



Aanleg transportleiding Waternet

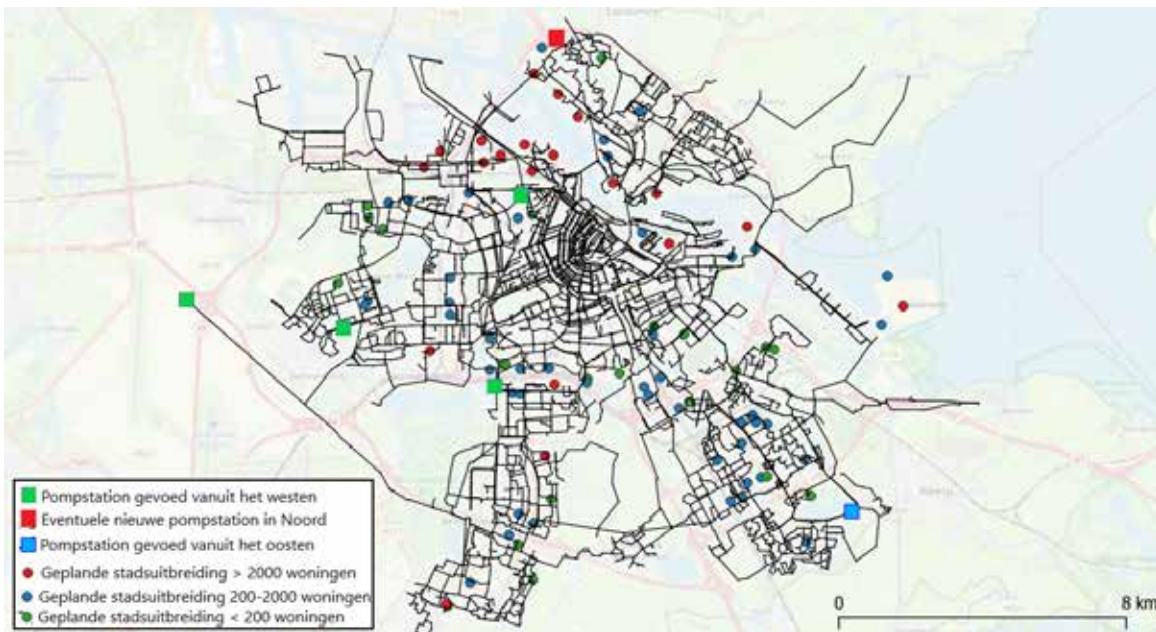
AUTEURS

Bram Hillebrand en Ina Vertommen
(KWR)Karel van Laarhoven
(KWR)Joost Louter
(Waternet)Michael Preng
(Waternet)

HOE MOET HET DRINKWATERDISTRIBUTIENET VAN WATERNET MEEGROEIEN MET DE STAD?

Net als veel andere steden heeft ook de Amsterdamse agglomeratie te maken met een stijgende watervraag door groeiende bevolking en bedrijvigheid. De verwachting is dat door klimaatverandering de watervraag extra zal toenemen in warme droge perioden. Het huidige productie- en distributienet is er niet op berekend om aan die groeiende vraag te voldoen. Waternet staat daarmee voor de uitdaging een goede groeiaanpak te ontwikkelen.

Op dit moment wordt Amsterdam van water voorzien vanuit twee productielocaties, een aan de westkant en een aan de oostkant van de stad. Waternet wil vooral vanuit het oosten aan de toenemende vraag gaan voldoen omdat er dan een betere verdeling ontstaat tussen de twee productielocaties. Behalve de capaciteit van de productielocatie(s) moet ook het distributienet worden verruimd. Daar zijn verschillende mogelijkheden voor. Voor het



Afbeelding 1: Het onderzoeksgebied omvat Amsterdam, Amstelveen en Ouder-Amstel. Weergegeven zijn de bestaande en geplande pompstations, de geplande stadsuitbreidingen en het bestaande distributienet

kiezen van de beste oplossing heeft Waternet in samenwerking met KWR een probleemdefinitie opgesteld, en vervolgens met het numerieke optimalisatieplatform Gondwana [1] een groot aantal potentiële oplossingen doorgerekend. De horizon voor deze hele exercitie is 2050.

