

Innovatieve sturing inzet noodretentiegebied Meene

PIETER FILIUS, SJON MONINCX, KLAAS-JAN VAN HEERINGEN, RUUD KASSING EN DIRK DIEDEREN.

Het dagelijkse operationele waterbeheer kent specifieke (hydrologische) uitdagingen. Natuurlijk kunnen hydrologische berekeningen worden gemaakt met een rekennauwkeurigheid van millimeters. Maar hoe moet je omgaan met de onzekerheid in modeluitkomsten als het gaat om het maken van een operationele beslissing? Het bewust omgaan met onzekerheden in de weersverwachting, je eigen model en dus ook je berekeningsresultaat is typerend voor operationeel waterbeheer. Dit maakt het juist ook heel interessant. In dit artikel geven we een voorbeeld van hoe bij waterschap Vechtstromen de eventuele inzet van een noodretentiegebied wordt onderbouwd op basis van tree-based Model Predictive Control (MPC). Deze applicatie draait binnen FEWS Vecht, het operationele systeem waarmee verwachtingen voor afvoeren en waterhoogtes op de Vecht worden gemaakt.

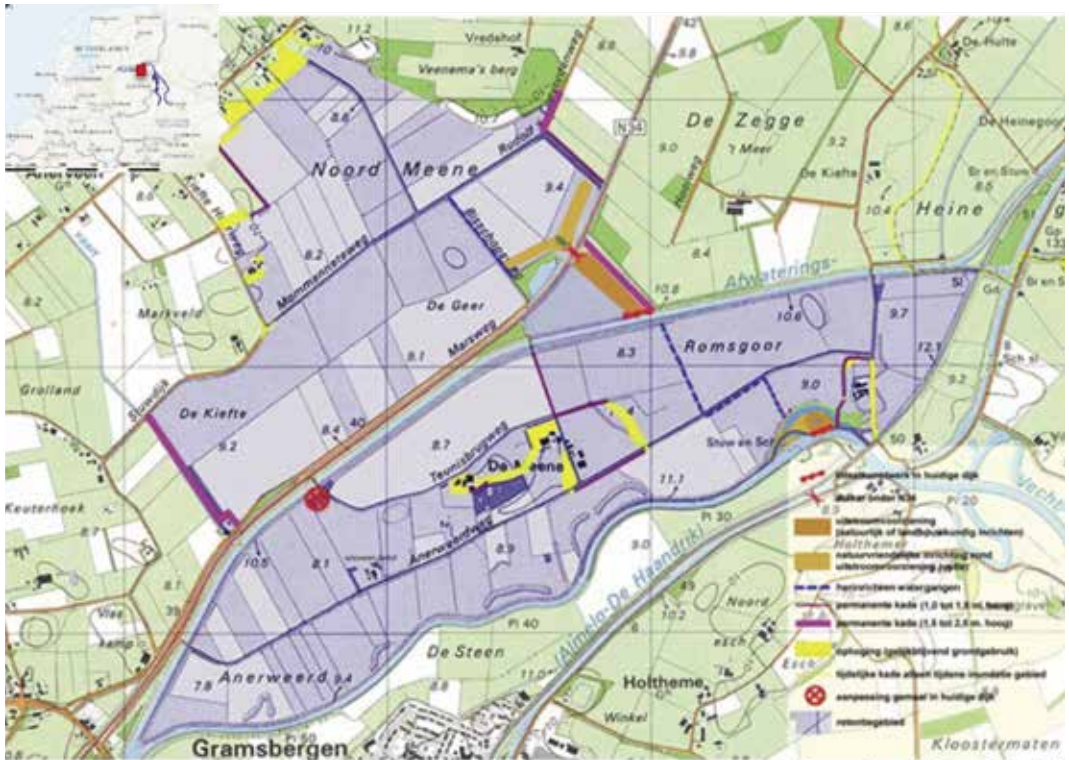
Artikel

Inleiding

In oktober 1998 steeg het water in de Overijsselse Vecht tot recordhoogte door zware neerslagdepressies. Het scheelde slechts enkele centimeters of de dijken in de omgeving van Coevorden en Hardenberg zouden overstromen. Er stond een kraanmachine op de dijk klaar om een gat te graven in de dijk ter hoogte van De Haandrik. Dit om beide steden te behoeden voor overstroming.

Door het 'parkeren' van water kan overlast in de benedenstreams gelegen steden langs de Vecht worden voorkomen. Het bestuur van het toenmalige waterschap Velt en Vecht heeft naar aanleiding van deze situatie besloten om noodretentiegebieden aan te leggen. Hiervoor zijn twee lagergelegen poldergebieden van de Meenes ingericht, elk met een eigen inlaatconstructie. Iedere inlaatconstructie bestaat uit vier schuiven die met kraanmachines opgetild kunnen worden. De poldergebieden van de Meenes worden landbouwkundig gebruikt. Individuele boerderijen zijn beschermd met kades.

Een overzicht van het gebied is weergegeven in afbeelding 1. Zuid Meene heeft direct invloed op de waterstanden op de Vecht. De inzet van Noord Meene heeft effect op het Afwateringskanaal en daarmee op zowel Coevorden als de Vecht, waar het Afwateringskanaal op afwatert.

