

Energiezuinig minder drukschommelingen met modelgebaseerde regeltechniek

Jørgen Best, Gilian van Lenthe (Witteveen+Bos)

Drukschommelingen in waterleidingen kunnen onder meer leiden tot leidingbreuk. Om deze schommelingen te beperken, heeft Best Works (inmiddels Witteveen+Bos) samen met Brabant Water een modelgebaseerde distributieregeling ontwikkeld. De regeling brengt niet alleen drukschommelingen terug tot een lager niveau, maar heeft ook andere voordelen, zoals een lager energieverbruik.

Drukschommelingen in drinkwaterleidingen kunnen onder meer leiden tot leidingbreuk. Om deze schommelingen te beperken, heeft Best Works samen met Brabant Water een modelgebaseerde distributieleiding ontwikkeld.

Om deze toepassing te begrijpen, is een basisinzicht nodig in de verschillen tussen standaard- en modelgebaseerde regeltechniek. Standaard regeltechniek loopt achter de feiten aan en doet als het ware een gok naar gewenste acties in een poging afwijkingen te minimaliseren. Modelgebaseerde regeltechniek, daarentegen, maakt gebruik van systeemkennis om met een model nauwkeurig te bepalen welke acties in welke mate nodig zijn.

Toepassingen modelgebaseerde regeltechniek

Een goed voorbeeld van modelgebaseerde regeltechniek is te vinden in de havens van Rotterdam. Op het terrein verplaatsen hijskranen met maximale snelheid containers. Een container wordt opgepakt, verplaatst en zakt naar het doel.

Het is een regeltechnische prestatie dat de containers niet schommelen. Als de containers wel zouden schommelen, zou het lossen en laden van schepen veel langer duren. In het onderstaande kader wordt de regeltechniek van hijskranen uitgebreider toegelicht. Dit artikel licht de verdere kansen toe voor distributieregelingen in drinkwater aan de hand van een recente succesvolle toepassing om drukschommelingen te verminderen. De techniek is echter veel breder toepasbaar.

Modelgebaseerde regeltechniek van hijskranen

Een last aan een hijskraan die wordt verplaatst zal, zonder maatregelen, gaan schommelen als de horizontale verplaatsing stopt. In de regeling van de hijskraan zit een fysisch model verwerkt dat onder andere gebruik maakt van het gewicht van de last, de lengte van de hijskabel en snelheden van verplaatsing. Als de hijskraan in de buurt van het doel komt, wordt de snelheid van de verplaatsing zo geregeld dat de last exact stil hangt bij het bereiken van de doelpositie. Het model voorkomt schommelen voor alle mogelijke lasten, hijshoogtes, verplaatsingen enzovoorts.

De complexiteit van deze situatie is zelf eenvoudig te testen met een sleutelbos (last) aan een keycord (hijskabel) en een champagneglas (doelpositie). Til de sleutelbos aan het keycord op, verplaats deze naar het champagneglas aan de andere kant van de tafel en laat deze erin zakken. De eerste keer zal het lang duren voor de sleutelbos stil hangt en in het champagneglas kan zakken. Na enige oefening blijkt dat het mogelijk is om de sleutelbos in een keer vrijwel stil te laten hangen. In ons brein heeft zich dan inmiddels een (neuraal)model gevormd. Eigenlijk heeft ons brein een modelgebaseerde regeling gecreëerd.

Aanpak Brabant Water krijgt spin-off

Zoals eerder vermeld, was de initiële vraagstelling van het project om drukschommelingen door het bij- en afschakelen van pompen in het systeem te verminderen. Daarvoor is sturing met een modelgebaseerde regeling in beeld gekomen als meest effectieve aanpak. Bij uitwerking daarvan bleek dat naast vermindering van drukschommelingen ook een flinke energiebesparing (gemiddeld ca. 5%) te behalen viel. Hiermee kon een substantieel deel van de ontwikkelkosten worden gefinancierd.

