

Monitoring van het distributienet om afwijkingen te detecteren

Inleiding: kwetsbaarheid van distributienetwerken

Het drinkwater wordt vanaf de waterzuiveringen naar de onze huizen en bedrijven verpompt via de distributienetwerken. Deze netwerken zijn zeer uitgebreide systemen: naast elke straat en naast veel wegen en door veel weilanden liggen leidingen waardoor het water stroomt. De leeftijd van deze leidingen is divers: in jonge steden of in nieuwe woonwijken zijn de leidingen nog vrij nieuw, maar in de oude stadcentra zijn de leidingen veel ouder, tot soms wel meer dan 100 jaar oud. Het (hoofd)leidingnetwerk in Nederland heeft een totale lengte van circa 120.000 km, ofwel 3 rondjes om de aarde.

Leidingbreuken in Nederland

Met een dergelijke uitgebreid leidingnet van variërende leeftijd, zou je veel storingen kunnen verwachten. En die verwachting klopt. In ons leidingnet treden gemiddeld 0,07-0,09 leidingbreuken per km per jaar op (Trietsch and Vreeburg (2005)). Voor heel Nederland komt dit overeen met 10.000 breuken per jaar, ofwel 28 breuken per jaar. Voor de kleinere waterleidingbedrijven in Nederland betekent dit gemiddeld 1 breuk per dag, terwijl het grootste waterleidingbedrijf gemiddeld 10 breuken per dag krijgt te verwerken. Omdat het grootste deel van het leidingnet bestaat uit leidingen met een relatief kleine diameter, treedt ook het grootste deel van de breuken op in deze kleinere leidingen. De overlast van deze breuken is relatief beperkt: bij een beperkt aantal consumenten komt er geen water uit de kraan, of is de druk lager dan normaal. Met enige regelmaat treden echter leidingbreuken op, waarvan de gevolgen aanzienlijk groter zijn.



Figuur 1 - Voorbeeld van een leidingbreuk.



Martijn Bakker
RHDHV
TU Delft



Monitoring van het distributienet om afwijkingen te detecteren

Deze gevolgen hebben enerzijds betrekking op de waterlevering: een groot aantal consumenten krijgt gedurende meerdere uren geen water uit de kraan. Anderzijds kunnen dergelijke breuken soms aanzienlijke schade aan de omgeving toebrengen: het wegstromende water zet kelders of laaggelegen gebieden onder water, of ondermijnt en beschadigt het (verhard) oppervlak (wie kent er niet de vaak spectaculaire foto's van auto's of vrachtauto's die gedeeltelijk of geheel zijn verdwenen in een gat dat is ontstaan doordat het wegstromende drinkwater de ondergrond heeft meegevoerd). De schade van dergelijke incidenten is niet zelden 10 duizenden euro's tot soms meer dan 100 duizend euro.

Bruin water klachten in Nederland

De verkleuring van drinkwater die leidt tot zogenaamde "bruin water klachten", is een andere regelmatig optredende verstoring van de normale drinkwatervoorziening. Een groot deel van de klachten van consumenten of de waterlevering zijn gerelateerd aan de verkleuring van het water: Variërend van 34% in het Verenigd Koninkrijk (Vreeburg and Boxall (2007)) tot 75% bij een Australisch waterbedrijf (Kjellberg et al. (2009)).

Besmetting van het drinkwater

Een besmetting van het drinkwater kan ernstige gevolgen hebben voor de volksgezondheid. Een besmetting kan resulteren in ziektegevallen en in ernstige situaties zelfs dodelijke slachtoffers. Dergelijke ernstige gevallen komen gelukkig slechts sporadisch voor: In de afgelopen ruim 60 jaar zijn drie gevallen bekend van besmettingen van het drinkwater in Nederland met ziektegevallen tot gevolg (Smeets et al. (2009)). In alle drie gevallen werd de besmetting veroorzaakt doordat niet-drinkwater het distributienet werd ingepompt via een foutieve doorverbinding. Op basis van dit beperkte aantal gevallen zou besmetting via het distributienet van eens per 20 jaar voor heel Nederland verwacht mogen worden. Onderzoeken voor een aantal West-Europese landen (Risebro et al. (2005)) en in de Verenigde Staten (Craun et al. (2010)) laten zien dat het aantal incidenten in het buitenland weliswaar relatief iets hoger ligt, maar wel in dezelfde orde grootte: vertaald naar de

Nederlandse bevolkingsomvang eens in de 17 jaar voor de West-Europese landen en eens in de 14 jaar voor de Verenigde Staten.

