

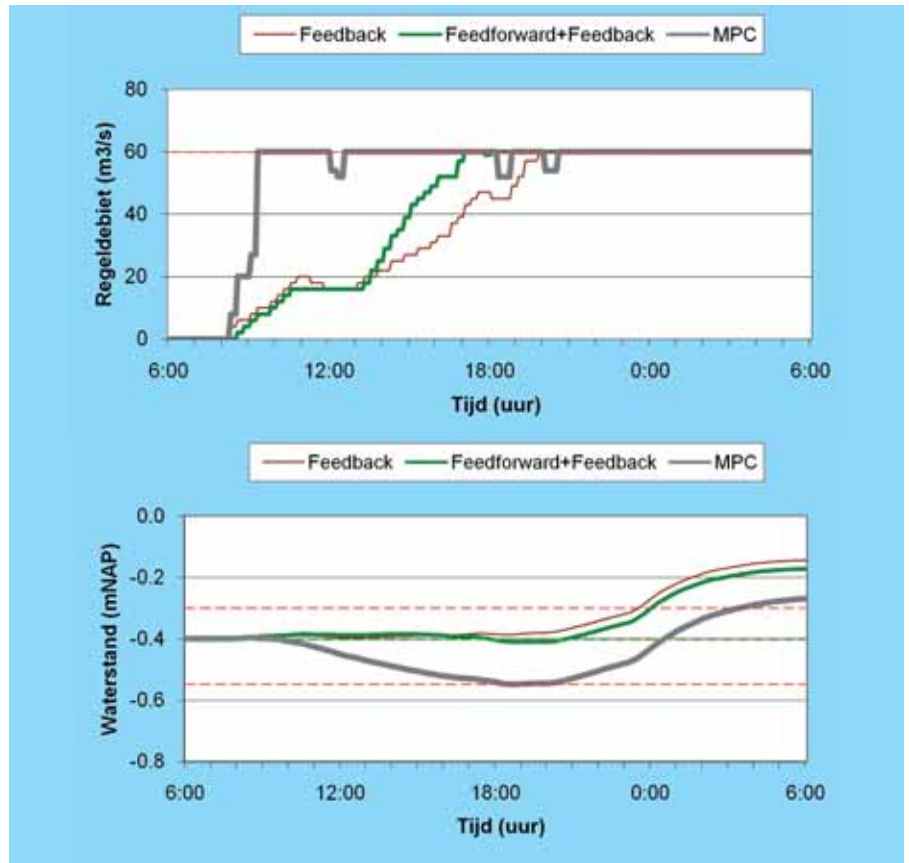
Meet en regeltechniek: ‘model predictive control’

In een reeks van vijf artikelen wordt ingegaan op de theoretische achtergrond van meet- en regeltechniek, toegepast op het operationele beheer van de waterlopen in Nederland. In dit vierde artikel staat de regelmethode ‘Model based predictive control’ centraal.

In de literatuur wordt voornamelijk de benaming ‘Model predictive control’ gebruikt. In feite is dit een verzamelnaam voor een groep van regelmethoden die alle gebruik maken van een model dat geactualiseerd wordt vanuit metingen en waarmee vervolgens in de nabije toekomst wordt gekeken. Door het model te actualiseren met metingen van de actuele variabelen uit het watersysteem en vervolgens dit model naar de referentie te regelen, wordt impliciet ‘Feedback control’ toegepast. Doordat met het model in de toekomst wordt gerekend en hierbij de verstoringen worden meegenomen, werkt ‘Model predictive control’ tevens als ‘Feedforward control’. Daar bovenop zijn er nog twee belangrijke eigenschappen die maken dat ‘Model predictive control’ zeer geschikt is voor toepassing in het operationele beheer van bepaalde watersystemen.

De eerste belangrijke eigenschap is de toepassing van een doelfunctie die wordt geoptimaliseerd. De doelfunctie is een optelling van subdoelen die conflicterend zijn, waaraan met weegfactoren een relatief belang wordt gegeven. Dit is in watersystemen aan de orde van de dag. Beschouw twee aangrenzende peilgebieden tijdens een hevige neerslaggebeurtenis. In het ene peilgebied ligt veel stedelijk gebied, terwijl het andere voornamelijk grasland is. Beide peilgebieden dienen water te bergen, maar het is duidelijk dat de waterstanden in de waterlopen van het graslandgebied meer mogen stijgen. Door in de doelfunctie de waterstandstijgingen van beide gebieden op te nemen, deze te wegen met verschillende weegfactoren en vervolgens de doelfunctie te minimaliseren, worden regelacties berekend die rekening houden met de verschillende belangen. De weegfactor op de waterstandstijging van het stedelijke gebied heeft een hogere waarde, om zo een hogere afstraffing te verkrijgen op waterstandstijgingen in dit gebied.