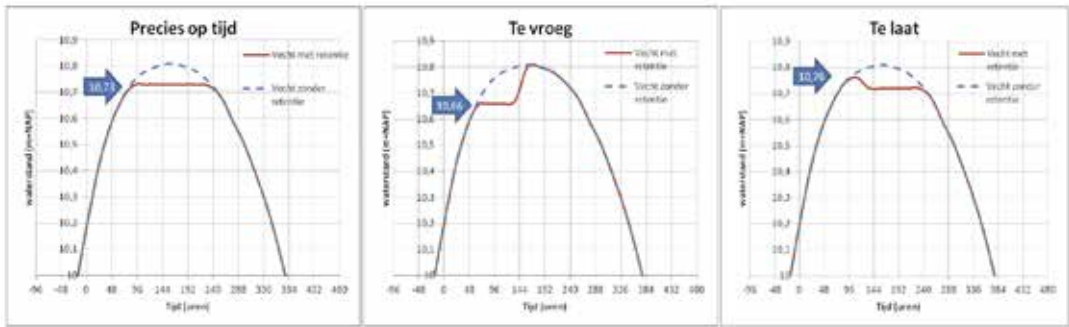


Afbeelding 1 Ligging polders en noodretentiegebieden Noord en Zuid Meene met inlaatschuyven (zie foto's in Afbeelding 2). Uitleg: Zuid Meene heeft direct invloed op de waterstanden op de Vecht. De inzet van Noord Meene heeft effect op het Afwateringskanaal en daarmee op zowel Coevorden als de Vecht (waar het Afwateringskanaal op afwatert).



Afbeelding 2 Het complex van inlaatschuyven voor het vullen van het noodretentiegebied (links: oefening van waterschap Vechtstromen, rechts: overzichtsfoto)

De inzet van de noodretentiegebieden vraagt een voorbereidingstijd van 48 uur. Deze tijd is nodig voor tijdige evacuatie en het inzet-gereed maken van de gebieden (het dichtzetten van duikers, afsluiten van coupures en het verplaatsen van vee). Daarnaast vergt het openen van de schuiven zelf met kraanmachines ook de nodige voorbereiding (zie afbeelding 2). Daarom is besloten om een hoogwaterverwachtingsmodel te maken. Voor het bepalen van de optimale inzet van de retentiegebieden is een zogenoemde 'inzet-module' ontwikkeld.



Afbeelding 3 Effect van de inzetstrategie van de retentiegebieden op de waterstand van de Vecht.

Afbeelding 3 illustreert het effect van de inzet van de noodretentiegebieden op de waterstand van Vecht. Bij een vroege inzet zijn de gebieden al volgelopen wanneer er alsnog een piekwaterstand op de Vecht optreedt. Dit levert alsnog overstromingsgevaar. Bij een late inzet worden de retentiegebieden niet optimaal gebruikt. Door de aanwezigheid van totaal acht schuiven, verdeeld over twee retentiegebieden, ontstaat de mogelijkheid om de gebieden gedoseerd te laten volstromen. Hiermee is het in principe mogelijk om de waterstand op de Vecht zo lang mogelijk op het maximaal wenselijk peil van NAP+10,60 m te houden.

Voor bepaling van de optimale inzetstrategie van de noodretentiegebieden zijn nodig:

- een hoogwaterverwachtingsmodel. Met dit model kan de hoogte, vorm en timing van de afvoergolf op de Vecht worden ingeschat;
- gegevens over de werkelijk optredende waterstanden op de Vecht en het Afwateringskanaal (monitoring);
- goed geïnstrueerde medewerkers en besluitvormers die de lokale situatie en procedures kennen.

Ter ondersteuning en optimalisatie van het besluitvormingsproces is het idee ontstaan voor ontwikkeling van een 'inzetool'. Deze tool wordt in dit artikel beschreven en uitgelegd. Een belangrijk startpunt hierbij is FEWS Vecht. Deze applicatie gebruikt het waterschap Vechtstromen voor ondersteuning in het operationele (hoog)waterbeheer.

FEWS Vecht

De Overijsselse Vecht werd tot 2004 beheerd door Rijkswaterstaat. Vervolgens is het beheer overgedragen aan de (huidige) waterschappen Vechtstromen en

Drents Overijsselse Delta. Als onderdeel van deze overdracht is een operationeel hoogwaterverwachtingssysteem ontwikkeld. Hierbij zijn alle betrokken waterbeheerders: (in totaal zeven partijen) uit zowel Nederland als Duitsland betrokken. En nog steeds werken deze waterbeheerders samen in het zogenaamde 'Samenwerkingsverband Modelinstrumentarium Vecht – Dinkel'.

In opdracht van het samenwerkingsverband is in 2011 door Deltares een hoogwatervoorspellingssysteem gebouwd, het zogenoemde FEWS Vecht (gebouwd met de Delft-FEWS software, zie Werner e.a., 2013). De applicatie verzamelt gericht metingen (waterstanden, debieten, klepstanden van stuwen) van alle waterbeheerders en verwerkt dit tot een consistent waterbeeld. Afbeelding 4 geeft een impressie van de applicatie zoals die wordt gebruikt door de hydrologen.



