



Projectvoorstel

ENERGIE- EN KOSTENREDUCTIE IN BOEZEM- EN POLDERBEMALING



Opgesteld door:

Hans Kuipers (WS Zuiderzeeland)
Bart van Esch (Technische Universiteit Eindhoven)
Maarten Meijburg (e-Risk)
Joep Grispen (Nelen en Schuurmans)
Ivo Pothof, Klaas-Jan van Heeringen (Deltares)

Januari 2016



AANLEIDING EN HOOFDDOEL

De Unie van Waterschappen (UvW) heeft in het voorjaar van 2010 met het Rijk een Klimaatakkoord getekend. In dit akkoord zijn de ambities van de waterschappen voor klimaat en duurzaamheid vastgelegd. Een onderdeel van dit akkoord betreft de doelstelling om 30% energie-efficiency te behalen in de periode 2005-2020. Onder energie-efficiency wordt hierbij verstaan: energiebesparing en inzet van duurzame energie. RVO, de Unie van Waterschappen en STOWA hebben de intentie om de meerjaren-afspraken energie-efficiency, die nu gelden voor de afvalwaterzuiveringen te verbreden naar het watersysteem. In het watersysteem liggen nog tal van kansen op het gebied van energie-efficiency ([1]). Van de waterschappen heeft 75% aangegeven nog niet de energie-efficiency van de gemalen te bewaken.

Het hoofddoel van dit projectvoorstel betreft de ontwikkeling van een toolbox voor nieuwe regelingen van gemalen met het oog op energie- en eventuele kostenbesparing, als alternatief voor de huidige peilgestuurde regelingen. Behalve van de hydraulische eigenschappen van de pompen maakt het nieuwe regelsysteem optimaal gebruik van

- weersvoorspellingen van regenval,
- voorspellingen van buitenwaterniveaus, bv. getijdenbewegingen,
- bergingscapaciteit in het achterland,
- variaties in de kostprijs van energie, bv. dag- en nachttarieven en / of variabele marktprijzen (APX)
- voorkomen onbalans in vraag en aanbod van elektriciteitsvoorziening t.g.v. een toenemend percentage zon- en windenergie.

RECENTE INITIATIEVEN

In het werkveld Watersystemen zijn meerdere initiatieven gestart, waaronder

- Instelling van de expertgroep “Energiezorg Watersysteem” in 2013 door de UvW, gericht op het uitwisselen van kennis en het inventariseren van voorbeeldprojecten, kansen en knelpunten op het gebied van energiebesparing en opwekking van duurzame energie
- Studie van WS Rivierenland naar de mogelijkheden van energie- en kostenbesparing binnen de bestaande peilgestuurde regeling van gemaal Altena ([2],[3])
- Studie van WS Scheldestromen naar de mogelijkheden van energiebesparing voor bestaande peilgestuurde pompregelingen door gebruikmaking van eb- en vloedbeweging ([4])
- Studie door Eneco i.s.m. Hoogheemraadschap Delfland naar de mogelijkheden van kostenbesparing door sturing van waterbeheer op basis van het aanbod van energie ([5])
- Studie van Antea i.s.m. Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier naar de rendementsverbetering van 5 vijzelgemalen ([6])
- Studie naar een beslissingssysteem voor gemalen en spuisluizen voor de voorspelling van overstromingen ([7]) en het voorkomen ervan ([9]), Waterschap Noorderzijlvest i.s.m. Deltares
- Studie van WS Zuiderzeeland i.s.m. Tauw naar de energieaspecten van poldergemalen [10]
- Pilot van HHNK met Nelen & Schuurmans naar de mogelijkheden voor sturen op de APX markt [14]
- *Workshops Energieaspecten Bemaling*, 23 Sept. 2014 en 13 Mrt. 2015, Waterschap Zuiderzeeland
- Rijkswaterstaat werkt samen met Stowa, UvW en Deltares in het project Slim Watermanagement. Dit project beoogt het huidige watersysteem beter te benutten door een verbeterde samenwerking tussen waterbeheerders in het operationele waterbeheer en met behulp van beschikbare (real-time) data, informatievoorziening en modellen. Dit project is gericht op de organisatorische aspecten van de samenwerking tussen verschillende waterbeheerders. Het voorliggende projectvoorstel vormt een belangrijke bouwsteen voor gebiedsoverstijgend Slim Watermanagement.



HUIDIGE POMPREGELINGEN

In boezems en polders wordt in het algemeen een seizoensgebonden streefpeil gehanteerd. Gemalen, spuisluizen en stuwen worden gebruikt om het streefpeil te handhaven binnen een zekere marge. De meeste gemalen en spuien beschikken over een besturingssysteem dat is gebaseerd op de lokale en actuele situatie ter plaatse. Dat wil zeggen dat beslissingen over wel of niet pompen cq. spuien, of het toerental van de pompen, genomen worden op basis van de actuele waterstanden bij dat gemaal of spui.

Dit type besturingen wordt aangeduid met de term *feedback control*. Het nadeel van dergelijke regelingen is dat geen rekening kan worden gehouden met de verwachte grootte van het wateraanbod door bijvoorbeeld regenval of variaties in de buitenwaterstand door bijvoorbeeld het getij, tenzij handmatig wordt ingegrepen.

De tegenhanger van *feedback control* is *Model Predictive Control* (MPC). In een dergelijk besturingssysteem wordt met een model berekend wat het effect is van een regelstrategie in de (nabije) toekomst. Weersvoorspellingen en andere toekomstige veranderingen, zoals getijvariatie, kunnen hierin worden betrokken.

FEEDBACK CONTROL IN GEMALEN

Voor een gemaal is een minimaal en maximaal polderwaterniveau vastgesteld. Als het maximale peil wordt bereikt, wordt de pomp gestart. Verpompen duurt voort totdat het minimale waterniveau wordt bereikt waarna de pomp wordt stilgezet. Dit is de basis van de peilgestuurde pompregeling. In de tijd gezien vertoont het polderpeil hierdoor een typische “zaagtand-structuur”.

Als een gemaal over meer dan één pomp beschikt, worden de in- en uitslagpeilen van de pompen verschillend gekozen. De pompen worden dan na elkaar bij- en afgeschakeld al naar gelang het wateraanbod hiertoe aanleiding geeft.

