Hoe een lagere druk in het leidingnet het verbruik van drinkwater verlaagt bij calamiteiten

Geschreven door Claudia Agudelo-Vera, George Mesman, (KWR Watercycle Research Institute), Stijn de Jong en Ad Vogelaar (Brabant Water)

Samenvatting

Normaliter is het verbruik van drinkwater nauwelijks afhankelijk van de druk in het leidingnet. Wanneer de druk daalt, bijvoorbeeld tijdens calamiteiten, wordt het verbruik wel drukafhankelijk. In dit onderzoek is het verbruik bij lagere drukken gesimuleerd voor verschillende soorten gebouwen – vrijstaande woningen, rijtjeswoningen, appartementencomplexen – en tot op het niveau van individuele kranen. De simulaties (met SIMDEUM) tonen dat drukafhankelijkheid van het waterverbruik afhangt van het gebouwtype en de mate van de drukverlaging. De simulaties waarin de druk-verbruik relatie was aangepast, gaven een reëler beeld van het drinkwaterverbruik bij lage drukken en kwamen goed overeen met de werkelijk opgetreden drukken en volumestromen.

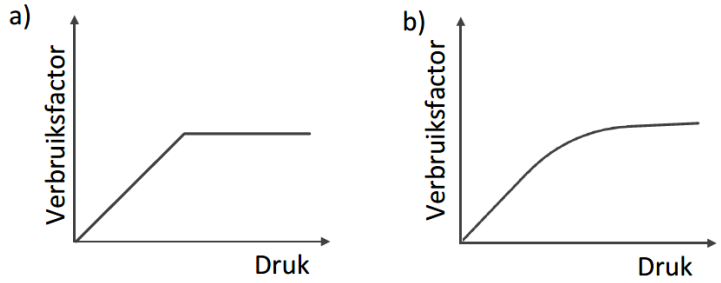
Introductie

Onder normale omstandigheden, bij voldoende druk, is het waterverbruik nauwelijks afhankelijk van de druk in het leidingnet. De stortbak van de wc vult zich wel sneller als de druk hoger is, maar er wordt niet meer water verbruikt; en omdat de volumestroom van de douche vooral bepaald wordt door de warmwatertoevoer, is ook daar nauwelijks meer waterverbruik te verwachten bij een hogere druk. Verbruikspatronen en hydraulische modellen zijn door waterbedrijven gekalibreerd voor normale omstandigheden. In het Drinkwaterbesluit [1] staat dat Waterbedrijven bij uitval van een zelfstandig onderdeel van een watervoorzieningswerk, 75% moeten kunnen leveren van de hoeveelheid water die op een maximumdag wordt geleverd. Deze volume-en drukeisen worden in het ontwerp van drinkwaternetten meegenomen.

Wanneer de druk (drastisch) daalt, bijv. tijdens calamiteiten, wordt het verbruik wel drukafhankelijk. Bij lage druk zullen wasmachines hetzelfde volume gebruiken maar langer draaien, en de warmwatervoorziening kan uitvallen. Zodra men voelt dat er minder druk is, zal men andere keuzes maken, zoals niet in bad gaan of geen tuin sproeien. Dit leidt tot een aangepast dagelijks waterverbruik, maar ook een aangepast dagelijks verbruikspatroon dat afhankelijk is van het type gebouw en de mate van de drukreductie. Levering onder dergelijke bijzondere omstandigheden vereist een aangepaste bedrijfsvoering. Die aangepaste bedrijfsvoering kan alleen maar uitgewerkt kan worden met behulp van simulaties want analyses van metingen van een heel voorzieningsgebied schalen namelijk niet lineair. Dus er zouden metingen op verschillende schalen uitgevoerd worden voor 10.000 woningen, 1.000, 100 etc. Die metingen zijn er niet, en zijn duur om te doen.

Daarnaast wordt nog mensen lastiggevallen met proeven waarbij je de druk verlaagt, wat niet gewenst is.