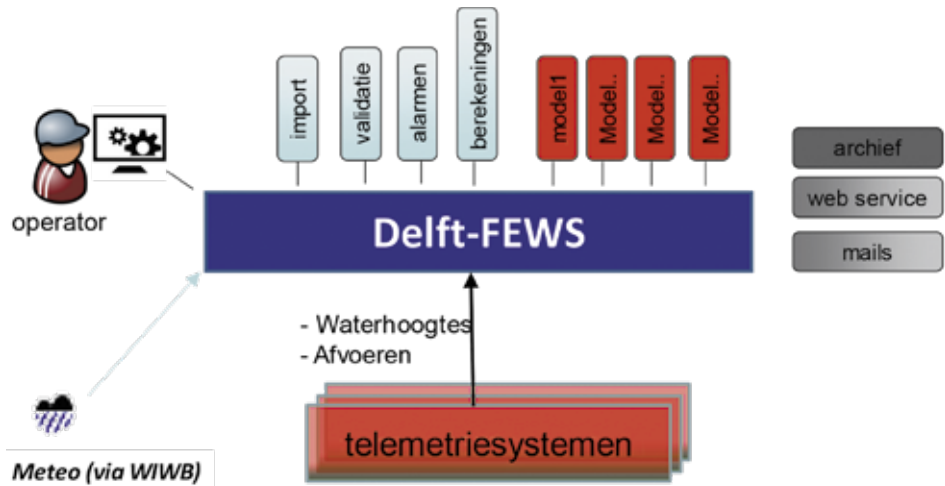
Afbeelding 4 Afbeelding van FEWS Vecht applicatie met overzichtskaart van het stroomgebied.

Voor het maken van hoogwaterverwachtingen werd bij aanvang een zogeheten Multi-Lineaire-Regressie (MLR) methode toegepast. Met deze methode werd op basis van statistische relaties en bovenstroomse metingen een inschatting gemaakt van de te verwachten benedenstroomse waterhoogtes. Tot dan toe werd MLR alleen handmatig in Excel gebruikt. Al snel werd doorgepakt en ontwikkelde Deltares de applicatie door tot een volwaardige toepassing die draait in een client-server omgeving, gehost bij Nelen & Schuurmans. Zo kan FEWS Vecht door alle waterschappen rondom de Vecht worden gebruikt.

Parallel hieraan is door respectievelijk HKV en Rura Arnhem een modelinstrumentarium ontwikkeld dat bestaat uit een neerslag-afvoermodel en een hydraulisch model. In de loop van de tijd is dit modelinstrumentarium fors uitgebreid met meerdere neerslag-afvoerconcepten (naast HBV ook Walrus), hydraulische

modellen en meteorologische producten (ECMWF, COSMO, ICON en ensembles). In 2016 is FEWS Vecht uitgebreid met modellen voor de stroomgebieden van de Dinkel en van Reest & Wieden. Ook faciliteert FEWS Vecht het ontsluiten van informatie naar derden (zoals buurwaterschappen en Rijkswaterstaat).

De opzet van FEWS Vecht is in de basis eenvoudig. Op basis van de Delft-FEWS software is een applicatie gebouwd die vanuit allerlei bronnen data verzamelt en deze consistent maakt. Het betreft zowel metingen als verwachtingen, zoals waterhoogtes, afvoeren, klepstanden, neerslagradarbeelden en neerslagverwachtingen (zie Afbeelding 5).

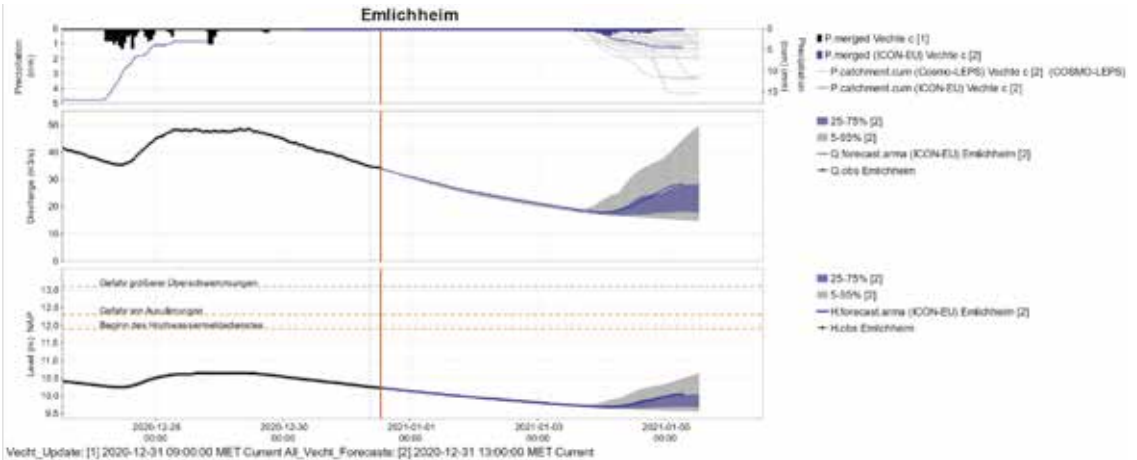


Afbeelding 5 Schematische weergave van de opzet van FEWS Vecht. Het hart wordt gevormd door de Delft-FEWS applicatie.