Andere kenmerkende voordelen bij het ontwikkelen van een modelgebaseerde regeling zijn dat:

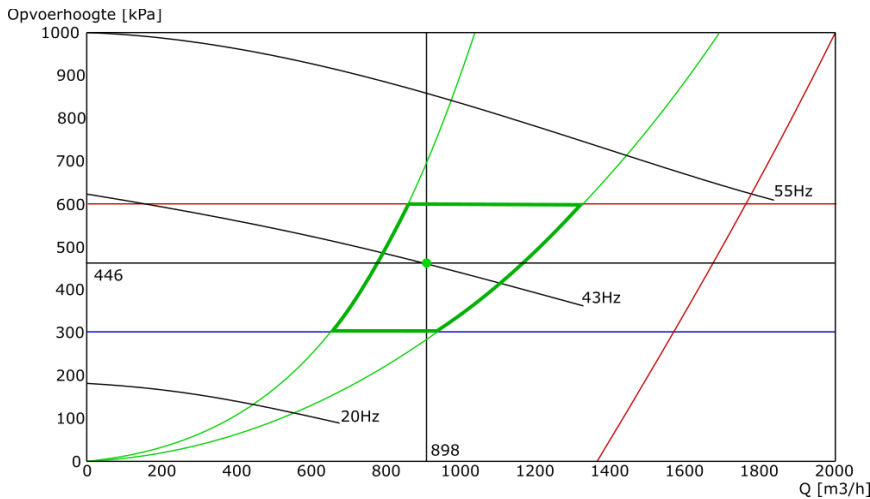
1. het opstellen van een (distributie)model inherent multidisciplinair is. Het omvat onder andere regeltechniek, werktuigbouwkunde en hydraulica met de betreffende disciplines van het ingenieursbureau en de procestechnici. Door het samenbrengen van disciplines wordt uit alle hoeken meegedacht over het systeem. Daarmee komt ook automatisch aan de orde of het systeem dat bestuurd wordt, eigenlijk wel optimaal is, zoals bijvoorbeeld bij de pompconfiguratie. Het levert dus inzichten en kansen op die anders zouden zijn blijven liggen.
2. afwijkingen tussen praktijk en model bij het ontwikkelen van een modelgebaseerde regeling verklaard moeten worden. De constatering van veel van deze afwijkingen leidt tot verbeteringen aan de installatie door het elimineren van ongewenste situaties/fenomenen, zoals bijvoorbeeld meetfouten of pompslijtage.

Modelgebaseerde distributieregeling

Nu het duidelijk is dat het toepassen van een modelgebaseerde regeling inherente voordelen heeft, volgt hier een voorbeeld van een diepere beschouwing van een modelgebaseerde distributieregeling. De kern is dat de modelgebaseerde distributieregeling zowel de pompen beschermt tegen verkeerd/oneigenlijk gebruik, als de beschikbare pompen op de meest energiezuinige wijze worden ingezet.

Wat doet het model?

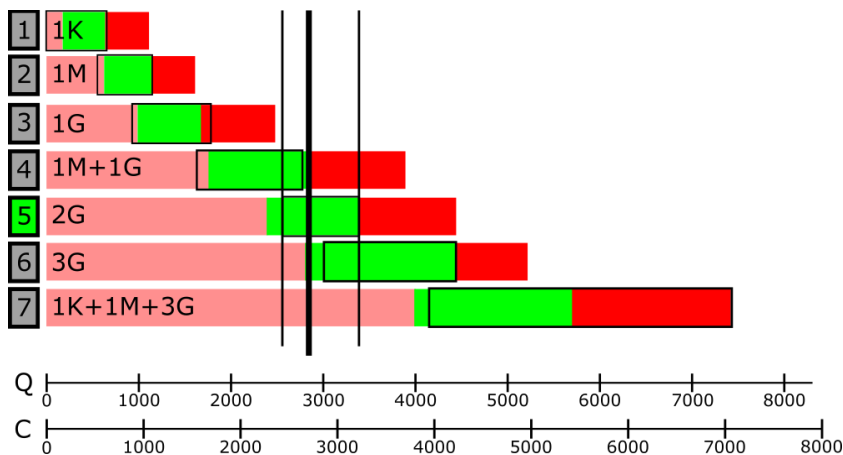
Hoofdzakelijk heeft het model twee functies. Ten eerste worden per pomp de aanvaardbare inzetgrenzen bepaald. Dit omvat de maximale inzet met betrekking tot cavitatie, maximaal toerental en het maximaal vermogen. Bij het bepalen van deze grenzen worden deze zowel getoetst met leveranciersgegevens, als in de praktijk. In afbeelding 1 is een SCADA-beeld van de aansturing per pomp gegeven. Hierin zijn de pompcurve (zwart), het actuele werkpunt (groene stip), het optimale werkgebied (groene wybertje) en de kritische grenzen (rood) te zien.



