

## Software optimaliseert pompstrategie drinkwater

*Hoe kan een drinkwaterbedrijf de kosten van haar elektrische pompen zo laag mogelijk houden als de elektriciteitsprijs gedurende een etmaal varieert?*

Het Nederlandse ingenieursbureau DHV ontwikkelde ruim tien jaar geleden het softwarepakket OPIR: *Optimale Productie door Intelligente Regeling*. OPIR regelt de pompstrategie voor de drinkwatervoorziening in een bepaald gebied. Drinkwater wordt via een systeem van elektrische pompen bij centrale pompstations naar de afnemers geleid. De elektriciteitsprijs varieert echter gedurende een etmaal, in sommige landen meer dan in andere. Een drinkwaterbedrijf vraagt zich daarom af hoe het de pompen zo kostenefficiënt mogelijk kan bedienen, terwijl ze tegelijkertijd in de drinkwaterbehoefte van het gebied voorzien. Wanneer kunnen de pompen het beste aan staan om de waterreservoirs bij te vullen? En wanneer kunnen ze het beste uit staan, zodat de reservoirs langzaam leeglopen?

Zo'n vijf miljoen Nederlanders krijgen hun drinkwater via een pompregeling die wordt geregeld door dit softwarepakket. Een Canadees dochterbedrijf van DHV heeft het softwarepakket verkocht aan de Grimsby-regio in Canada, dat iets ten westen van de Niagara Watervallen ligt, dichtbij de grens met de Verenigde Staten. Waar in Nederland de elektriciteitsprijs alleen maar verschilt tussen dag en nacht, varieert de elektriciteitsprijs in de Grimsby-regio veel dynamischer dan in Nederland. Dat maakt het voor een drinkwaterbedrijf moeilijker om de beste pompstrategie uit te rekenen.

Ingenieur Olivier Hartel van DHV is medeontwikkelaar van het softwarepakket. Hij vertelt over de Grimsby-regio: "De software stuurt hier vijftien pompen aan die drie stadjes van drinkwater voorzien: Smithville, Beamsville en Grimsby. Die liggen alle drie op een andere hoogte. Voor elke dag van het jaar is een gemiddeld drinkwaterverbruik voor elk stadje bekend. Verder kan elke pomp ieder kwartier aan- of uitgeschakeld worden. Ons Canadese dochterbedrijf heeft bij ons aangeklopt met de vraag of het drinkwaterbedrijf verder kan besparen op de kosten door een slimme pompstrategie te kiezen. Die zouden wij dan in de software moeten implementeren."

Het liefst zou DHV het softwarepakket 48 uur van tevoren de beste pompstrategie laten berekenen. Dat levert echter  $2^{(4 \times 48 \times 15)}$  schakelmogelijkheden op: een getal met meer dan achthonderd nullen. Dat zijn veel te veel mogelijkheden om ze allemaal door te rekenen en de beste uit te kiezen. In de huidige software kunnen operators bij een pompstation instellen wanneer de waterreservoirs minder vullen, of zelfs leeglopen, tijdens de uren waarin de elektriciteitsprijs hoog is, en meer vullen tijdens de goedkope periode. De operators doen dat op grond van hun ervaring. Maar dat is een ad-hocoplossing, die waarschijnlijk niet de optimale pompstrategie levert.

"Onze vraag aan de Studiegroep Wiskunde met de Industrie," vertelt Hartel, "was om te onderzoeken wat dan wel de optimale pompstrategie is. Daarbij moeten de kosten van het elektriciteitsverbruik minimaal zijn, onder de aanname dat de mensen genoeg water krijgen, en dat de waterreservoirs te allen tijde minimaal voor 75% gevuld zijn en maximaal voor 95%. Verder is de pompcapaciteit voor elke pomp gegeven. Dat geeft de fysieke beperking van het systeem."

### Eén pompstation

"Wiskundig gezien gaat het om een dynamisch optimalisatieprobleem", zegt universitair hoofd-docent meet-, regel- en systeemtechniek Karel Keesman van de Wageningen Universiteit. Hij maakte deel uit van een groep van zes wiskundigen die zich een week lang over het DHV-probleem heeft gebogen. "We hebben eerst een analytische oplossing bepaald voor een vereenvoudigde versie van het optimalisatieprobleem. Vervolgens hebben we een numerieke oplossing bepaald voor een realistischere versie."

De Grimsby-regio kent vier pompstations (met twee, drie, vier en zes pompen) en drie waterreservoirs. Om een analytische oplossing voor de optimale pompstrategie te berekenen, beperkte de studiegroep het probleem tot één pompstation, één waterreservoir en de vraagcurve van één stadje naar drinkwater. Bovendien werd verondersteld dat de pompen continu kun-

nen schakelen naar elk gewenst debiet. Keesman: “Dan heb je het oorspronkelijke probleem genoeg uitgekleed om een analytische oplossing te vinden. Als je het probleem voor één pompstation hebt opgelost, kun je daarna hetzelfde voor de andere drie doen.”