De applicatie genereert op basis van deze gegevens invoer voor de modellen die elk uur volautomatisch worden gedraaid en waarvan de resultaten weer worden getoond aan de gebruiker. Data-assimilatie zorgt ervoor dat de modelresultaten zo goed mogelijk aansluiten bij de metingen. Afbeelding 6 geeft een voorbeeld van een resultaat voor de locatie Emlichheim (op de Duits-Nederlandse grens), waar de verwachte neerslag, afvoer en waterhoogtes worden getoond.

Op basis van een ensemble van weersverwachtingen worden ensembles voor actuele afvoer- en waterstandsverwachtingen geleverd, zie afbeelding 6. De ensembles zijn niet in staat om de onzekerheid in deze verwachtingen weg te nemen en zijn daar ook niet voor bedoeld. De ensembles leveren echter een indicatie van de onzekerheden in de verwachtingen en zijn in het bijzonder nuttig voor het visualiseren van deze indicatie van onzekerheden. Daar waar de waarden van de ensembles uit elkaar lopen bevindt zich substantiële onzekerheid. Zoals te zien is in afbeelding 6 lopen de ensembles in het algemeen uit elkaar naarmate ze verder in de tijd vooruitlopen. Dit heeft te maken met accumulatie van modelfouten vanwege tijdsintegratie. Het correspondeert met het gegeven dat hoe verder we in de toekomst proberen te kijken, hoe onzekerder de toekomst is.

FEWS Vecht werkt volautomatisch, maar kan uiteraard ook handmatig worden bediend om allerlei scenario's door te rekenen. Naast de simulatiemodellen is nu ook een optimalisatiemodel toegevoegd, te weten de inzettool voor Meene. Deze inzettool moet een optimalisatievraagstuk beantwoorden maar krijgt te maken met een groot aantal ensembles. Een zogeheten *tree-based* techniek wordt gebruikt om daar zo goed mogelijk mee om te gaan.

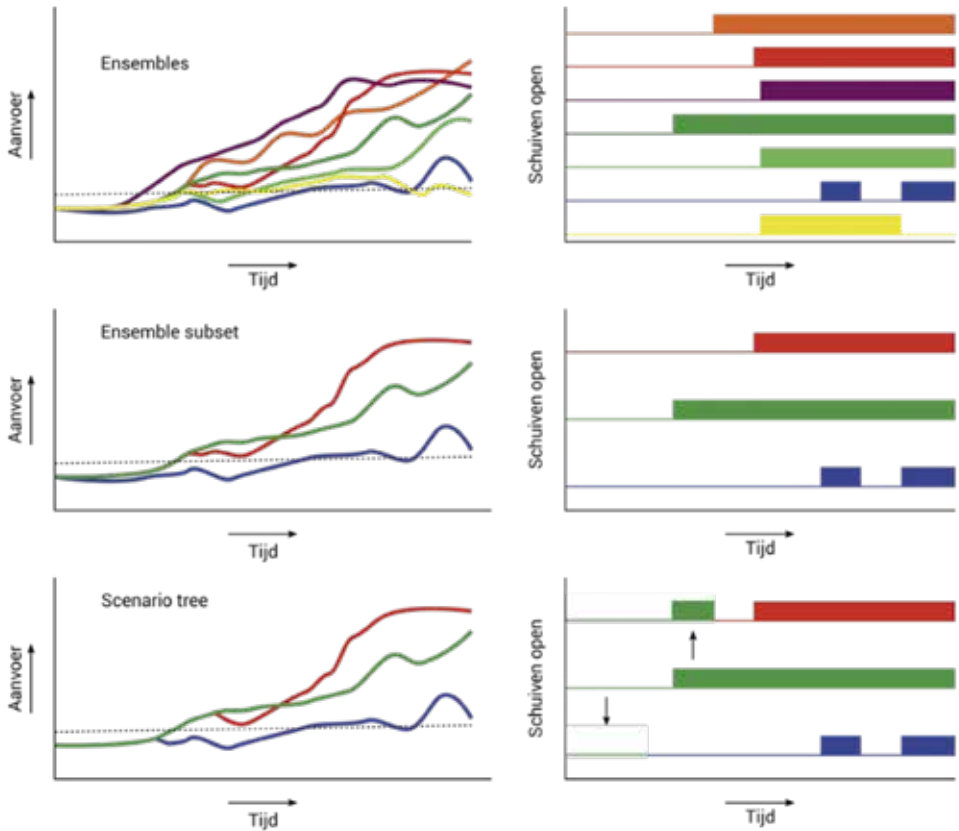


Abbeelding 6 Voorbeeld van een hoogwaterverwachting bij Emlichheim. Links van de verticale rode lijn (moment van verwachting) de metingen en rechts de verwachting. De bovenste grafiek toont de neerslag, inclusief een ensemble van neerslagaccumulaties, hetgeen resulteert in een afvoerverwachting, inclusief onzekerheidsbands (middelste grafiek) en de corresponderende waterhoogtes (onderste grafiek)