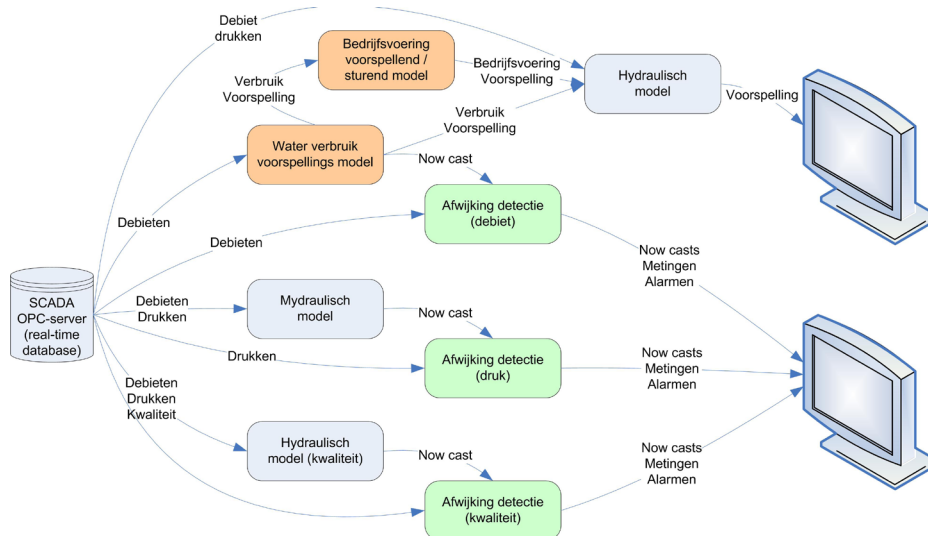
Terroristische aanslagen

De terroristische aanslagen op 11 september 2001 in New York hebben de wereld bewust gemaakt van de kwetsbaarheid voor terroristische aanslagen. Grote private en publieke bedrijven, waaronder de waterleidingbedrijven, zijn als reactie daarop gestart met het in kaart brengen van hun kwetsbaarheid en de mogelijkheden om zich hiertegen te beschermen. De Nederlands waterleidingbedrijven hebben maatregelen genomen om de bovengrondse assets (zuiveringen, pompstations, kantoren) beter te beschermen door het aanbrengen hekken, verbeterde sloten, installeren inbraakbeveiliging systemen, et cetera. De beveiliging van de ondergrondse assets is nog niet opgelost. Doordat de uitgestrektheid van het leidingnet, bovendien veelal in openbare ruimte, is fysieke beveiliging onmogelijk. Voor de beveiliging met technische maatregelen (door het plaatsen van sensoren en installeren van detectiealgoritmen) is tot op heden geen praktische oplossing gevonden.

Maar hoe groot is het gevaar van terroristische aanslagen op onze leidinginfrastructuur? De Nederlandse watersector is tot heden niet opgeschrikt door een aanslag. Wereldwijd zijn wel enkele gevallen bekend (waarvoor, gezien de ernst en de aard van de gevallen, de term moedwillige besmetting beter op zijn plaats is dan de term terroristische aanslag). Gemiddeld vindt circa één moedwillige besmetting van het drinkwater per jaar op de hele wereld plaats. Vertaald naar de Nederlandse bevolkingsomvang zou dit overeen komen met één moedwillige besmetting per 400 jaar.