Als pompen over een toerenregeling beschikken kan hiervan gebruik worden gemaakt om de capaciteit van de pompen aan te passen. Bij bereiken van het inslagpeil wordt de pomp ingeschakeld bij minimaal toerental. Als echter het waterniveau niet zakt maar doorstijgt, zal het pomptoeental (evt. stapsgewijs) worden verhoogd tot het maximale toerental is bereikt.

Een voorbeeld van een peilgestuurde pompregeling is de zogenaamde PEB-regeling van Bosman Watermanagement. In deze regeling wordt het minimale toerental berekend met het oog op een zo laag mogelijk energieverbruik. Dit optimale toerental is afhankelijk van het statische opvoerhoogteverschil over het gemaal. Als het waterniveau niet kan worden gehandhaafd wordt een hoger toerental berekend aan de hand van een doelniveau dat bereikt moet worden op een te kiezen later tijdstip.

De marges rond het streefpeil (en daarmee de in- en uitslagpeilen van de pompen) worden vaak variabel ingesteld. Een voorbeeld is een lager in- en uitslagpeil tijdens de nacht dan overdag. Omdat de pompen hierdoor relatief vaker pompen tijdens de nacht zal een lager daluren-tarief leiden tot een verlaging van de totale energiekosten ([2],[3]). Om dezelfde reden kan een lager energieverbruik worden bereikt als de in- en uitslagpeilen lager worden gekozen tijdens de periode van lage zeewaterstand in een getijdencyclus ([4]).

In de meet- en regeltechnologie wordt ook nog de zogenaamde feedforward control onderscheiden. Hierbij wordt nog steeds op een actuele systeemvariabele (meting) gereageerd, maar dan gaat het om variabelen die een indicatie zijn voor toekomstige veranderingen. Een voorbeeld hiervan is het sturen op gemeten neerslag en bij hoge neerslagintensiteit alvast beginnen te malen, terwijl de actuele waterhoogte nog niet stijgt. Op deze manier kun je dus al in zekere mate, maar beperkt, anticiperen.



MODEL PREDICTIVE CONTROL (MPC)

Een meer geavanceerde methode om goed te kunnen anticiperen betreft Model Predictive Control (MPC). Hierbij wordt met behulp van een intern model een inschatting gemaakt van wat het (water)systeem doet, gegeven de verwachte neerslag en inzet van kunstwerken. Vervolgens wordt die inzet bepaald waarbij zo goed mogelijk wordt voldaan aan de sturingsdoelen. Deze sturingsdoelen (bijv. streefpeil handhaven, zo laag mogelijk energieverbruik of -kosten, etc) worden samengevat in een doelfunctie (ook wel kostenfunctie) die wordt geminimaliseerd.

In 2010 is door Deltares een studie uitgevoerd in opdracht van Waterschap Noorderzijlvest en Wetterskip Fryslân. Hierin werd de waterafvoer vanuit Groningen, Friesland en Drenthe richting de Waddenzee gemodelleerd met een combinatie van SOBEK (voor de dynamische modellering van de waterwegen) en WANDA (voor de modellering van de gemalen, stuwen en spuisluizen). Op basis van de verwachte wateraanvoer (uit een weersvoorspelling) en de getijdenbeweging van de Waddenzee kunnen hiermee de waterstanden in de polders worden voorspeld. Voor de werking van de gemalen en de sluizen werd de peilgestuurde (feedback) regeling genomen. Dit systeem is gebruikt om de risico's op overstromingen in kaart te brengen ([7]) en om de noodzaak van het nieuwe gemaal Lauwersoog te onderzoeken ([11]).

In de volgende stap werden de modellen SOBEK en WANDA geïntegreerd in een *Real-Time Control* (RTC) systeem. Samen met weersvoorspellingen voor het verwachte wateraanbod en de getijdenbeweging van de Waddenzee vormde dit de basis voor een MPC systeem ([8],[9]). Een optimalisatie- algoritme werd gebruikt om de meest optimale regelstrategie te kiezen uit een reeks van mogelijke alternatieven, met als doel om de afwijkingen van de polderpeilen t.o.v. het streefpeil te minimaliseren ([12]). Minimalisatie van energie of energiekosten was geen expliciet doel, maar een secundair gevolg van de betere benutting van de bergingscapaciteit van het poldersysteem. Belangrijk in dit verband is ook dat de pompen in deze studie een vast toerental hadden. Regeling van het toerental om energieverbruik te reduceren werd niet toegepast.

In de afgelopen jaren zijn verschillende MPC regelingen in het waterbeheer operationeel gekomen. Voorbeelden zijn de sturing van gemaal en spuisluizen van IJmuiden (Noordzeekanaal) en de boezemgemalen van Delfland en Noorderzijlvest.

REDUCEREN ONBALANS ELEKTRICITEITSSECTOR

Vanwege moeilijk voorspelbare componenten in de vraag en vooral het aanbod van elektriciteit ontstaat er op sommige momenten in de dag een onbalans tussen vraag en aanbod die voor instabiliteit van het elektriciteitsnetwerk kunnen zorgen. De kans op deze onbalans zal worden vergroot door voorspelfouten in de output van zonne- en windenergie. Door de groei van het aandeel zonne- en windenergie zal in de komende decennia de invloed van deze voorspelfouten toenemen en de kans op situaties waarbij een onbalans tussen vraag en aanbod ontstaat, vergroten. Om de negatieve impact van onbalans te beperken en om te zorgen dat de CO₂ vrije elektriciteit van windmolens en zonnestroom centrales optimaal kan worden gebruikt is een intelligente inzet van flexibele elektrische capaciteit nodig. Deze flexibele capaciteit kan intelligent, bijvoorbeeld op basis van weersvoorspellingen, worden ingezet op momenten dat de elektriciteitproductie van wind en zon onverwacht elektriciteitsoverschotten of –tekorten veroorzaakt. De poldergemalen beschikken in hoge mate over flexibele elektrische capaciteit. De poldergemalen hebben een gezamenlijk opgesteld vermogen van orde 200 MW, waarmee dus zowel een relevante bijdrage kan worden geleverd aan de toekomstige netwerkstabiliteit als aan de optimale inzet en gebruik van CO₂-vrije elektriciteit. De systeemkennis van de waterschappen is dus waardevol voor een verduurzaming en de stabiliteit van het Nederlandse elektriciteitsstelsel. Een van de doelstellingen van dit project is om de waterschappen van de nodige informatie te voorzien om de beschikbare elektrische gemaalflexibiliteit via samenwerking met energiebedrijven optimaal op de markt in te kunnen zetten.