Afbeelding 1. SCADA-beeld van de aansturing van individuele pompen

Ten tweede zorgt het model voor een optimale aansturing: het selecteert de energetisch optimale pompcombinatie voor de actuele druk én het bepaalt bovendien de individuele optimale pomptoerentallen die per pomp onderling continu kunnen verschillen.

Afbeelding 2 geeft een SCADA-beeld met een overzicht van de mogelijke en actuele pompcombinaties. Hierin staat onder meer aangegeven welke pompcombinatie actief is: het groen gemarkeerde nummer. Als tweede is aangegeven of de pomp een optimaal rendement kent (te zien in hoeverre het actuele werkpunt in het groene gebied ligt).



Afbeelding 2. SCADA-beeld met overzicht van pompcombinaties en de optimale inzet

Aan deze functionaliteiten ligt een belangrijke eigenschap ten grondslag: het model is een sturing of voorwaartse regeling die nauwkeurig en direct op het doel (setpoint) afgaat. Dit kan omdat alle eigenschappen van het systeem bekend zijn. Een standaard teruggekoppelde regeling is daarentegen, door het ontbreken van systeemkennis, continu bezig om metingen en het setpoint te vergelijken en al doende te corrigeren.

Als bijvoorbeeld de distributiedruk geregeld moet worden, wordt bij de modelgebaseerde regeling geen gebruik gemaakt van de drukmeting, maar bepaalt het model de benodigde individuele pomptoerentallen met het uitgaande distributiedebiet. Deze aansturing leidt tot een gerealiseerde distributiedruk die erg dicht bij het setpoint ligt. Vervolgens kan de eventueel overgebleven geringe afwijking op klassieke wijze snel weggeregeld worden.

Wat zijn de voordelen?

De modelgebaseerde regeling heeft de volgende voordelen:

1. Hoofddoel: de regeling kent bij plotselinge veranderingen in pompschakelingen géén drukschommelingen (<5 kPa is haalbaar, afhankelijk van de nauwkeurigheid van de pompcurves);
2. Financieel doel: de regeling bereikt het hoogst haalbare rendement met een gegeven pompconfiguratie (verwachte besparing in de distributie van Brabant Water is 5%);

Bijvangst:

3. De regeling kan zeer snel en stabiel reageren op plotselinge veranderingen. Zeer snelle veranderingen zijn in principe ongewenst, maar kunnen bijvoorbeeld ontstaan door grootverbruikers, uitval van andere pompstations of aanjagers, of bijvoorbeeld sterke fluctuaties in de afname rond evenementen als een WK of EK voetbal. De regeling voorkomt met een snelle respons, en dus stabiele druk, verdere secundaire effecten en uitval;
4. Door bewaking van het inzetgebied wordt overmatige pompslijtage voorkomen;
5. Het model is zeer universeel en maakt meer pompcombinaties mogelijk dan met standaard regeltechniek (bijv. voor een hogere efficiency, grotere capaciteit). De systeemkennis maakt dat precies bekend is met welk toerental iedere pomp individueel moet draaien;
6. Het model maakt virtuele metingen mogelijk: het debiet kan berekend worden uit de actuele pomptoerentallen en de druk, en vice versa. Virtuele metingen kunnen ingezet worden als tijdelijke back-up voor fysieke metingen. Dit vergroot de bedrijfszekerheid;
7. De regeling levert real-time inzichten in de conditie van het systeem;
8. De ontwikkeling levert systeemkennis op die tot verdere optimalisatie kan leiden.

Benodigde versus opgedane kennis

Wat is er nodig om deze voordelen te behalen? De belangrijkste investering van een modelgebaseerde regeling is het verzamelen van de benodigde kennis.

Benodigde kennis

Een modelgebaseerde distributieregeling valt uiteen in twee hoofdonderdelen:

1. Een model dat de (samen)werking van distributiepompen beschrijft. Dit model moet eenmalig worden vastgesteld.

2. Een beschrijving per pompstation, die bestaat uit:
 - pompegegevens in de vorm van (gekalibreerde) pompcurves, rendement en kritische grenzen;
 - hoogtes van reservoirs en metingen t.o.v. NAP.Dit vergt per distributiepompstation een inspanning.