Een ander voorbeeld is de afweging die moet worden gemaakt tussen het zo dicht mogelijk bij het streefpeil houden van de waterstand ten opzichte van de energie die hiervoor nodig is in de regelende gemalen. Het Noordzeekanaal wordt op peil gehouden door het spui- en maalcomplex te IJmuiden. De waterstand mag fluctueren in een marge rondom het streefpeil van ongeveer plus en min tien centimeter. Tijdens laagwater op zee kan tegen verwaarloosbare kosten worden gespuid. In de tussengebiedende periodes van hoog water dient, indien nodig, te worden gepompt met grote pompinstallaties die veel energie verbruiken. De twee subdoelen, zomin mogelijk waterstandafwijking van streefpeil en zo laag mogelijke energieconsumptie van de pompen, worden tegen elkaar afgewogen in een doelfunctie, die



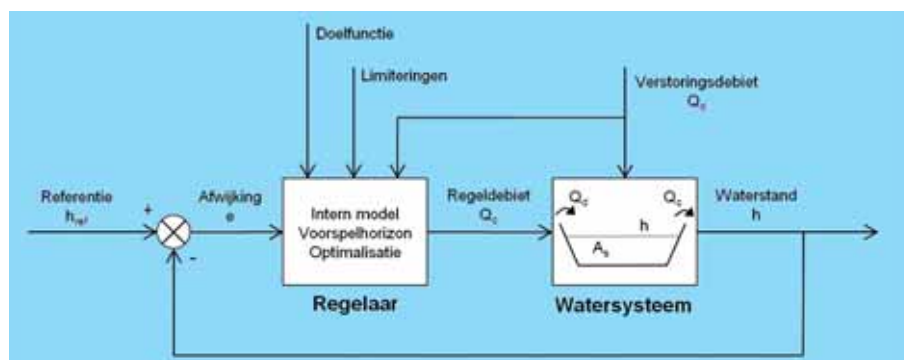
Afb. 1.

wordt geminimaliseerd. Dit levert in gevallen wanneer de aanvoer naar het kanaal niet hoog is, een cyclus op waarin tijdens hoog water de waterstand in het kanaal geleidelijk oploopt en tijdens laag water sterk daalt door de spui mogelijkheden. Alleen wanneer de aanvoer hoog is, wordt gebruik gemaakt van de pompinstallaties.

De tweede belangrijke eigenschap die ‘Model predictive control’ bezit, is het kunnen omgaan met limiteringen van de kunstwerken. Met het interne model dat de regelaar gebruikt, kan in de nabij toekomst

worden gekeken. Over deze voorspelhorizon kunnen ten gevolge van extreme verstoringen grote afwijkingen van de referentie optreden, vooral wanneer het regelbereik gelimiteerd is. ‘Model predictive control’ kan besluiten om al, voordat het maximale regelbereik aan de orde is, extra regelacties te adviseren om problemen op een later moment in de voorspelhorizon te vermijden. Dit kan worden geïllustreerd aan de hand van de toepassing van ‘Model predictive control’ op een boezemsysteem. De totale pompcapaciteit van alle gemalen tezamen bedraagt 60 kubieke meter per seconde. De inloop is bij

Afb. 2.



extreme neerslag hoger dan deze maximale capaciteit en er is slechts beperkte bergingscapaciteit doordat de waterstanden in de boezemkanalen maar tien centimeter mogen stijgen. De 'Model predictive controller' kijkt 24 uur vooruit en maakt gebruik van een inloopmodel, gevoed door de verwachte neerslag. Wanneer de combinatie van initiële boezemwaterstanden (uit metingen), hoge inloop en de limitering van de pompcapaciteit maakt dat de maximale waterstandstijging over de voorspelhorizon groter wordt dan tien centimeter, adviseert 'Model predictive control' om eerder te beginnen met uitmalen. Dit resulteert in het volaanshakelen van alle pompen, zelfs nog voordat de neerslaggebeurtenis begint. Dit is een bekend verschijnsel in het waterbeheer, namelijk voormalen. Uiteraard wordt niet meer voorgemalen dan nodig is en ook niet meer dan is toegestaan door de limitering aan de waterstanddaling. De grafieken tonen de resultaten van dit voorbeeld bij toepassing van 'Feedback control', 'Feedforward control' in combinatie met 'Feedback control' en 'Model predictive control'.

Te zien is dat 'Feedback control' pas reageert wanneer een afwijking optreedt. 'Feedforward control' kan, door gebruik te maken van de huidige meting (schatting) van het inloopdebiet, de waterstand iets langer op streefpeil houden. 'Model predictive control' kan, door informatie over de voorspelde verstoring en limiteringen van de kunstwerken te gebruiken, de waterstand binnen de toegestane marges houden.

De optimalisatie uitgevoerd over de voorspelhorizon is een rekenkundig intensief probleem, waar een moderne computer enkele seconden tot enkele minuten mee bezig is. Omdat gebruik moet worden gemaakt van de meest recente metingen uit het watersysteem en van de meest recente verwachtingen van de randvoorwaarden, wordt de optimalisatie iedere regeltijdstep herhaald. Bij iedere optimalisatie wordt opnieuw in de toekomst gekeken, vandaar de naam voortschrijdende horizon voor deze functionaliteit. Dit maakt dat de interne modellen die worden gebruikt in 'Model predictive control' niet zeer nauwkeurig hoeven te zijn. Bij iedere regeltijdstep worden namelijk alleen de berekende regelacties voor het huidige moment gebruikt, die voornamelijk worden beïnvloed door de metingen van de huidige toestand en de verwachtingen op korte termijn. In afbeelding 2 wordt het schema van de 'Model predictive controller' getoond.

Peter-Jules van Overloop
(TU Delft afdeling Watermanagement)