NIEUWE REGELING

Een groot nadeel van de huidige *feedback* pompregelingen is dat geen gebruik wordt gemaakt van schattingen van het wateraanbod in de nabije toekomst. Hierdoor kan niet worden geanticipeerd op een verwachte droge of juist natte periode. Tevens kan de buffercapaciteit van het achterland niet optimaal worden benut.

De nieuwe regeling zal worden geïmplementeerd in de open-source toolbox RTC-tools van Deltares (RTC-Tools 2.0) en is een doorontwikkeling van de huidige versie van RTC Tools en CONTROLNext. Deze toolbox bevat triggers en feedback controllers evenals ondersteuning voor MPC. Ook bevat het verschillende waterbouwkundige en hydraulische modellen die onder andere betrekking hebben op geulstroming, bassins, afstroming van regenwater en grondwaterstroming. Door deze modellen onderling te koppelen, is het mogelijk MPC-regelaars op te stellen voor volledige waterbouwkundige systemen. Een dergelijk systeem bevat een gehele polder met daarin meerdere kanalen, bassins, pompgemalen, stuwen en spuien.

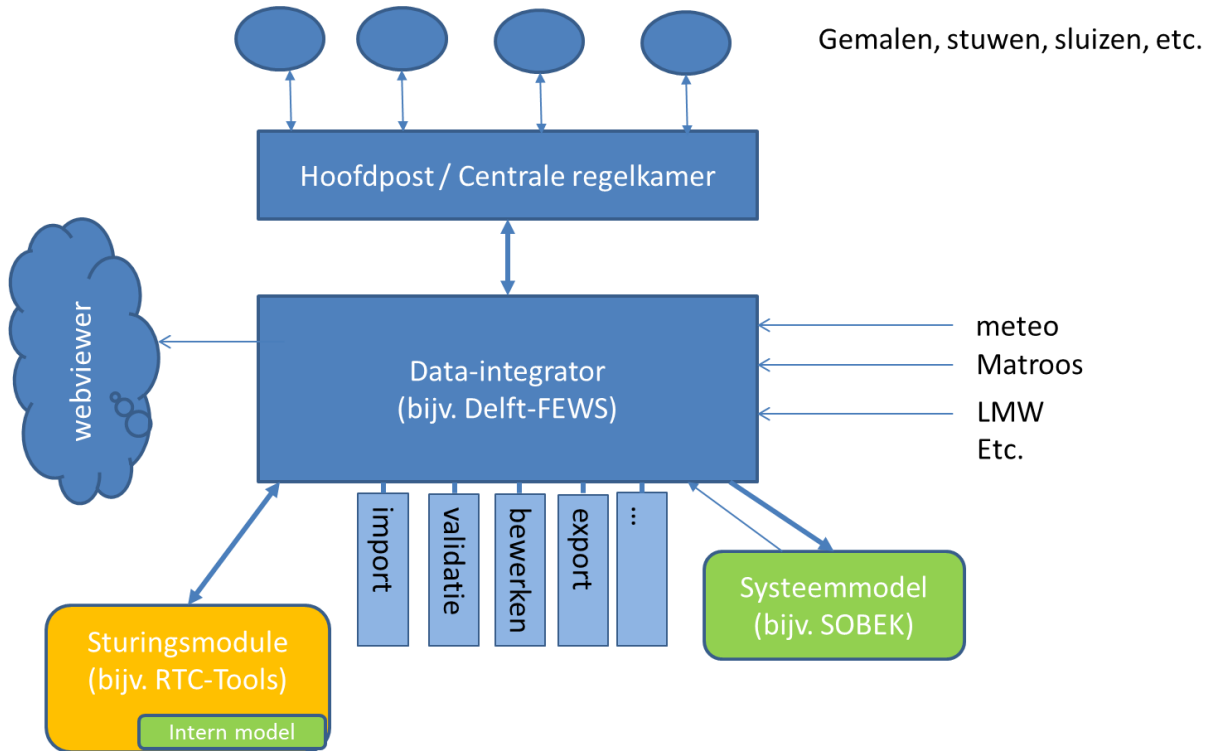
In de MPC regeling wordt een wiskundig probleem opgelost dat bekend staat als een *minimalisatieprobleem met (ongelijkheids-) randvoorwaarden*. De onbekenden in dit probleem zijn de toerentallen van alle aanwezige pompen en de spui momenten voor de komende 48 uur. Deze onbekenden worden zo bepaald dat een doelfunctie wordt geminimaliseerd. In dit geval zal de doelfunctie bestaan uit het totale energieverbruik of de totale energiekosten (of een combinatie daarvan) in de komende 48 uur. De randvoorwaarden waaraan op elk moment moet worden voldaan zijn bijvoorbeeld de marges waarbinnen de polderpeilen zich moeten bewegen en de grenzen van de toegestane werkgebieden waarbinnen de werkpunten van de pompen moeten liggen.

De input die nodig is om dit wiskundige probleem op te lossen bestaat uit:

- de actuele peilen in het gebied,
- een weersvoorspelling van de hoeveelheid neerslag die verwacht wordt gedurende de komende 48 uur en de verdeling ervan over het gebied, alsmede de gebiedstoestand (bijv. verzadiging van de bodem en aard van de vegetatie),
- een voorspelling van de buitenwaterstanden (bijv. getijdenbeweging) voor de komende 48 uur,
- de verwachte energietarieven voor de komende 48 uur.