Oplossingen door numerieke optimalisatie

KWR heeft het rekenprogramma Gondwana ontwikkeld om allerlei ontwerpvragestukken rond het leidingnet geautomatiseerd en systematisch op te lossen (numerieke optimalisatie). Gondwana combineert een zogenaamd 'genetisch algoritme' met hydraulische berekeningen om geautomatiseerd een grote hoeveelheid potentiële ontwerp oplossingen te genereren. Dit werkt als volgt:

Uitgangspunt is het huidige (begin)netwerk. Door hierin enkele willekeurige veranderingen door te voeren wordt er een zogenoemde eerste 'generatie' van potentiële nieuwe netwerken gegenereerd.

Voorbeelden van veranderingen zijn: van enkele leidingen de diameter veranderen aan de hand van een lijst van beschikbare diameters, het 'openzetten' van potentiële extra leidingen, of het veranderen van hele andere ontwerpaspecten zoals het plaatsen van een bepaalde sensor. Deze eerste generatie netwerken wordt vervolgens doorgerekend en beoordeeld op enkele vastgestelde randvoorwaarden (bv. leveringszekerheid) en prestatiecriteria (bv. kosten en opgeloste drukproblemen). Netwerken die niet

voldoen aan gestelde harde randvoorwaarden worden afgewezen. Netwerken die hieraan wel voldoen, worden met elkaar vergeleken aan de hand van de prestatiecriteria. De best presterende netwerken worden gebruikt om een nieuwe generatie oplossingen te genereren (door meer leidingen aan te passen en door netwerken met elkaar te combineren). Ook de nieuwe generatie wordt vervolgens doorgerekend en beoordeeld. Zo wordt, generatie na generatie, de verzameling van oplossingen steeds beter. Uiteindelijk leidt dit tot een verzameling van mogelijke ideale netwerken: een paretofront. De gebruiker kan de verschillende ontwerpen op het paretofront vergelijken en besluiten in hoeverre een verbetering op de ene doelstelling een concessie op de andere rechtvaardigt.

De techniek om met numerieke optimalisatie oplossingen te ontwerpen is niet nieuw. Er zijn vele wetenschappelijke publicaties over te vinden. Deze publicaties behandelen echter vooral kleinere standaardnetwerken. Praktijkt toepassingen met bestaande uitgebreide netwerken zijn nog steeds beperkt voorhanden. De moeilijkheid bij toepassing in de praktijk is tweeledig: ten eerste het vertalen van het probleem naar een wiskundige vorm, en vervolgens het interpreteren van de resultaten, rekening houdend met de aannames die zijn gedaan. De samenwerking tussen Waternet (probleemhouder) en KWR (vertaling van het probleem naar een wiskundige probleemdefinitie) is dus essentieel en vereist veel onderling overleg. Om het

probleem van Waternet om te vormen tot een wiskundig door te rekenen probleemdefinitie is het nodig om samen doelen, randvoorwaarden, beslisvariabelen en de uitgangssituatie van het netwerk te definiëren.

Definiëren van de uitgangssituatie

De eerste stap in het definiëren van een optimalisatieprobleem is een goede beschrijving van de uitgangssituatie. We hebben ervoor gekozen een vereenvoudigde versie van het huidige netwerk te beschrijven, met als verbruik het verwachte verbruik op het piekmoment van de piekdag in 2050. Het model is vervolgens uitgebreid met knopen (aansluitpunten waarmee een klein aantal huizen of bedrijven is aangesloten) met extra verbruik (zie afbeelding 1) om de uitbreidingsplannen van de stad te representeren. De verdubbeling van de huidige productiecapaciteit in het oosten en een eventueel nieuw pompstation in het noorden van de stad zijn ook meegenomen als uitgangspunten. Tenslotte zijn enkele mogelijke toekomstige leidingen (lokale oplossingen) met een diameter van effectief 0 mm in het model opgenomen. Deze lokale oplossingen kunnen tijdens de optimalisatie worden 'aangezet' door de diameter te vergroten, als ze meerwaarde hebben voor de oplossing. Dit geeft Waternet de mogelijkheid om de effectiviteit van de lokale oplossingen te beoordelen en om een optimale combinatie te vinden. Het aanpassen van de diameters van de lokale oplossingen en de bestaande leidingen dient in deze optimalisatie als de beslisvariabele: dat wat door het algoritme mag worden aangepast om nieuwe potentiële oplossingen te genereren.