Monitoren van het distributienet

Uit bovenstaande blijkt dat het drinkwater distributienet kwetsbaar is voor verstoringen. Dit kunnen spontane verstoringen zijn tengevolge van de veroudering van het leidingnet, verstoringen als gevolg van onbedoeld menselijk handelen (graafwerkzaamheden, aanleggen van kruisverbindingen), en verstoringen als gevolg van bedoeld menselijk handelen (moedwillige besmetting



Figuur 2 - Modules van de Distributie Monitor.

van het drinkwater). Deze kwetsbaarheid is voor een consortium bestaande uit TU Delft, RIVM, 4 waterleidingbedrijven en 2 marktpartijen aanleiding geweest om een onderzoeksproject op te starten, waarvoor een Innowator subsidie is verkregen. Eén van de doelen van dit consortium is het ontwikkelen van modellen om verstoringen in de dagelijkse bedrijfsvoering zo vroeg mogelijk te ontdekken. Door vroegtijdige ontdekking kan het waterleidingbedrijf direct beginnen met het treffen van mitigerende maatregelen, waardoor zij de gevolgen voor het publiek en eventuele schade aan de omgeving kan minimaliseren. Het consortium heeft ervoor gekozen om zich te richten op "normale" veel voorkomende verstoringen, zoals leidingbreuken en bruin water gebeurtenissen.

De redenen hiervoor zijn de volgende:

- Voor detectie van dit soort verstoringen zijn goede sensoren beschikbaar;
- Omdat deze gebeurtenissen vaker voorkomen, kan het te ontwikkelen model direct in praktijk getest en eventueel verbeterd worden.

Aan de hand van het project zullen de deelnemende waterleidingbedrijven ervaring kunnen opdoen met monitoring van het distributienet. Deze ervaring zal in een eventueel vervolg project

gebruikt kunnen worden voor het uitbreiden van de bewakingsfunctionaliteit. Bij deze eventuele uitbreiding zal ook bewaakt worden op veel minder vaak voorkomende, maar potentieel gevaarlijker afwijkingen zoals onbedoelde of bedoelde besmetting van het drinkwater.

Te ontwikkelen monitoringssysteem

Om afwijkingen snel te detecteren wordt een monitoringssysteem ontwikkeld voor distributienetwerken, genaamde de "Distributie Monitor". Deze monitor bewaakt water kwantiteit en in beperkte mate water kwaliteit. De Distributie Monitor bestaat uit de volgende elementen:

1. Een netwerk van debiet-, druk- en kwaliteitssensoren;
2. Een real-time draaiend hydraulisch model met kwaliteitsmodule;
3. Een algoritme voor detectie van afwijkingen;
4. Een voorspellingsmodel voor de drinkwatervraag en bedrijfsvoering.

De Distributie Monitor wordt beschikbaar gemaakt voor de operators op het centrale bedrijfsvoeringcentrum of voor de medewerkers die verantwoordelijk zijn voor storingen in het distributienetwerk. Het functioneel ontwerp van de Distributie Monitor is weergegeven in Figuur 2.

Monitoring van het distributienet om afwijkingen te detecteren

1. Een netwerk van debiet-, druk- en kwaliteitssensoren

In het distributienet moeten druk-, debiet- en (eventueel) kwaliteitssensoren aanwezig zijn; zonder deze sensoren kan de Distributie Monitor niet functioneren. De metingen moeten real-time beschikbaar zijn, om ook real-time afwijkingen te kunnen detecteren. In de meeste distributienetwerken zijn standaard al een aantal druk- en debietmetingen beschikbaar, die nodig zijn voor de besturing van de pompen en regelkleppen. In de huidige praktijk hebben de meeste Nederlandse waterleidingbedrijven geen kwaliteitssensoren in het distributienet geïnstalleerd. Om afwijkingen in de waterkwaliteit in het distributienet te kunnen detecteren, zullen deze wel geïnstalleerd moeten worden. In een eerste installatie van de Distributie Monitor zal gebruik gemaakt worden van standaard sensoren voor geleidbaarheid, temperatuur en troebelheid.

De fijnmazigheid van het sensornetwerk bepaalt de nauwkeurigheid waarmee het distributienetwerk gemonitord kan worden. Wanneer weinig sensoren aanwezig zijn, kunnen alleen zeer grote gebeurtenissen (zoals de breuk van een grote transportleiding) gedetecteerd worden; kleinschaliger gebeurtenissen zullen onopgemerkt blijven. Naarmate méér sensoren geplaatst worden, kunnen ook kleinschaliger gebeurtenissen gedetecteerd worden. Voor het functioneel ontwerp van de Distributie Monitor maakt dit echter niet uit.