De regeling werkt dan als volgt. Op basis van de actuele polderpeilen en de verwachtingen voor regenval, getijdenbeweging en energietarieven worden de optimale toerentallen van alle pompen voor de komende 48 uur berekend. De pompen worden vervolgens aangestuurd op basis van deze berekening. Zodra een nieuwe weersverwachting voorhanden is (na 1 of 2 uur) wordt de berekening herhaald en wordt de pompregeling aangepast. Op deze manier wordt het einde van het “48 uren-venster” nooit bereikt maar schuift het vooruit in de tijd. Deze techniek staat bekend als “*receding horizon*”.

De nieuwe open source toolbox RTC-Tools 2.0 wordt ontwikkeld als een losse systeem-component, die geïntegreerd kan worden met een willekeurig data-integratie-platform, zoals FEWS dat bij de meeste waterschappen al operationeel is. De samenhang tussen de hoofdcomponenten in een operationeel waterbeheersysteem is weergegeven in figuur 1. Het is van belang om een onderscheid te maken tussen het interne rekenmodel binnen RTC-Tools en een gedetailleerd hydrologisch/hydraulisch model. Een anticiperende MPC regeling heeft een zo eenvoudig mogelijk model van het systeemgedrag nodig, dat snel genoeg kan draaien om in de optimalisatie van de regeling mee te draaien; dit interne model is bijvoorbeeld een eenvoudig bakjesmodel met een neerslag-afvoer correlatie. In RTC-Tools 2.0 zal een omgeving beschikbaar gemaakt worden om dergelijke modellen te bouwen en aan te passen. Hiernaast kan in het operationele waterbeheersysteem een gedetailleerd model zijn opgenomen, waarmee waterstanden, stroomsnelheden en de waterkwaliteit in alle uithoeken van het beheersgebied real-time weergegeven kunnen worden. Het detailmodel is geen noodzakelijk onderdeel van het operationele systeem; het snelle eenvoudige interne model is wel noodzakelijk in het operationele systeem met een anticiperende regeling.



Figuur 1: Schematische weergave van een operationeel waterbeheersysteem met de samenhang tussen de verschillende componenten

VOORBEELD: GEMAAL ALTENA

Om de werking van de MPC regeling te illustreren zijn analyses gemaakt voor gemaal Altena (Waterschap Rivierenland). Dit gemaal heeft 3 pompen van het type Stork-BSV150 met variabel toerental (144 - 191 rpm) en een capaciteit van 100 - 350 m³/min per pomp. De polder is vooralsnog gesimuleerd als een eenvoudig bassin.

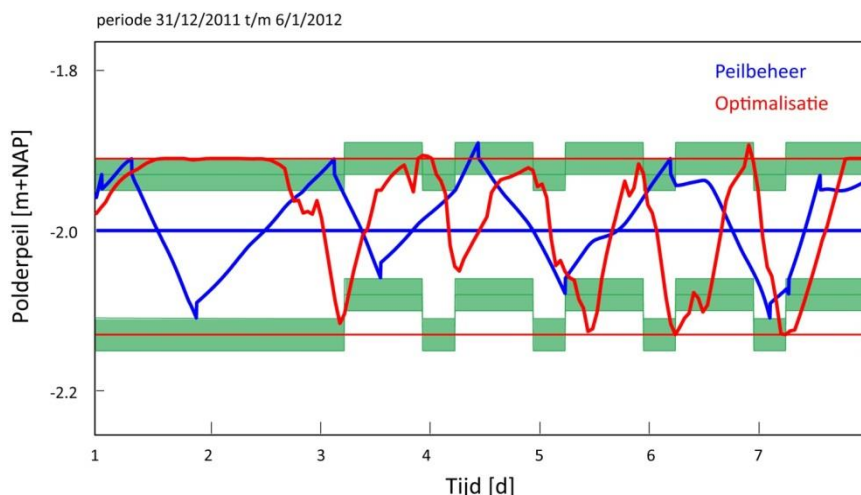
De bestaande *feedback* pompbesturing is peilgeregeld, met 3 inslagpeilen en 3 uitslagpeilen voor de 3 verschillende pompen. Deze peilen zijn in groen aangegeven in figuren 1 en 2. In het weekend en gedurende de nacht zijn de in- en uitslagpeilen lager gekozen dan overdag om beter gebruik te kunnen maken van de daltarieven voor elektriciteit. Het streefpeil is aangegeven met een horizontale blauwe lijn.

Als voorbeeld zijn twee perioden van een week geanalyseerd: een zeer natte periode van 31 dec. 2011 tot 6 jan. 2012, en een veel drogere periode van 4 tot 10 febr. 2012. De bestaande peilgestuurde *feedback* regeling wordt vergeleken met de nieuwe geoptimaliseerde *MPC* pompregeling. Uit de logdata van het gemaal is het wateraanbod tijdens deze perioden gereconstrueerd en dit wordt vervolgens gebruikt als “weersvoorspelling” van de regenval voor de nieuwe pompregeling.

In de nieuwe regeling worden de energiekosten geminimaliseerd. Het gemaal heeft een dag/nacht-tarief aansluiting. In beide weken valt het weekend op dag 1 en 2, waarvoor ook het lage nachttarief geldt.

In de eerste week van 2012 draaide gemaal Altena continu met 2 of 3 pompen tegelijk. Het polderpeil is in figuur 2 aangegeven in blauw. De typische zaagtand-structuur is goed zichtbaar. Het wateraanbod is zo hoog dat het polderpeil stijgt met twee pompen in bedrijf. Pas als bij het bereiken van het hoogste inslagpeil ook de 3^e pomp inslaat, zakt het polderpeil. Wat opvalt is dat verpompen zowel plaatsvindt tijdens hoog-tarief als tijdens laag-tarief. Bij een dergelijk hoog wateraanbod kan de bestaande pompregeling er niet voor zorgen dat bij voorkeur tijdens laag-tarief wordt verpompt.