Tree-based MPC: de basis voor de inzettool

De inzettool is ontwikkeld door Mobile Water Management (MWM). De tool wordt binnen FEWS Vecht gebruikt als rekenmodel om te adviseren bij het inzetten van de noodretentiegebieden Noord en Zuid Meene. Inzet gebeurt door het openzetten van schuiven. Zoals we in de inleiding al opmerkten, is het van belang dat dit advies tijdig geleverd wordt: ten minste 48 uur van tevoren. Het gebied moet worden ontruimd, schotten moeten worden geplaatst en voorbereidingen moeten worden getroffen voor het openen van de schuiven. De inzettool presenteert de wiskundig-optimale inzet van de berging door exact per schuif de optimale actie te berekenen. Zoals uitgelegd in afbeelding 3 is het van belang om de schuiven op het juiste tijdstip te openen. Er is dus sprake van een optimalisatievraagstuk waarin een algoritme itereert naar het beste tijdstip. Bovendien hebben de schuiven invloed op de hydrodynamica, dus moet een vereenvoudigd, lineair hydrodynamisch model een groot aantal (circa 100-1000) keren worden doorgerekend. Deze techniek heet Model Predictive Control (MPC), zie Raso e.a., (2010).

Het gebruik van ensembles staat tegenover het belang om snel een advies te kunnen leveren over het juiste inzetmoment. Daarnaast moet het advies snel te interpreteren zijn. Daarom is ervoor gekozen om de omvang van de ensembles te reduceren, gebruikmakend van een slimme techniek: 'tree-based', in combinatie met MPC ook wel 'tree-based MPC' genoemd.



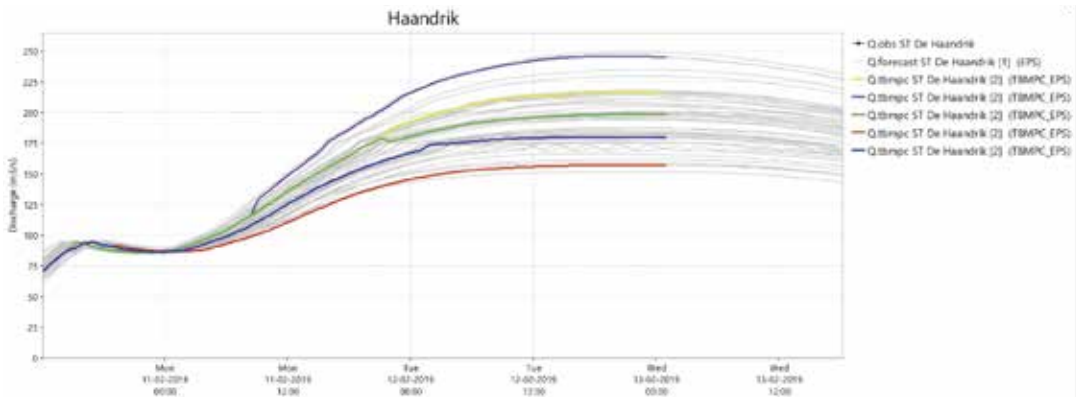
Afbeelding 7 Het principe van tree-based optimalisatie, waarbij een ensemble van mogelijkheden wordt gereduceerd tot een beperkt aantal oplossingspaden.

Afbeelding 7 demonstreert het principe van de techniek. Linksboven staat een voorbeeld van zeven ensembles, met rechtsboven het corresponderende advies per ensemble. Dit is al een behoorlijk aantal mogelijkheden, waar in de praktijk nog veel meer ensemble-leden worden aangeleverd. Zoals te zien kan het advies voor de optimale inzet van de schuiven voor elk ensemble-lid compleet anders zijn.

Links-midden wordt een subset van drie representatieve scenario's gekozen. De subset omvat zo goed mogelijk de envelop van onzekerheid. Zodra de rivierafvoeren van de verschillende ensemble-leden uiteen beginnen te lopen, worden takken uitgekozen die maximaal uit elkaar liggen, met rechts-midden de bijbehorende adviezen. Vanwege de reductie in het aantal adviezen is het al een stuk overzichtelijker voor de uitvoerder om de resultaten te interpreteren.

Linksonder wordt een extra truc uitgehaald om een stam te vormen. De takken beginnen met ongeveer dezelfde afvoer op basis van een ingestelde tolerantie en worden om die reden als een enkele stam beschouwd. Rechtsonder worden de bijbehorende adviezen consistent gemaakt, door het advies van de stam te kopiëren naar het advies voor elke tak.