Het probleem voor één pompstation heeft de studiegroep geformuleerd als een Lagrangeaans probleem. Hierin wordt een functie voor het energieverbruik van dit ene pompstation geformuleerd. Dat levert een integraal over een tijdsperiode van twee etmalen. Deze energiefunctie moet worden geminimaliseerd onder de door DHV gegeven randvoorwaarden voor het schakelen van de pompen, de vulgraad van de reservoirs en de pompcapaciteiten. “Maar,” zegt Keesman, “we hebben de randvoorwaarde van de vulgraad van de reservoirs moeten loslaten om een analytische oplossing te vinden.”

Het grote voordeel van de analytische oplossing is, dat hij meteen inzicht geeft in de manier waarop de pompstrategie afhangt van de elektriciteitsprijs. Tussen middernacht en zeven uur in de ochtend, is het waterverbruik het laagste en zijn ook de energiekosten het laagste. De analytische oplossing laat zien dat het pompstation zijn pompen in deze periode volaan moet zetten om het waterreservoir te vullen. Tussen zeven uur 's ochtends en negen uur 's avonds zijn de energiekosten hoger. En hoewel ze ook in deze periode enigszins in de tijd variëren, laat de analytische oplossing zien dat dit de tijdsperiode is waarin de pompen het beste uit kunnen staan. En dus loopt het waterreservoir in deze periode weer geleidelijk leeg. Later in de avond gaan de pompen weer aan en wordt het reservoir langzaam bijgevuld.

### **Algemeen recept**

Voor een meer realistische situatie, waarin alle vier de pompstations van de Grimsby-regio worden gemodelleerd, en ook de drinkwaterbehoefte voor de drie stadjes, is een numerieke aanpak nodig. Hierin namen de wiskundigen ook de randvoorwaarde mee die de vulgraad van de reservoirs voorschrijft. De vraag op welk moment welk pompstation aan- of uit wordt geschakeld, wordt in de analyse in eerste instantie niet meegenomen. Het idee is dat aan de hand van de numerieke oplossingen achteraf wordt bekeken welke pompen precies op welk tijdstip aan of uit moeten staan om de berekende optimale strategie te realiseren.

“We hebben dit probleem in Matlab geprogrammeerd”, zegt Keesman. “Daarin kunnen we de randvoorwaarden handig meenemen. Voor alle vier de pompstations hebben we uitgerekend hoeveel water ze als functie van de tijd moeten verpompen in een etmaal. Dat zijn de pompdebieten. Globaal gesproken hebben die eenzelfde vorm als in de analytische oplossing. In de details zitten echter verschillen. We zien dat in de numerieke oplossing het maximale pompdebiet in de nacht langer doorloopt. In de analytische oplossing staan de pompen tot zeven uur volaan, en in de numerieke oplossing tot negen uur. Verder zien we in de numerieke oplossing de energieprijzen op een wat ingewikkelder manier terugkeren in het pompedrag. De grafieken die het pompedrag als functie van de tijd weergeven, worden iets ingewikkelder dan bij de analytische oplossing.”

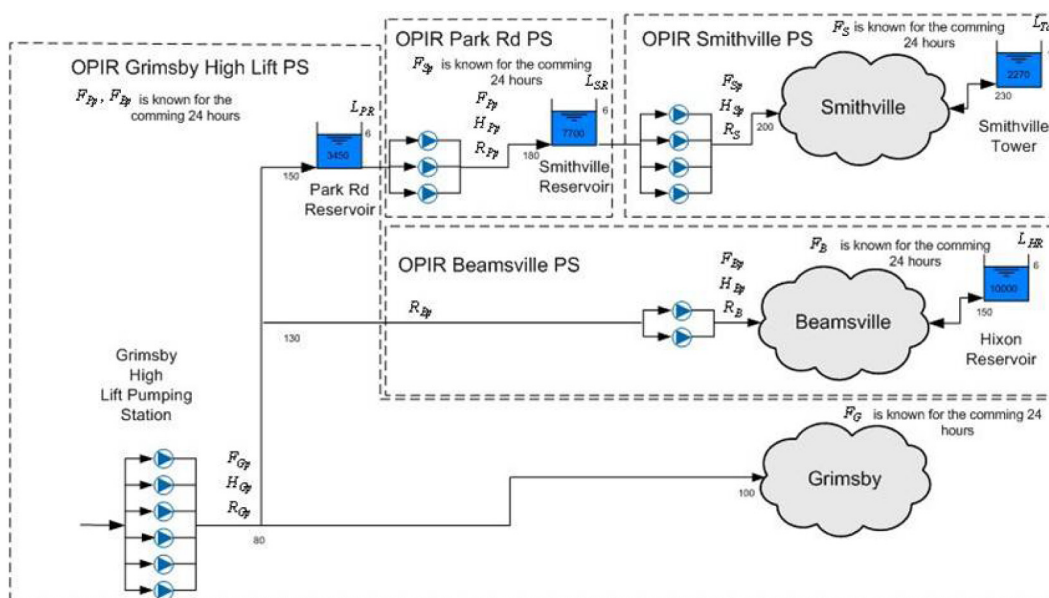
Ten slotte hebben de wiskundigen onderzocht hoe de uitgerekende pompdebieten in de praktijk gerealiseerd moeten worden. De vraag is dan om te bepalen welke van de vijftien pompen op elk kwartier aan of uit moeten staan. “Hiervoor hebben we op basis van netwerktheorie een methode voor een oplossing geschetst”, zegt Keesman. “We hadden niet genoeg tijd om deze methode voor een praktijkgeval uit te werken. Wel hebben we nog een recept geformuleerd voor hoe je een algemener model, met meer steden en meer pompen, kunt oplossen. Ik denk dat de uitkomst van het numerieke model en het recept voor een algemene oplossing voor DHV het meest interessant is. Beide gaan een stap verder dan wat DHV zelf al aan dit probleem had gedaan.”