Definiëren van de doelen

Het doel van Waternet is om ook in 2050 leveringszeker te zijn. Preciezer gezegd: dat er op het piekmoment van de piekdag in 2050 voldoende water met voldoende druk kan worden geleverd. Analyses van het huidige netwerk met daarbij opgeteld de watervraag in 2050 (dus inclusief stedelijke ontwikkeling en ook inclusief de toename van de watervraag door klimaatverandering) laten zien dat het huidige netwerk hier niet aan kan voldoen en dat er veel plaatsen zijn waar de benodigde druk niet wordt gehaald. Omdat Waternet in de komende 30 jaar (naar 2050) slechts beperkte ruimte (in tijd, geld en mensen) zal hebben om

het leidingnet aan te passen, is er ook gekeken naar welke aanpassingen het effectiefst zijn. Oftewel: hoe kunnen we met zo min mogelijk aanpassingen zoveel mogelijk ondermaatse drukken oplossen. De gekozen optimalisatie beoordeelt de oplossingen daarom op twee doelen:

- het minimaliseren van de som van drukken onder de 230 kPa en
- het minimaliseren van het aantal kilometers leiding dat moet worden aangepast.

Dit geeft inzicht in hoeveel er moet worden geïnvesteerd/aangepast om de gewenste prestatie op druk te halen.

Definiëren van de randvoorwaarden

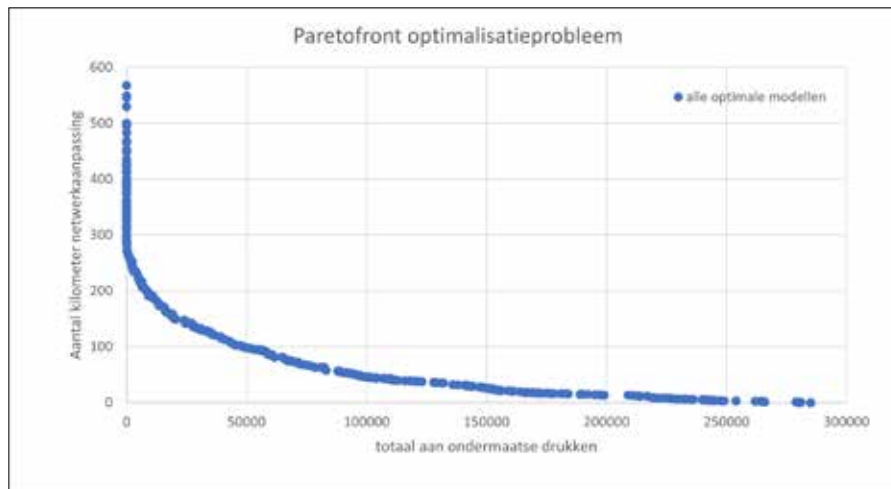
Het netwerk moet voldoen aan de gestelde doelen, maar binnen een aantal randvoorwaarden. Waternet heeft de wens om een groot deel van de toename in de watervraag te produceren aan de oostkant van het systeem, zodat er een evenwichtiger verdeling ontstaat tussen de twee productielocaties. Analyse van het netwerk laat echter zien dat, vanwege de huidige hydraulische weerstand van het netwerk, het extra water alleen maar geleverd zou kunnen worden vanuit de productielocatie in het westen van de stad. Wanneer de levering vanuit het westen wordt begrensd en een gelijke waterverdeling tussen oost en west wordt afgedwongen, zou in het oostelijke pompstation een niet te realiseren hoge druk nodig zijn. Een van de randvoorwaarden is dan ook dat bij een gelijkmatige waterverdeling de druk bij dit leveringspunt niet hoger mag zijn dan 350 kPa. Daarnaast wil Waternet expliciet rekening houden met de leveringszekerheid onder enkele van de ernstigst mogelijke verstoringen in het distributiesysteem, zoals uitval van een pompstation of een belangrijke leiding. Om hier rekening mee te houden zijn er 21 verstoringsscenario's uitgewerkt, waarvan de zes met de meeste impact zijn geselecteerd om mee te nemen in de optimalisatie. De prestatie van de potentiële netwerken op deze verstoringsscenario's wordt vervolgens meegenomen als randvoorwaarde.

