogelijk gehouden.

Afhankelijk van de geselecteerde strategie komt het BOS met een inzetadvies. Dit advies kan door de peilbeheerders naar eigen inzicht worden aangepast. Deze kunnen vervolgens het verloop van het peil simuleren met een bakjesmodel van de kanalen. De peilbeheerder is overigens degene die volgens het gegenereerde advies de daadwerkelijke inzet van de spuisluis en de pompen instelt.

Aangezien de kosten van de inzet van de huidige pompen hoog zijn, is een extra strategie toegevoegd aan de manieren van afdalen:

- energiezuinig beheer

Zo weinig mogelijk malen door benutting van de beschikbare berging, totdat gespuid kan worden.

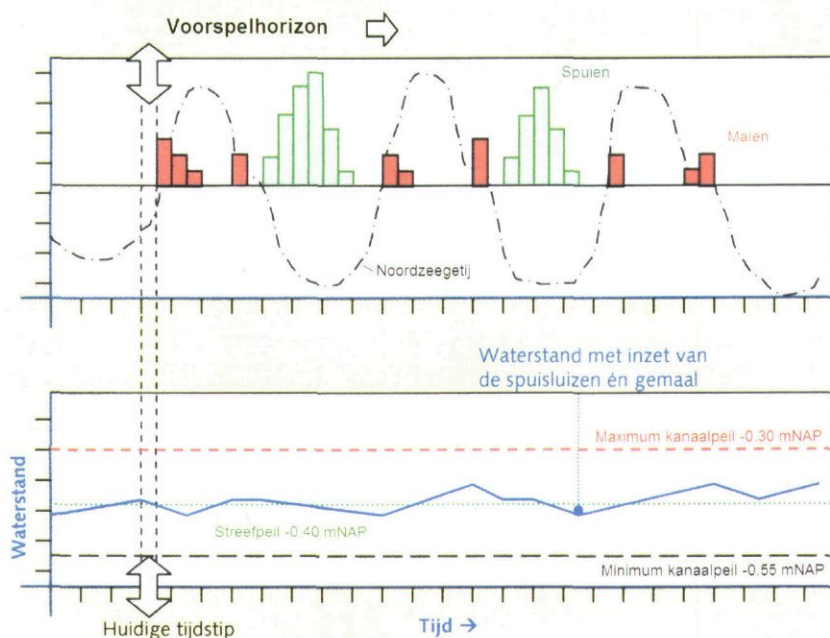
Energiezuinig beheer

Om het Noordzee- en Amsterdam-Rijnkanaal op peil te houden, moet water worden afgevoerd naar de Noordzee. Het getij op de Noordzee is echter maar een aantal uren per getijdencyclus laag genoeg om te spuien onder vrij verval. De overige tijd moet worden gepompt of moet het water tijdelijk worden

geborgen tot de volgende spuiemogelijkheid. Dit laatste is vanuit energiezuinig beheer gezien te prefereren. Indien echter na een periode met extreme neerslag veel aanvoer is te verwachten, is het juist belangrijk het peil in de kanalen te verlagen om een veiligheidsmarge te creëren (voormalen). Energie is ook te besparen door gebruik te maken van de pompkarakteristieken van de verschillende pompen. De kosten voor het pompen zijn lager als de buitenwaterstand laag is, aangezien er dan een kleinere opvoerhoogte is. Ook de keuze welke van de zes pompen worden gebruikt heeft invloed op het energieverbruik. De pompen hebben namelijk twee aan twee een eigen, karakteristiek capaciteits- en vermogensverloop afhankelijk van de opvoerhoogte. Afbeelding 2 geeft een voorbeeld van de berekende inzet van de spuisluis en de gezamenlijke pompen.

Al met al is het een complex geheel van subproblemen met conflicterende belangen. Samengevat moet er zo min mogelijk worden gemalen tegen de laagst mogelijke kosten, zonder dat de marges voor de bevaarbaarheid en de veiligheid van het gebied in het geding komen. Deze eis gaat voor het grootste gedeelte van de tijd op. Alleen tijdens dreigend hoogwater als gevolg van extreme neerslag en/of harde noordwestenwind (beide gebeurtenissen treden samen minder dan vijf procent van de totale tijd op) speelt het energiezuinige beheer geen rol, aangezien dan gewoon de volledige pompcapaciteit nodig is. De aanvoer van water is dan namelijk groot en de spuiemogelijkheden minimaal.