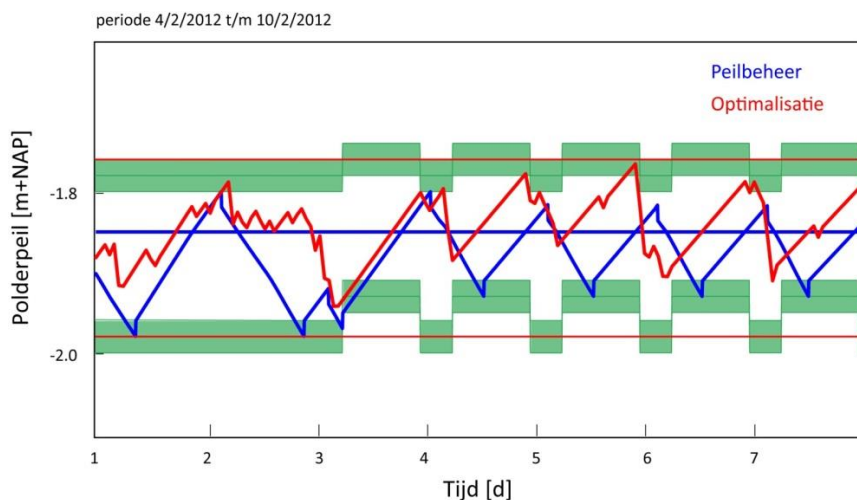
De nieuwe pompregeling daarentegen laat een heel ander beeld zien. De marge waarbinnen het polderpeil mag variëren is aangegeven met de rode horizontale lijnen. Te zien is dat voornamelijk 's nachts wordt gepompt met 3 pompen bij hoger toerental. Het laagste polderpeil wordt bereikt nét voor de start van het hoge energietarief. Hierdoor wordt het lage energietarief zoveel mogelijk benut. Overdag laat de regeling het waterpeil opkomen om het vervolgens constant te houden tegen het maximale peil. Een hoger polderpeil leidt immers tot een lagere waarde van de statische opvoerhoogte en dus een lager pompvermogen. Het resultaat is een kostenbesparing van 6% t.o.v. de bestaande regeling. Het energieverbruik stijgt echter met 2%.



Figuur 2: Variatie van het polderpeil in de periode 31 dec. 2011 tot 6 jan. 2012 voor gemaal Alتنا: vergelijking tussen de bestaande peilregeling en de nieuwe geoptimaliseerde pompregeling.

Het tweede voorbeeld is de zeer droge periode van 4 - 10 febr. 2012. Het verloop van het polderpeil is te zien in figuur 3. De bestaande regeling verpompt met maximaal één pomp tegelijk. De lagere in- en uitslagpeilen tijdens de nacht leiden ertoe dat de pomp veelal tijdens de nachten start, maar het lage toerental zorgt ervoor dat het uitslagpeil pas tijdens de daaropvolgende dag wordt gehaald. Daardoor wordt voor een groot gedeelte toch overdag gedraaid.

De nieuwe pompregeling laat de pompen vrijwel alleen tijdens de daluren draaien. Het polderpeil wordt daarnaast zo hoog mogelijk gehouden om de statische opvoerhoogte te verkleinen. 's Nachts wordt het polderpeil niet afgemaald tot aan het minimum niveau omdat het wateraanbod voor de volgende dag slechts gering is. Het leidt tot een kostenbesparing van 29% t.o.v. de bestaande regeling en een besparing op energieverbruik van 5%.



Figuur 3: Variatie van het polderpeil in de periode 4 - 10 febr. 2012 voor gemaal Alتنا: vergelijking tussen de bestaande peilregeling en de nieuwe geoptimaliseerde pompregeling



PROJECTAANVRAAG

In dit project gaat het enerzijds om de ontwikkeling van de techniek (sturingsalgoritme) maar anderzijds ook om de implementatie. Dit laatste is meer organisatorisch en procesmatig van aard, maar blijkt in de praktijk van groot belang om een sturingsstelsel ook daadwerkelijk van de grond te krijgen. Het project valt daarom uiteen in drie delen:

1. de ontwikkeling van een generieke RTC-tools 2.0 versie
2. Flexibiliteit gemalen op energiemarkten
3. de implementatie van het systeem in de vorm van meerdere pilots

Deelprojecten 1 en 2 vallen onder het generieke deel van de totale projectaanvraag; de op te leveren producten worden hierna beschreven. De overige generieke producten zijn:

- Voortgangsoverleggen met deelnemende partijen
- Workshops t.b.v. de definitie van pilots en disseminatie van resultaten
- Journal papers
- Conferentiebijdragen en publicaties in vakbladen
- Een samenvattende eindrapportage van het gehele project, die als een Stowa publicatie beschikbaar zal komen.

Deelproject 3 bestaat uit specifieke implementaties bij diverse waterschappen. De concrete producten van deelproject 3 zijn op maat gemaakt voor de betrokken waterschappen en worden beschouwd als eigendom van de pilot waterschappen en komen derhalve niet volledig beschikbaar aan de andere participanten. Publicaties over resultaten van een pilot dienen goedgekeurd te worden door het betrokken waterschap.

1. ONTWIKKELING RTC-TOOLS

Voor de ontwikkeling van de generieke RTC-tools versie zullen de volgende onderwerpen worden onderzocht en uitgewerkt:

1. Toevoegen van functionaliteit aan RTC-Tools, o.a. pomp-object met QH en rendementskrommes, en de mogelijkheid voor pompen met variabel toerental
2. Toevoegen van functionaliteit aan RTC-Tools voor gebruiksvriendelijke specificatie van het eenvoudige interne model, opdat getrainde waterbeheerders zelfstandig aanpassingen kunnen doorvoeren.
3. Verkleinen van het aantal onbekenden in het minimalisatieprobleem, bijvoorbeeld door het vermijden van een mixed-integer methode voor toerengeregelde pompen [13] of voor pompen met vast toerental (*time instant optimization*, [12]), of door het verlagen van het aantal tijdstappen (*variable timestepping*)
4. Uitwerking in RTC-Tools van goal-programming aanpak voor multi-objective optimalisatie (bijdrage aan TKI project). Hiermee kunnen meerdere niveaus van doelfuncties worden gedefinieerd en kan er een soort prioritering in de regeling voor de inzet van flexibiliteit kan aangegeven; hiermee kan flexibel gestuurd worden op kostenminimalisatie, CO₂ minimalisatie of een combinatie van beide .
5. Toevoegen van routines voor stochastische optimalisatie met het oog op de onzekerheid in de input van het systeem: bijv. de onbetrouwbaarheid van de weersvoorspellingen die toeneemt naarmate verder vooruit wordt gekeken.
6. Toevoegen van de mogelijkheid van een *multi-start methode* ter voorkoming van een oplossing in een sub-optimaal kostenminimum.
7. Toevoegen van specifieke grafische componenten (GUI) in FEWS t.b.v. een beter inzicht in de weersvoorspelling, de gemaalsturing, de variatie van polderpeilen en de resultaten van de doelfunctie in de komende periode.