2. Een real-time draaiend hydraulisch model met kwaliteitsmodule

De real-time metingen van debiet en druk op de pompstations of andere druk / debiet regelende locaties zullen gebruikt worden als inputs voor het real-time draaiend hydraulisch model. Machell et al. (2010) hebben de voordelen en praktische aandachtspunten van een real-time draaiend hydraulisch model beschreven. Aan het hydraulisch model zal een waterkwaliteitsmodule gekoppeld worden (EPANET-MSX), waarmee waterkwaliteitsberekeningen worden gedaan. Met het model zal voor elke gemeten waarde van druk, debiet en waterkwaliteit een voorspelde waarde

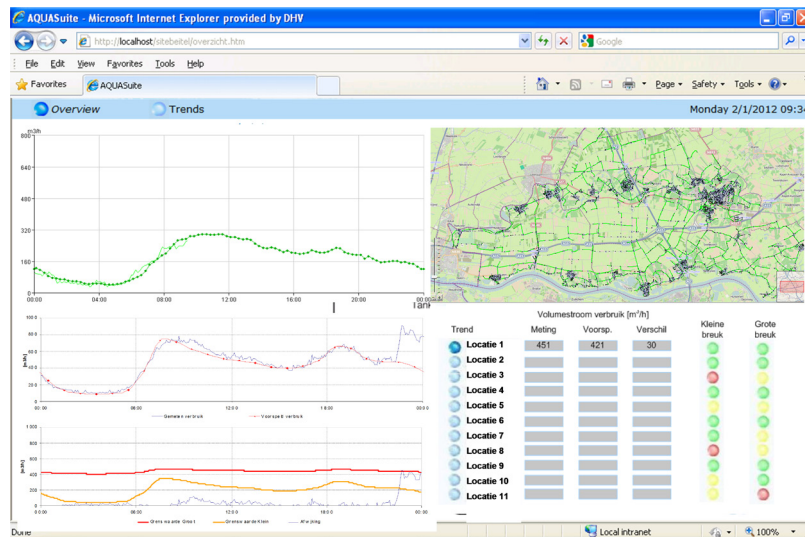
gegenereerd worden. Deze zogenaamde "now-cast" voor druk en debiet wordt berekend door elke 5 minuten een statische berekening te doen. De "now-cast" voor de waterkwaliteiten wordt gebaseerd op de uitkomst van de hydraulische berekening, waarbij de berekende waterkwaliteiten van de vorige tijdstep gebruikt worden als startwaarden bij de berekening.

3. Een algoritme voor detectie van afwijkingen

De gemeten en voorspelde ("now-cast") waarden van debiet, druk en kwaliteit worden gebruikt als inputs voor het algoritme voor detectie van afwijkingen. Voor het detecteren van leidingbreuken of gebeurtenissen waarbij niet-drinkwater het leidingnet wordt ingepompt, wordt het voorspelde en het gemeten drinkwaterverbruik vergeleken (beschreven in Bakker et al. (2012)). Voor het bepalen van de locatie van de leidingbreuk worden metingen en voorspellingen van druk en debiet in een leidingnetmodel geëvalueerd. Op basis van iteratieve berekeningen kan hiermee de meest waarschijnlijke locatie afgeleid worden. Voor het detecteren van afwijkingen in de waterkwaliteit wordt gebruik gemaakt van de CANARY software (Fisher (2010)).

4. Een voorspellingsmodel voor de drinkwatervraag en bedrijfsvoering

Op basis van de real-time gemeten debieten wordt het netto waterverbruik in elk verbruiksgebied bepaald. Dit verbruik is input voor het watervraag voorspellingsmodel. De voorspelde vraag alsmede actuele reservoirniveaus vormen vervolgens de input voor het bedrijfsvoering voorspellingsmodel. Dit model bepaalt de bedrijfsvoering van het systeem (productie debiet, pompdebiet / druk, regelklep instellingen) op basis van het voorspelde verbruik. De uitkomsten van dit model kunnen ook gebruikt worden om de infrastructuur direct aan te sturen, door de setpoints terug te sturen naar de lokale besturing. De voorspellingen van zowel de drinkwatervraag als de bedrijfsvoering worden doorgerekend met een hydraulisch model. Hiermee worden voorspellingen gegenereerd voor alle debieten, drukken en reservoir niveaus voor de komende 48 uur.