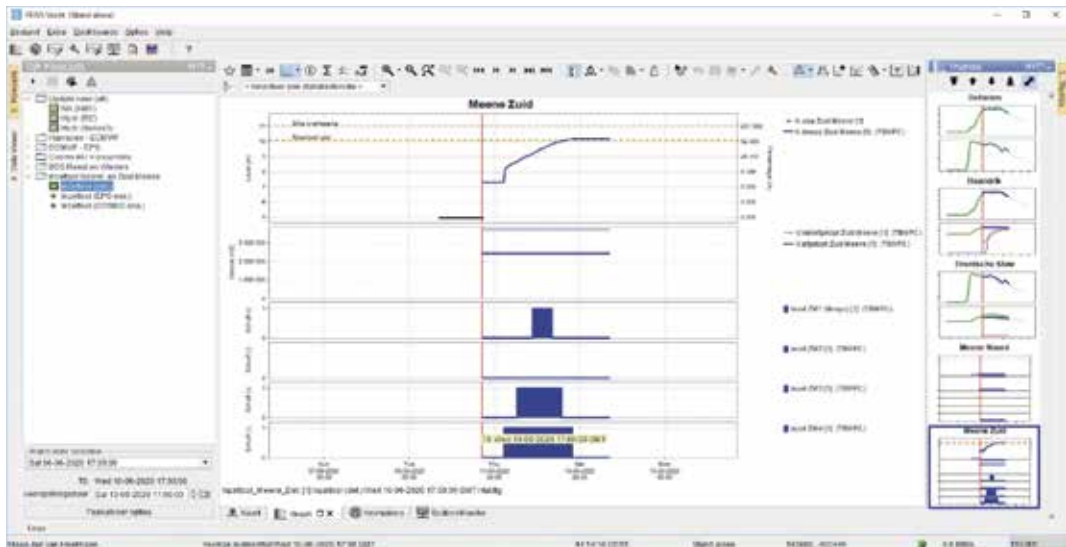
Afbeelding 8 toont een grafiek uit FEWS Vecht waarin de tree met individuele stammen wordt weergegeven op basis van deze techniek.



Afbeelding 8 Voorbeeld van de tree-based optimalisatietechniek, toegepast op een ensemble van berekende debieten bij stuw De Haandrik (grijze pluim). De gekleurde lijnen vormen samen de gereduceerde "tree", waarmee de totale onzekerheidsband wordt omvat.

Gebruik in de praktijk

Het resultaat van de berekening wordt getoond in concrete adviezen over het optimale tijdstip van inzet van elk van de schuiven. Het effect van de inzet wordt ook nog een keer volledig met het hydraulische model van de Vecht doorgerekend. Een voorbeeld hiervan is zichtbaar in afbeelding 9. Dit ondersteunt de hydroloog maximaal met een concreet advies. Dit advies wordt – naarmate het tijdstip van inzet steeds dichterbij komt – ook steeds meer "zeker"; een inherent voordeel van het gebruik van tree-based-MPC.

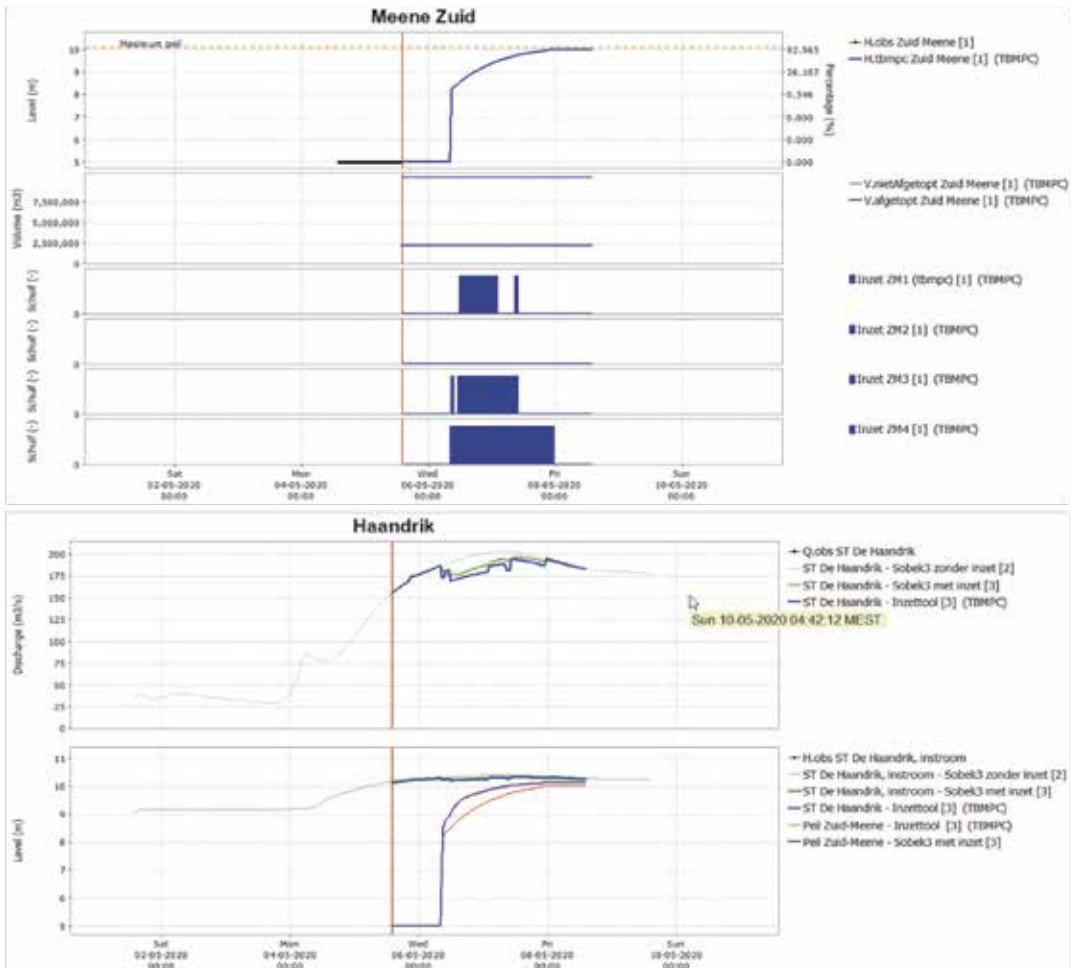


Afbeelding 9 Voorbeeld van presentatie uitvoer inzettool in FEWS Vecht: de verwachte vulling van het bergingsgebied, uitgedrukt in waterhoogte (bovenste figuur) en volume (2e figuur), gevolgd door de inzetmoment per schuif

Het kan natuurlijk zo zijn dat de tool aangeeft dat een inzet mogelijk nodig is, maar dat dit uiteindelijk niet zo is. Vanwege de noodzakelijke voorbereidings-tijd is het echter nodig om in zo'n geval de inzetprocedures wel tijdig te starten.