Aanvullend zal een studie gedaan worden naar het effect van MPC besturing van pompen op de levensduur en de onderhoudsintervallen. Verwacht wordt dat het aantal start/stops van de pompen zal toenemen en dat vaker gedraaid zal worden bij lager toerental. Het effect hiervan op de slijtage van pomponderdelen (m.n.



lagers en asafdichtingen) en randapparatuur (kleppen, vetpompen, lenspompen, vacuüminstallaties etc) is niet eerder onderzocht.

Voor de uitvoering hiervan wordt een Postdoc aangesteld door TU Eindhoven voor een periode van 2 jaar. De Postdoc is bij voorkeur gepromoveerd op het gebied van optimalisatietechnieken en heeft ervaring met automatisering van vergelijkbare processen of machinebesturingen. Omdat de postdoc in nauwe samenwerking met Deltares aan RTC-Tools gaat werken, wordt de postdoc gemiddeld 4 dagen/wk bij Deltares gestationeerd en 1 dag/wk bij de TU Eindhoven.

De producten van dit onderdeel van het project zijn:

- Softwaremodule RTC-tools 2.0 (*open source*) geschikt voor integratie in de huidige generatie operationele waterbeheersystemen;
- Workshops t.b.v. de disseminatie van resultaten;
- Journal papers;
- Conferentiebijdragen en publicaties in vakbladen.

2. FLEXIBILITEIT GEMALEN OP ENERGIEMARKTEN

Het hoofddoel van dit deelproject is om de waterschappen van de nodige informatie te voorzien om de beschikbare elektrische gemaalflexibiliteit via samenwerking met energiebedrijven optimaal op de markt in te kunnen zetten. De mogelijke vormen van samenwerking worden geïnventariseerd en gewenste datastromen worden uitgewerkt, zodat deze in monitoring systemen en eventueel MPC regelingen geïmplementeerd kunnen worden. Een van de uitvoerende partijen in dit voorstel, eRisk Group, zal onderzoeken wat de (economisch optimale) strategieën zijn om de beschikbare flexibiliteit van de poldergemalen binnen de in het project geïnventariseerde veiligheidsbegrenzings in te zetten op de verschillende korte termijnmarkten voor elektriciteit. Op basis van scenario's zal de inzet van gemaalflexibiliteit door eRisk Group worden gemodelleerd en gevalideerd om waterschappen een beeld te geven van de toekomstige economische waarde van de inzet gemaalflexibiliteit als bijvoorbeeld ook rekening wordt gehouden met andere vormen van elektrische flexibiliteit. Vervolgens wordt onderzocht aan welke voorwaarden moet worden voldaan om de flexibiliteit via een marktpartij te kunnen vermarkten. Hierbij wordt onder andere geïnventariseerd aan welke operationele (o.a. datacommunicatie en regelschema's) en juridische (o.a. contracten) eisen de beschikbare flexibiliteit van de poldergemalen moet voldoen. Tenslotte wordt een beknopte marktverkenning uitgevoerd onder energiebedrijven. Dit kan in één van de pilots verder uitgewerkt worden in een onderhandeling met een energiebedrijf, die uit de marktverkenning naar voren is gekomen.

3. PILOTS EN FASERING

De pilot omvat het uitvoeren van een vergelijkend onderzoek van een drietal sturingsvarianten voor een door het waterschap aan te geven watersysteem. De varianten die worden vergeleken zijn 1) de huidige sturing, vaak peilsturing, 2) variant met optimalisatie op energiekosten en 3) optimalisatie op CO₂ emissies. De analyse wordt uitgevoerd op het jaar 2014.

Om de analyses uit te voeren wordt een instrumentarium opgesteld dat bestaat uit een stand-alone Delft-FEWS applicatie waarbinnen het sturingsmodel het betreffende jaar nabootst. Het sturingsmodel wordt gebouwd in RTC-Tools en bevat in beperkte mate van detail de kenmerken van het betreffende watersysteem. Het gaat immers niet primair om een perfecte representatie van het watersysteem maar juist om een instrument dat het mogelijk maakt om de verschillen in de sturingsvarianten duidelijk te maken. Het betreffende jaar wordt in een zogeheten hindcast (dus met werkelijke verwachtingen, inclusief alle fouten/onzekerheden daarin) gesimuleerd.

Elke pilot zal bestaan uit de volgende fasering:

- 1) Inventarisatie fase (eerste helft 2016)
 - a. Inventarisatie van eisen en use-cases

- b. Plan van aanpak en werkbare voorspellingen (meteo en energie ensemble) opstellen
- c. Risico- en gevoeligheidsanalyse (van sturingsadvies in harde werkelijkheid)
- d. Huidige sturing
- 2) Toetsingsfase, nadat de functionaliteit in RTC Tools is uitgebreid (tweede helft 2017)
 - a. Toetsing van prestaties van verbeterde regeling poldergemalen in de stand-alone FEWS omgeving met optimalisatie op energiekosten.
 - b. Toetsing van prestaties van verbeterde regeling poldergemalen in de stand-alone FEWS omgeving met optimalisatie op CO₂ emissie.
 - c. Economische validatie van de inzet van gemaalflexibiliteit op basis van regelingen
 - d. Eventueel: Validatie duurzame bijdrage (Co2 besparing) door inzet gemaalflexibiliteit op basis van regelingen en evaluatie van resultaten
 - e. Op basis van de resultaten van een van de pilots zullen de volgende zaken generiek worden uitgezocht:
 - i. Onderzoek naar de voorwaarden van vermarkting via een energiebedrijf
 - ii. Bekopte marktverkenning bij energiebedrijven
- 3) Integrale Evaluatie van de pilots

De volgende pilots worden voorzien bij de verschillende waterschappen:

Waterschap	Hoofddoelstelling van pilot
Zuiderzeeland	MPC regeling
HHNK	Integratie energiemarkt in regeling
WS Rivierenland	MPC regeling
WS Fryslân	MPC regeling

Van alle pilots wordt in het eerste half jaar een gedetailleerde specificatie opgesteld. De eerste 2 pilots geven een eerste indicatie.