Resultaten van de optimalisatie

Met de hierboven beschreven uitgangssituatie, beslisvariabelen, doelen en randvoorwaarden (tabel 1) kan het optimalisatieplatform (Gondwana) aan het rekenen.

Tabel 1. Overzicht van de uiteindelijke definiëring van het optimalisatieprobleem

Uitgangssituatie	Hydraulisch netwerk met ingetekend toekomstig verbruik en toekomstige pompstation(s)
Beslisvariabelen	Nieuwe diameters en extra leidingen
Doel 1	Zo min mogelijk punten met druk < 230 kPa in de onverstoorde situatie
Doel 2	Zo min mogelijk aanpassingen in het net
Randvoorwaarde 1	Leveringszeker in 6 worst case verstoringsscenario's
Randvoorwaarde 2	Acceptabele druk op het oostelijke pompstation



Afbeelding 2: Alle optimale modellen en hun scores voor de twee gedefinieerde doelen

De optimalisatie geeft 48 oplossingen per generatie en een totaal van 4500 generaties. Dit betekent dat er in totaal 216.000 potentiële netwerkmodellen zijn door-gerekend. Dit levert uiteindelijk een paretofront op van geoptimaliseerde netwerken, waarbij sommige netwerken beter scoren op druk (afbeelding 2, horizontale as) maar meer kilometers aanpassingen nodig hebben (verticale as) of andersom. Binnen de mogelijkheden die worden aangegeven door het paretofront heeft Waternet een voorkeur voor oplossingen waarin 100 tot 300 km leidinglengte wordt aangepast. Dit heeft twee redenen. Ten eerste vragen oplossingen met meer dan 300 kilometer aan aanpassingen extra investeringen, die nauwelijks een betere prestatie op druk opleveren, terwijl onder de 300 km met elke kleine aanpassing nog steeds respectabele winst valt te behalen. Ten tweede betekent 100-300 km aan aanpassingen in de komende 30 jaar voor Waternet een uitdaginge maar geen onmogelijke opgave.

Op het paretofront liggen 156 potentiële netwerken met tussen de 100 en 300 km aan aanpassingen, allemaal met net een andere prestatie op druk en net een andere hoeveelheid aangepaste kilometers. Om te bepalen welke leidingen belangrijk zijn om aan te pakken, is voor elke leiding geanalyseerd in hoeveel van de 156 oplossingen deze wordt aangepast. Uit het Paretofront blijkt ook welke vooraf bedachte lokale oplossingen ook daadwerkelijk geselecteerd worden en dus effectief zijn in het oplossen van de ondermaatse drukken. Sommige lokale oplossingen worden weinig geselecteerd (omdat er betere manieren zijn), andere worden bijna altijd gebruikt.

Dankzij dit onderzoek heeft Waternet een beter zicht op de investering die nodig is om ook in 2050 leveringszeker te zijn. Het is nu duidelijk welke bestaande leidingtrajecten verruimd moeten worden en welke lokale oplossingen

van meerwaarde zijn. Met deze kennis kunnen maatregel-pakketten worden samengesteld en uitgewerkt.

Bram Hillebrand, Ina Vertommen, Karel van Laarhoven (KWR), Joost Louter, Michael Preng (Waternet)

BRONNEN

[1] Practical Application of Optimization Techniques to Drinking Water Distribution Problems (easychair.org)

SAMENVATTING

Waternet staat voor de uitdaging om de drinkwaterdistributie mee te laten groeien met de stad. Samen met KWR is deze opgave omschreven als een wiskundig probleem dat kon worden opgelost met het numerieke optimalisatieplatform Gondwana. De iteratieve, systematische werkwijze levert geloofwaardige en bruikbare uitkomsten op. De opgave 'leveringszeker in 2050' is fors, maar niet onhaalbaar. Het blijkt dat een groot gedeelte van de oplossing kan samenvallen met het geplande vervangingsprogramma. Tegelijk is duidelijk geworden welke nieuwe tracés het best kunnen worden overwogen.