### **Extra module**

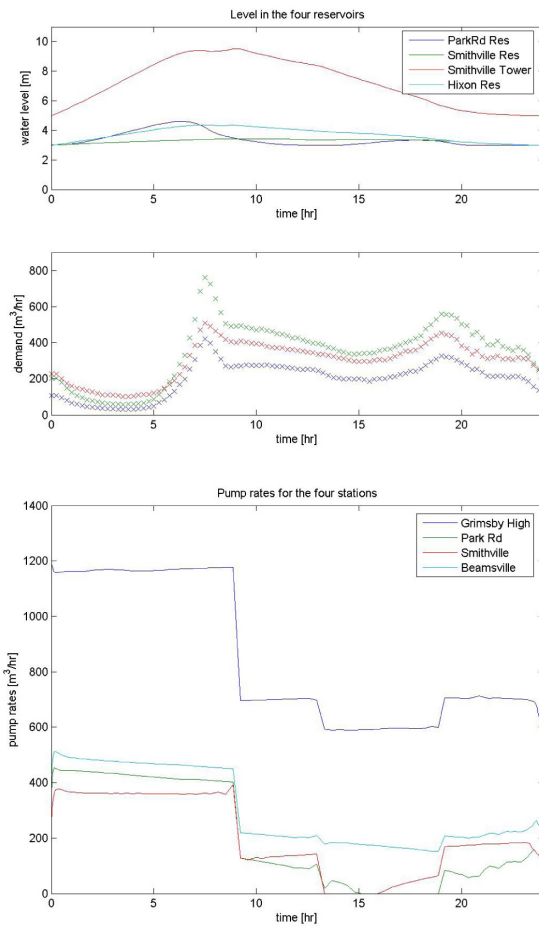
Olivier Hartel van DHV vindt dat de studiegroep een aantal goede aanwijzingen heeft gegeven om de software aan te passen. De kans is daardoor groot dat het bedrijf tegemoet kan komen aan de vraag van de Grimsby-regio. “De studiegroep heeft aangegeven dat je voor het gehele systeem één enkele optimalisatie kunt berekenen”, zegt Hartel. “De algoritmes die we daarvoor moeten gebruiken, kunnen we ook implementeren in onze software. Dat is voor ons natuurlijk belangrijk. Met één praktische software-eis heeft de studiegroep echter nog geen rekening ge-

houden. Ons softwarepakket bestaat uit losse modules. Elke module stuurt een subgebied van de drinkwatervoorziening aan, en kijkt met een schuin oog naar wat er in andere subgebieden gebeurt. In principe willen we dat elke module de optimale oplossing voor zijn eigen subgebied berekent. Omdat het softwarepakket al jarenlang een beproefd product is, willen we de structuur ervan niet in een keer omgooien.”

De volgende vraag is dan hoe dicht de combinatie van die optimale oplossingen voor de subgebieden ligt bij de optimale oplossing voor het gebied als geheel. “Dat is een moeilijk probleem, waarvan we wel wisten dat het niet in een week valt op te lossen”, zegt Hartel. “We gaan nu eerst één afstudeerstudent verder aan dat probleem laten werken, en als vervolg daarop nog een tweede. Idealiter willen we zo lang mogelijk van tevoren bepalen wat de optimale pompstrategie is. Dat is waarvoor klanten onze software kopen.”



Schema van de drinkwatervoorziening in de Grimsby-regio in Canada, met de pompstations en de reservoirs die de drie stadjes Smithville, Beamsville en Grimsby van drinkwater voorzien.



Numerieke resultaten:

Boven: de waterniveaus in de vier reservoirs als functie van het uur van de dag

Midden: de vraagcurves voor de drie stadjes naar drinkwater als functie van het uur van de dag

Onder: de gevonden numerieke oplossingen voor de pompdebieten voor de vier pompstations, als functie van het uur van de dag