HHNK: Flexstroom sturing in Wieringermeer

Een aantal grote uitwaterende gemalen van het Hoogheemraadschap worden door veel lokale en regionale factoren beïnvloed. Zo ook gemaal Leemans, het afwaterende gemaal van de polder Wieringermeer. Het aansturen van deze gemalen op energie is hierdoor complex.

In deze pilot worden alle processen die binnen deze polder van invloed zijn op het peilbeheer in kaart gebracht. Onderzocht wordt welke processen voorspelbaar zijn, welke bij benadering te simuleren zijn en wat de samenhang is. Ook wordt onderzocht wat de bijdrage is van de processen op het operationeel peilbeheer. Doel van het in kaart brengen van deze processen is om verschillende aansturingsstrategieën op energiesturing te vormen en deze zowel in simulatie als in praktijk te toetsen aan hydrologische situaties.

ZZL: Sturing op energie, praktisch haalbaar bij ZZL

Waterschap Zuiderzeeland heeft een aantal haalbaarheidsstudies laten uitvoeren waarin rendement van sturen op energie theoretisch is bepaald. Het rendement laat zich op die manier wel bepalen maar of deze manier van sturing ook praktisch haalbaar is kan theoretisch eigenlijk niet bepaald worden. De pilot bij Zuiderzeeland zal daarom vooral gericht zijn op het toetsen van de praktische haalbaarheid van sturing op energie. Op basis van 3 strategieën, sturing op duurzaam technisch gebruik, op basis van APX (day ahead) en op basis van regelvermogen/ onbalans word in simulatie over een nog nader te bepalen kalenderjaar rendementen bepaald. Daar waar het technisch mogelijk (lees zonder extra technische investeringen) worden gemalen voor een korte periode daadwerkelijk aangestuurd. Belangrijk hierin is participatie van alle belanghebbende bij het waterschap.

BENODIGDE GEGEVENS PER PILOT

Een gedetailleerd SOBEK CF model, op basis waarvan het RTC-tools model wordt afgeleid. Indien nodig voor de rekensnelheid wordt het SOBEK-RR model vereenvoudigd.

Alle benodigde metingen, zoals neerslag (radarbeelden), buitenwaterstanden als ook de verwachtingen (HiRLAM, ECMWF, Matroos)

Alle benodigde informatie om de huidige sturing goed en voldoende representatief te modelleren.

UITVOERING PILOTS

De pilots zullen worden uitgewerkt door Deltares en Nelen & Schuurmans in nauwe samenwerking met de postdoc van TU Eindhoven. Deltares en Nelen & Schuurmans hebben veel ervaring met het implementeren van real-time monitoring & control-systemen o.b.v. Delft-FEWS en RTC-Tools.

PRODUCTEN PILOTS

1. De stand-alone omgeving, inclusief FEWS, modellen en sturingsalgoritme; voor waterschappen, die reeds een operationeel FEWS systeem hebben, zal de nieuwe omgeving parallel meedraaien met het operationele FEWS systeem.
2. Rapportage van de resultaten in de vorm van journal papers, conferentiepapers en vakpublicaties in nauwe samenwerking met de postdoc.

Voor de helderheid: de pilot resulteert niet in een operationeel voorspellingssysteem. Uiteraard zal het wel mogelijk zijn om het eindproduct als een eerste basisversie als zodanig door te ontwikkelen.

BENODIGDE FINANCIËLE MIDDELEN

Hoofdactiviteiten		Uitvoerder	Kostenschatting (k€)	Totaal (k€)
Generieke activiteiten	Projectmanagement	Deltares	40	
	Begeleiding postdoc Deltares (2jr)		60	
	Postdoc Optimalisaties (2jr)	TU Eindhoven	220 ^(*)	
	Reis-verblijfkosten, conferenties		10	
	Samenwerking Energiesector	eRisk	24	
Subtotaal generiek			354	
Pilots	3 pilots	Deltares/N&S	150	504
	4 pilots	Deltares/N&S	200	554

(*) Gereduceerd tarief TU/e voor een postdoc: 110 k€ / jaar

PARTNERS EN FINANCIERING

De participanten in dit project ondersteunen de aanvraag bij STOWA met een financiële bijdrage en verlenen een eventuele in-kind bijdrage tijdens de looptijd. Dit kan verschillende vormen aannemen, o.a.

- lidmaatschap van de gebruikerscommissie (min. 2x per jaar een voortgangsoverleg)
- assistentie bij veldwerk
- beschikbaar stellen van gegevens en logdata van gemalen
- bijdrage aan de implementatie van de software

STOWA heeft aangegeven 160 k€ van de totale kosten te willen financieren. Deltares zal een bijdrage leveren uit haar strategische onderzoeksmiddelen en/of uit een aanvraag voor TKI-toeslag van de TKI Deltatechnologie (topsector Water), indien deze aanvraag in 2016 gehonoreerd wordt. Deltares zal in elk geval een bijdrage leveren van 80 k€, verdeeld over de looptijd van 2 jaar. Van de andere uitvoerende partijen eRisk, Nelen & Schuurmans en TU Eindhoven wordt geen eigen bijdrage verwacht. Van de waterschappen met een pilot wordt een financiële bijdrage gevraagd van 70 k€, van de overige participanten zonder een pilot wordt een bijdrage gevraagd van 10 k€ over 2 jaar. Eventuele nieuwe participanten kunnen gedurende de looptijd van het project aansluiten. Een nieuwe participant betaalt dan de bijdrage van 10 k€ zonder pilot of 70 k€ met pilot plus een eenmalige administratieve bijdrage van 2 k€. Indien de inkomsten uitstijgen boven de benodigde financiële middelen, dan worden deze inkomsten in principe door Deltares en Nelen & Schuurmans aan de pilots besteed. Dit levert het volgende overzicht op van beschikbare budgetten op basis van de uitgesproken intenties:

Participant	Pilot [k€]	Bijdrage [k€]
Stowa		160
Deltares		80
Zuiderzeeland	70	
Hollands Noorderkwartier	70	
Rivierenland	70	
Fryslân	70 ^{*)}	
Scheldestromen		10
Rijnland		10
Delta NV		10
EXE / Dutch.com		10
RWS		10
Subtotaal	280	290
Totaal		570

^{*)} WS Fryslan heeft de intentie om met een pilot mee te doen, maar de formele goedkeuring kan pas door het Algemeen Bestuur gegeven worden.