Afb. 2: Voorbeeld van de berekende inzet van de maal- en spuiperiode.



Overigens is energiezuinig beheer te combineren met het peilbeheer en de visintrek.

Aangezien een groot gedeelte van de tijd energiezuinig beheerd kan worden, zijn de besparingen aanzienlijk. Een globale inschatting geeft een besparing van tien procent per jaar van de jaarlijkse variabele kosten, hetgeen neerkomt op ongeveer 70.000 euro. Dit kan worden vergeleken met de jaaropbrengst van een grote, moderne windmolen.

Werking adviesmodule

De conflicterende eisen aan het beheer (zo min mogelijk pompen versus geen onveilige situatie toestaan) vragen om een regelmethodiek die hiermee kan omgaan. Model Predictive Control is zo'n methodiek. Deze gebruikt een optimalisatie waarin de afwijking van streefpeil en de gebruikte energie over een periode kwadratisch tegen elkaar worden afgewogen en beiden geminimaliseerd worden⁵⁾. Binnen de optimalisatie worden de beperkin-

gen, zoals maximale capaciteit per pomp en maximale waterstand, meegenomen. Bij iedere stap worden de meest recente metingen en voorspellingen automatisch opgehaald en een nieuw, optimaal advies berekend.

De adviesmodule EMOD is in eerste instantie geprogrammeerd als prototype in Matlab en getest op een SOBEK-model van het Noordzee- en Amsterdam-Rijnkanaal. Nadat dit goede resultaten opleverde, is overgegaan tot de implementatie in de programmatuur van het beslissingsondersteunend systeem IJmuiden.

Implementatie

Om te voorkomen dat er fouten in de programmacode zitten, is de uiteindelijke module getest op hetzelfde model als waarop het prototype is getest. Beide regelaars geven dezelfde resultaten.

De module is als volgt ingesteld:

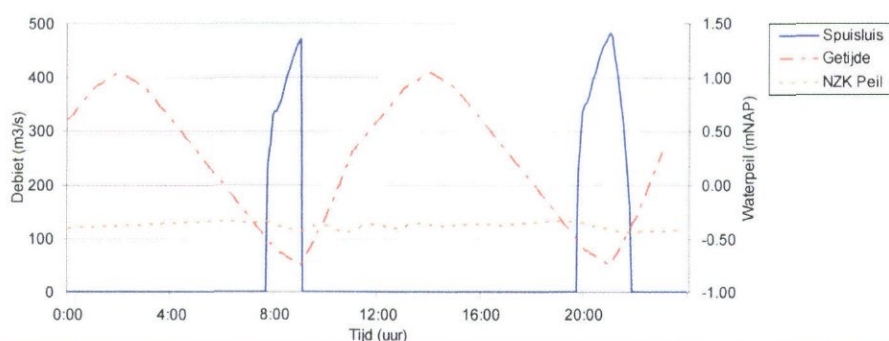
- In totaal elf kunstwerkinstellingen zijn

- beschikbaar voor het afvoeren van water. Allereerst de spuisluis die open of dicht kan worden gezet. Vervolgens hebben de identieke pompen 1 en 3 een aan- of uitstand. De identieke pompen 2 en 4 kunnen uit, op lage toeren of op hoge toeren worden ingesteld. De nieuwe pompen 5 en 6 kunnen worden ingesteld op een variabel toerental. In de adviesmodule is gekozen voor de instellingen 40 of 50 kubieke meter per seconde, aangezien bij deze toerentallen de pompen met een hoge efficiëntie draaien;
- De rekentijdstap bedraagt tien minuten. Met een dergelijke kleine tijdstap kan het getij nauwkeurig worden benaderd. Hierdoor kan vlak voor en na een laag tij nog tegen lage kosten worden gepompt (indien nodig);
- De voorspelling betreft de komende twaalf uur. Hiermee kan ongeveer een volledige getijdencyclus worden voorspeld;
- Ieder uur wordt de optimalisatie herhaald en het resultaat aan de peilbeheerders getoond;
- Om slijtage ten gevolge van het steeds aan- en uitschakelen van de pompen tegen te gaan, moet iedere pomp minimaal 30 minuten aan of uit staan voordat deze weer mag schakelen;
- Aangezien de zes pompen twee aan twee identiek zijn, is een mogelijkheid ingebouwd om een prioriteitsvolgorde te geven voor de inzet van de pompen.