Voorbeeld "1998-plus scenario"

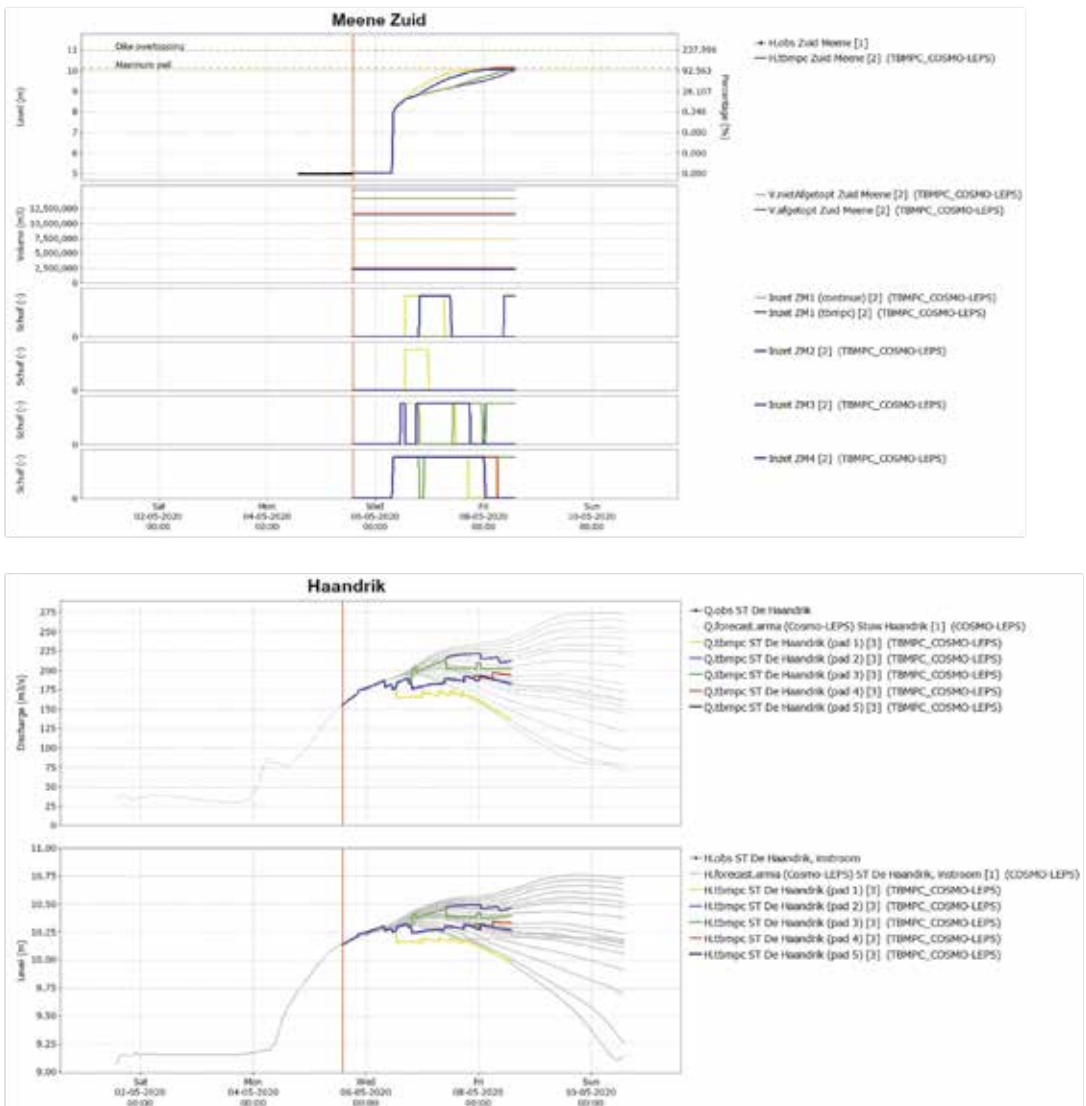
De werking van de inzettool illustreren we aan de hand van een extreem neerslagscenario dat is afgeleid van het hoogwater van oktober 1998. In deze berekening hebben we de neerslaghoeveelheid nog wat "opgeplust" om te komen tot situaties waarbij inzet nodig is. Dit scenario is toegepast op een denkbeeldige datum in mei 2020. Afbeelding 10 toont de resultaten van de inzettool voor een deterministische berekening. De bovenste grafiek toont de inzet van de vier schuiven en de resulterende vulling van het bergingsgebied. Duidelijk is te zien dat de tool flink "speelt" met de schuiven om de waterstand op de Vecht (bij De Haandrik) zo vlak mogelijk te krijgen. Dat is goed te zien in het onderste deel van de afbeelding, die de afvoer en waterhoogtes bij De Haandrik toont.