Een aantal organisaties heeft deelname nog in overweging:

Participant	Bijdrage [k€]
WS Delfland	10
WS Hunze en Aa's	10
Xylem BV	10
Alliander	10
Actility	10
Peeeks	10
Eneco	10

Het project zal starten zodra de benodigde financiële middelen voor de generieke activiteiten en 3 respectievelijk 4 pilots formeel zijn toegezegd in de bijbehorende contracten. Op basis van de uitgesproken intenties is de verwachting dat het project uitgevoerd gaat worden met 4 pilots. Het streven is om het project te starten in maart 2016. Alle genoemde bedragen zijn exclusief BTW. De bijdragen van de participanten zullen op jaarbasis worden gefactureerd: de eerste factuur wordt verzonden binnen 2 maanden na start van het project, de tweede factuur 1 jaar later.



PROJECTORGANISATIE

Deltares voert het algehele projectmanagement uit. Hiernaast zal een regiegroep ingesteld worden, bestaande uit Stowa, WS Zuiderzeeland en de uitvoerende partijen Deltares, TU Eindhoven, Nelen & Schuurmans en eRisk.

De gebruikersgroep bestaat uit alle participerende organisaties en de uitvoerende partijen. Deze gebruikersgroep komt minimaal 2x per jaar bijeen om de voortgang van het generieke onderzoek en de pilots te bespreken. In deze bijeenkomsten zal de voortgang gepresenteerd worden en zal het onderzoek, indien nodig, bijgesteld worden.

EXTERNE COMMUNICATIE

Dit gezamenlijke innovatieve project in de zogenaamde Gouden Driehoek is zeer innovatief en draagt bij aan een groot aantal landelijke doelstellingen, waaronder:

- Energie- en kostenbesparingen voor het waterschap, vastgelegd in de MJA3 afspraken, de nieuwe Green Deal van de Unie van Waterschappen, Stowa en RVO en in internationale energie-afspraken.
- Directe concrete bijdrage aan energietransitie.
- Bijdrage aan de stabiliteit van het elektriciteitsnet door de inzet van gemalen af te stemmen op de energiemarkt. Dit draagt bij aan het uitstellen of afstellen van grote investeringen t.b.v. netverzwaringen.

Daarom wordt een aantal momenten voor de externe communicatie opgenomen in dit voorstel:

- 1) Een persmoment rond de start van dit project. Stowa onderzoekt momenteel of meegelift kan worden op de officiële ondertekening van de Green Deal met RVO, de Unie en Stowa.
- 2) Een mini-symposium bij de afsluiting van het project.
- 3) Een beknopte rapportage van de voortgang via een Nieuwsbrief (2x per jaar), die verder verspreid kan worden via de gangbare kanalen van de participanten (w.o. Stowa Nieuwsbrief, Deltares website/blad/twitter, etc)

Waar mogelijk en nuttig zal meegelift worden op evenementen van aanpalende projecten bij de stakeholders, zoals Slim Watermanagement en de Green Deal. Bij alle externe communicatie zullen alle deelnemende organisaties benoemd worden dan wel met logo vermeld worden.

REFERENTIES

- [1] Arcadis, 2014, *Klimaatmonitor Waterschappen 2014*, Unie van Waterschappen, Den Haag
- [2] van Esch, B.P.M., 2012, *Studie Energiebesparing Gemaal Altena*, WPT2012-11-2, Waterschap Rivierenland
- [3] van Esch, B.P.M., 2014, *Gemaal Altena – Studie naar de energiebesparing in 2013*, Waterschap Rivierenland
- [4] Vijlbrief, J., 2012, *Optimalisatie regeling poldergemalen en suatiesluizen*, rapport I-47, Waterschap Scheldestromen
- [5] Eneco, 2010, *Watersysteem als elektriciteitsbuffer – Haalbaarheidsonderzoek*, Eneco b.v., DHV b.v.
- [6] Antea groep, 2015, *Energiebesparing 5 vijzelgemalen*, projectnummer 275726, Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier
- [7] J. Gooijer, 2011, *Innovation in regional water management based on Delft-FEWS, OpenMI & Real-Time Control*, Waterschap Noorderzijlvest
- [8] Schwanenberg, D. (Deltares), 2012, *Adjoint Modeling Framework for Real-Time Control of Water Systems*, Reservoir System Modeling Technologies Conference, Febr. 21-22, 2012 Portland, Oregon
- [9] Schwanenberg, D., Becker, B., Schellekens, J., 2013, *Recent Advances in RTC-Tools and OpenStreams*, Deltares
- [10] Sukkar, G.F.J., Bosma, A.J., Rommens, C.J.M. (Tauw), Kuipers, H. (Waterschap Zuiderzeeland),

- 2013, *Energie-aspecten poldergemalen waterschap Zuiderzeeland*
- [11] Becker, B., Dahm, R., van Heeringen, K., Goorden, N., Kramer, N., Kooij, K. (Deltares), Gooijer J.(Waterschap Noorderzijlvest), Jansen, J. (Wetterskip Fryslân), 2012, *Op zoek naar een optimaal ontwerp voor een groot uitwateringsgemaal in het Lauwersmeer*, H2O juni 2012, pp. 11-13
 - [12] Dekens, B., 2013, *Gradient-based hybrid Model Predictive Control using Time Instant Optimization for Dutch regional water systems*, MSc Thesis, TU Delft
 - [13] Kempen, K.T., 2013, *Efficient Polder Drainage*, BSc Thesis, TU Eindhoven.
 - [14] Nelen & Schuurmans, Sturen op energie; acteren op de APX markt, N&S rapport P0134 in opdracht van HHNK, afdeling Watersysteem, 15-09-2015.