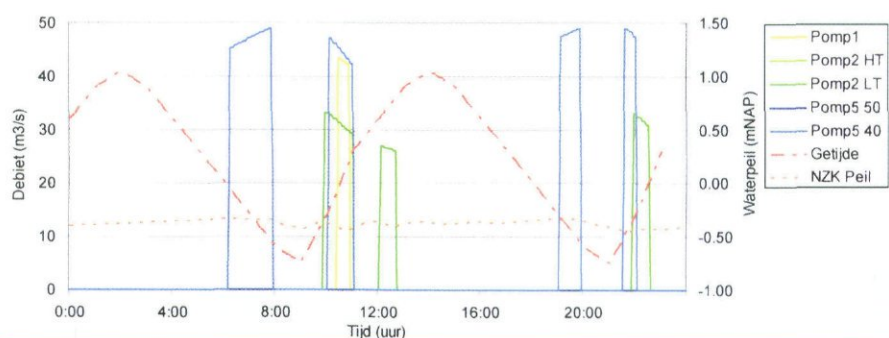
De afbeeldingen 3 t/m 5 geven de resultaten van de adviesmodule EMOD voor een gemiddelde neerslaggebeurtenis. De adviesmodule EMOD berekent uit alle combinaties van de elf mogelijke kunstwerkinstellingen de optimale inzet. In de grafieken is nog getest op het model, maar na dit testjaar (2005) kunnen ook de resultaten worden getoond van het advies op het werkelijke systeem. Dit advies garandeert bevaarbaarheid en veiligheid tegen de laagste energiekosten.

LITERATUUR

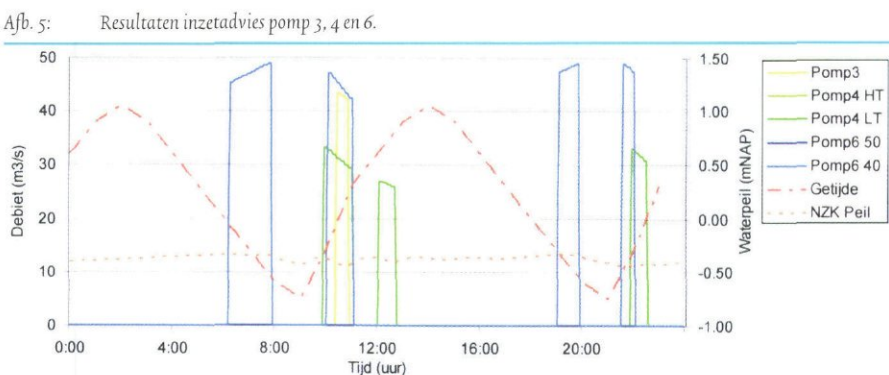
- 1) Weissenbruch R. van, P. van Overloop en P. Beuse (2004). Energieoptimalisatie-module voor spui- en maalcomplex IJmuiden. Eindrapportage Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, regionale dienst Noord-Holland.
- 2) Weissenbruch R. van (2003). Onderzoek energieverbruik gemaal IJmuiden. Master thesis, TU Delft.
- 3) Trinté Automatisering BV (2002). Technisch en functioneel ontwerp BOS Noordzeekanaal / Amsterdam-Rijnkanaal.
- 4) HKV Lijn in Water (2002). Beslissings Ondersteunend Systeem Noordzeekanaal/Amsterdam- Rijnkanaal; modelvorming.
- 5) Overloop P. van, W. Schuurmans en R. Brouwer (2003). Model Predictive Control of water systems in the Netherlands. USCID-Proceedings International Conference, Phoenix.



Afb. 3: Resultaten inzetadvies spuisluis.



Afb. 4: Resultaten inzetadvies pomp 1, 2 en 5.



Afb. 5: Resultaten inzetadvies pomp 3, 4 en 6.