Figuur 3 - De user interface van de Distributie Monitor.

User interface

Het user interface van de Distributie Monitor zal bestaan uit webpagina's, waarin een overzicht geboden wordt van voorspelde en gemeten waarden en trends, en alarmeringen bij (te) grote afwijking tussen voorspelling en meting. De gebruiker krijgt hiermee inzicht in actuele afwijkingen, en in de verwachte bedrijfsvoering voor de komende 48 uur. De interface bevat niet alle geavanceerde functionaliteit die in moderne hydraulische modellen beschikbaar zijn. De resultaten zijn hierdoor makkelijker toegankelijk en begrijpelijk voor medewerkers die niet dagelijks met hydraulische modellen werken. Een voorbeeld van het user interface is weergegeven in Figuur 3.

Resultaten

De modules worden momenteel ontwikkeld en getest. Volgens de huidige planning zal een prototype in het najaar van 2013 geïmplementeerd worden. Op dit moment kunnen daarom nog geen ervaringen en resultaten van de Distributie Monitor getoond worden.

Conclusie

De te ontwikkelen Distributie Monitor ondersteunt waterleidingbedrijven bij het sneller ontdekken van afwijkingen in het distributienet. Hierdoor kunnen

de bedrijven sneller reageren op afwijkingen, waardoor de overlast voor verbruikers vermindert kan worden en schade aan de omgeving beperkt kan worden. De Distributie Monitor wordt daarmee een belangrijke nieuwe functionaliteit voor de bewaking van distributiesystemen.

Referenties

1. Bakker, M., Vreeburg, J.H.G., Van de Roer, M., and Sperber, V.(2012). "Detecting pipe bursts by monitoring water demand", Proceedings Waterloss Europe 2012 Conference, Ferrara, Italy.
2. Craun, G.F., Brunkard, J.M., Yoder, J.S., Roberts, V.A., Carpenter, J., Wade, T., Calderon, R.L., Roberts, J.M., Beach, M.J., and Roy, S.L. (2010). "Causes of outbreaks associated with drinking water in the United States from 1971 to 2006". Clinical Microbiology Reviews. 23 (3): 507-528.
3. Fisher, S. (2010). "Free software tool to monitor water supply". Pollution Engineering. 42 (8).
4. Kjellberg, S., Jayaratne, A., Cadan, E., Sukumaran, N., Vreeburg, J., and Verberk, J. (2009). "The resuspension potential method: Yarra Valley water's novel approach to routine mains cleaning". Water Science and Technology: Water Supply. 9 (5): 549-556.
5. Machell, J., Mounce, S.R., and Boxall, J.B. (2010). "Online modelling of water distribution systems:

Monitoring van het distributienet om afwijkingen te detecteren

- A UK case study". *Drinking Water Engineering and Science*. 3 (1): 21-27.
6. Risebro, H., De Francia Doria, M., Yip, H., and Hunter, P.R. 2005. Intestinal illness through drinking water in Europe. In: Report of the Microrisk Project to the European Commission (contract EVK1-CT-2002-00123).
 7. Smeets, P.W.M.H., Medema, G.J., and Van Dijk, J.C. (2009). "The Dutch secret: How to provide safe drinking water without chlorine in the Netherlands". *Drinking Water Engineering and Science*. 2 (1): 1-14.
 8. Trietsch, E.A., and Vreeburg, J.H.G. (2005). "Reliability of valves and section isolation". *Water Science and Technology: Water Supply*. 5 (2): 47-51.
 9. Vreeburg, J.H.G., and Boxall, D.J.B. (2007). "Discolouration in potable water distribution systems: A review". *Water Research*. 41 (3): 519-529.