Afbeelding 10 Resultaten van de inzettoolberekening voor Meene Zuid voor het 1998 scenario (deterministisch)

Per saldo is het effect van de inzet van de bergingsgebieden dat de maximum waterhoogte in de Vecht met circa 10 cm afneemt. Daarnaast en misschien nog wel belangrijker, is dat de afvoer wordt afgevlakt: de piekafvoer daalt, maar er wordt zoveel mogelijk debiet afgevoerd naar benedenstrooms.

Afbeelding 11 toont op een vergelijkbare manier de resultaten voor de ensemble-berekening. Merk op dat we in dit fictieve voorbeeld kunstmatig een ensemble hebben gegenereerd op basis van een factor op de deterministische neerslagverwachting die varieert tussen 0,5 en 2,0. De afbeelding toont de verschillende paden met verschillende kleuren, zowel wat betreft inzet van schuiven, vulling van het bergingsgebied als resulterende afvoeren en waterhoogtes op de Vecht.



Afbeelding 11 Resultaten van de inzettoelberekening voor Meene Zuid voor het 1998 scenario (probabilistisch)

Discussie en nabeschuiving

De inbouw van de inzetmodule voor de noodretentiegebieden in het hoogwaterverwachtingsinstrumentarium bekroont een ontwikkeltraject van ongeveer tien jaar. Daarvoor was het waterschap afhankelijk van enkele "oude rotten in het vak" om kritische hoogwatersituaties in te schatten. De ervaring uit 1998 heeft geleerd dat ook zij werden overvallen door de snelheid waarmee de golfopbouw zich voltrok.

Tegenwoordig is een uitgebreider meetnet (tot ver in Duitsland) beschikbaar. Verwachtingsmodellen leveren tijdig informatie over mogelijk aankomend hoogwater. Maar dit alles ontslaat ons niet van de verplichting om de "computerwerkelijkheid" voortdurend te toetsen aan de situatie in het veld. Dit vraagt een goed contact tussen binnen (hydroloog) en buiten (peilbeheerder). Zonder goede interpretatie en (tijdige) opvolging van adviezen van de inzettool kunnen situaties nog steeds escaleren. Om dit risico te beheersen zijn procedures beschreven in draaiboeken. En wordt regelmatig geoefend met alle betrokken partijen in de veiligheidsregio.

Het grote voordeel van de inzetmodule is dat het waterschap nu een instrument heeft waarmee ze navolgbaar inzichtelijk kan maken hoe een daadwerkelijke inzet zich voltrekt. Dat is met name van belang omdat op dat moment een opgeschaalde GRIP-4 calamiteitsituatie van kracht is waarbij het waterschap de voorzitter van de veiligheidsregio moet adviseren over het exact juiste inzetmoment. Het komt hierbij aan op stalen zenuwen en juiste keuzes. Het is in dat geval wel prettig om als adviserend hydroloog goed gereedschap te hebben waarmee dat ook werkelijk mogelijk is.

De ontwikkeling van de inzettool en aanpassing van FEWS Vecht zijn mede tot stand gekomen door subsidie van Interreg.



Software beschikbaarheid en overige informatie:

- Delft-FEWS gratis beschikbaar via <https://oss.deltares.nl/web/delft-fews/>
- Contact info@mobilewatermanagement.com voor informatie over de Inzettool

Literatuur

Raso, Luciano, Schwanenberg, Dirk, van de Giesen, Nick en Overloop, Peter. (2010). Tree-Scenario Based Model Predictive Control. 3178.

Werner, M., J. Schellekens, P. Gijsbers, M. van Dijk, O. van den Akker, K. Heynert, The Delft-FEWS flow forecasting system, Environmental Modelling & Software, Volume 40, 2013, Pages 65-77, ISSN 1364-8152, <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2012.07.010>.

Summary Innovative control of the Meene retention area using tree-based MPC

In this article we describe an application of tree-based MPC, operationally used to provide decision support on the operation of the retention areas of North and South Meene. These retention areas are located next to the Vecht river and are meant to reduce flood and inundation in the region. The water manager operates the real-time flood forecasting system FEWS Vecht, based on the Delft-FEWS software. The tree-based MPC model runs within this framework. The operator gets clear instructions from the FEWS Vecht application on which operation is the best to reduce the flood peak. The algorithm makes use of the tree-based technique to deal with uncertainties in the weather forecasts and subsequent flow forecasts.

Auteurs

PIETER FILIUS

Waterschap Vechtstromen
P.Filius@vechtstromen.nl

SJON MONINCX

Waterschap Vechtstromen
S.Monincx@vechtstromen.nl

KLAAS-JAN VAN HEERINGEN

Deltares, afdeling operationeel waterbeheer
KlaasJan.vanHeeringen@deltares.nl

DIRK DIEDEREN

Mobile Water Management
Dirk@mobilewatermanagement.com

RUUD KASSING

Voorheen Mobile Water Management, thans RoyalHaskoningDHV
RuudKassing@gmail.com