De belangrijkste inspanning is de bepaling van een nauwkeurige pompcurve. Hoe nauwkeuriger deze is, hoe nauwkeuriger het model. In de praktijk is gebleken dat met kalibraties pompcurves binnen 5 kPa nauwkeurig vast zijn te stellen. Hierdoor zijn de drukschommelingen door schakeleffecten nog kleiner en verwaarloosbaar geworden. Niet-gekalibreerde pompcurves op basis van testcurves blijken in de praktijk (door slijtage, minder gunstige aanstroming en verouderde gegevens) veel onnauwkeuriger en leiden tot minder reductie van drukschommelingen.

Met een routinematige aanpak en een goed protocol is een pompcurve met kalibratie met beperkte inspanning nauwkeurig vast te stellen.

Opgedane kennis

1. De actuele efficiëntie van de pompen en het totaalrendement in de praktijk. Pompen met een slecht rendement vallen direct door de mand.
2. Inzicht of de pompen voldoen of dat de inzetgrenzen bereikt worden. (zijn er kritische grenzen qua capaciteit, rendement, toerental of vermogen die worden bereikt?)
3. In hoeverre er sprake is van een verminderde pompopbrengst. Het verschil tussen de gerealiseerde en gemodelleerde opvoerhoogte is een maat voor afwijkende pompopbrengsten. Bij Brabant Water worden de pompen bij inbedrijfname zo gekalibreerd dat geen relevante afwijking aanwezig is. Een afwijking die naderhand ontstaat, wijst (vroegtijdig) op het ontstaan van slijtage.

Andere projectinzichten die naar voren zijn gekomen:

1. Voldoende flexibiliteit in opvoerhoogte is essentieel om een pompstation bij wijzigende voorzieningsgebieden in te kunnen zetten. Dit komt in een pompstation relatief veel voor. Als de benodigde druk door de pompconfiguratie niet gehaald kan worden, moeten immers alle pompen vervangen worden.
2. Welke verbeteringen in de pompconfiguraties zijn mogelijk? Komen er veel bedrijfssituaties voor met een slecht rendement en dus met ontbrekende optimale pompcombinaties?
3. Functioneren de pompen wel naar behoren ten opzichte van de gegevens van leveranciers? Zo nee, dan wijst dit op eerder opgetreden slijtage of op een suboptimale inbouwsituatie.
4. Door te toetsen op het aanvaardbare inzetgebied worden pompen met overmatig lawaai bij bepaalde werkpunten of een slecht rendement bij inbedrijfstelling direct geïdentificeerd.
5. De impact van de wijze waarop waterslagketels worden aangesloten. Waterslagketels veroorzaken in potentie regelverstoringen, die onder andere afhankelijk zijn van de locatie van aansluiting ten opzichte van debietmetingen.
6. De oorzaak van drukschommelingen: soms zijn deze het gevolg van schakelende grootverbruikers, maar vaak blijkt dit ook veroorzaakt te worden door minder goede regelingen en interactie tussen pompstations. Met een goede modelgebaseerde regeling kan dit onderscheid gemaakt worden en kunnen passende maatregelen worden bedacht.

Conclusie

Het toepassen van modelgebaseerde regeltechniek biedt veel meer kansen dan alleen een optimale regeling zonder drukschommelingen en lager energieverbruik. De ontwikkeling ervan levert namelijk inherent veel bijvangst op.

Hoofdzakelijk heeft de modelgebaseerde regeling twee functies: het beschermen van de pompen tegen suboptimale inzet en het minimaliseren van energieverbruik. Een modelgebaseerde regeling kan deze resultaten leveren door toepassing van systeemkennis in een sturing die snel en effectief op het doel (setpoint) afgaat. Het verzamelen van deze systeemkennis kost enige moeite. Het blijkt echter dat met het model en de werkwijze van Brabant Water veel nuttige kennis opgedaan wordt en veel voordelen behaald worden.

Brabant Water heeft op alle facetten in de ontwikkeling ingezet op maximale winst. Dat is zeer geslaagd. Dit is een voorbeeld van de voordelen van modelgebaseerde regeltechniek, die ook in andere contexten soortgelijke voordelen kan opleveren.

Meer weten over de toepassing van modelgebaseerde regeltechniek in uw domein of hoe deze de prestaties van uw pompstation kan verbeteren? Neem contact op met Jørgen Best (jorgen.best@witteveenbos.com; voormalig eigenaar van Best Works) of Gilian van Lenthe (gilian.van.lenthe@witteveenbos.com).