Om de bedrijfsvoering tijdens calamiteiten te kunnen simuleren is het nodig om aangepaste patronen te gebruiken voor de hydraulische analyse. Daarvoor is het van belang om de relatie tussen de aanwezige druk en het optredende verbruik te bepalen (een zogenaamde PRD, Pressure Related Demand). Momenteel wordt door Brabant Water (BW) een standaard druk-verbruik relatie (PRD 20) toegepast, zie afbeelding 1a. Idealiter zou deze relatie bepaald moeten worden voor ieder voorzieningsgebied, en bovendien treedt er een meer geleidelijke overgang op tussen het drukafhankelijke en het niet drukafhankelijke verbruikspatroon, zie afbeelding 1b.



Afbeelding 1 Schematische druk-verbruik relatie a) gesimplificeerde en b) realistische relatie.

Voor het nauwkeurig modelleren van de druk-verbruiksrelaties is de hoogte van het tappunt van belang: een tappunt op de eerste verdieping heeft een lagere voordruk dan een tappunt op de begane grond. Om druk-verbruiksrelaties op gebouwniveau te onderzoeken is het nodig om de drinkwaterinstallatie in het gebouw te modelleren, en op elk tappunt een aantal aannamen over druk en volumestroom te hanteren. Het voordeel van deze aanpak is dat de verliezen in de drinkwaterinstallatie worden meegenomen. Het nadeel is dat slechts één verbruikspatroon wordt geanalyseerd. Daardoor is deze aanpak alleen geldig voor individuele gebouwen en kan die niet worden geëxtrapoleerd naar een voorzieningsgebied.

In dit onderzoek is de relatie tussen het verbruik en de heersende druk gesimuleerd voor 1000 aansluitingen in verschillende situaties: er zijn vier gestandaardiseerde typen aansluitingen en acht voordrukken doorgerekend. De vier typen aansluitingen zijn:

1) Vrijstaande woning;
2) Rijtjeswoning;
3) Appartementencomplex zonder hydrofoor
4) Appartementencomplex met hydrofoor.

De patronen per type aansluiting en voordruk zijn gesimuleerd met SIMDEUM. SIMDEUM is een softwaretool waarmee drinkwaterverbruik op zeer kleine tijdschaal (1 seconde) en kleine ruimtelijke schaal (op het niveau van de kraan) kan worden gesimuleerd [2]. In dit model is het mogelijk om de volumestroom, de frequentie en de duur van het verbruik aan te passen als functie van de druk. SIMDEUM genereert hiermee unieke patronen per aansluiting. Door meerdere unieke patronen te aggregeren kunnen drukafhankelijke patronen voor een voorzieningsgebied worden bepaald. Het voordeel van het gebruik van SIMDEUM is dat inzichtelijk wordt waarom en hoe de druk het verbruik beïnvloedt. Dat is met afgeleide druk-verbruikrelaties alleen, op basis van metingen van een heel voorzieningsgebied, niet mogelijk.

Aanpak om druk-verbruiksrelaties te modelleren

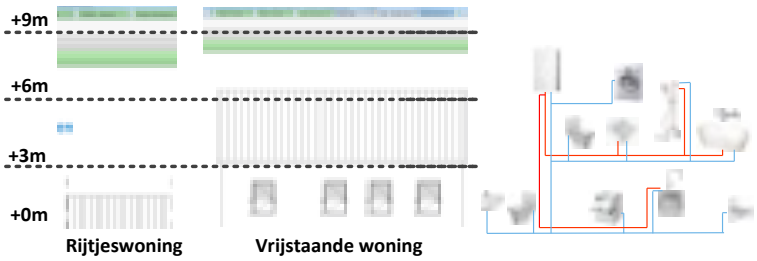
Type aansluitingen en hun tappunten

In deze studie is onderscheid gemaakt tussen warm en koud water, en de locatie (verdieping) van de tappunten t.o.v. maaiveld. Warmtapwaterbereiders eisen een minimum voordruk en zijn dus drukafhankelijk. Dit heeft invloed op zowel de ochtendpiek (douchen) als het totale waterverbruik. Voor elk van de vier geselecteerde aansluitingstypen is een schema van de locatie van de tappunten uitgewerkt, rekening houdend met een typische indeling, zie afbeelding 2. Deze kenmerken zijn deels gebaseerd op de beschrijving van de Referentiewoningen van RVO [3]. Er wordt aangenomen dat:

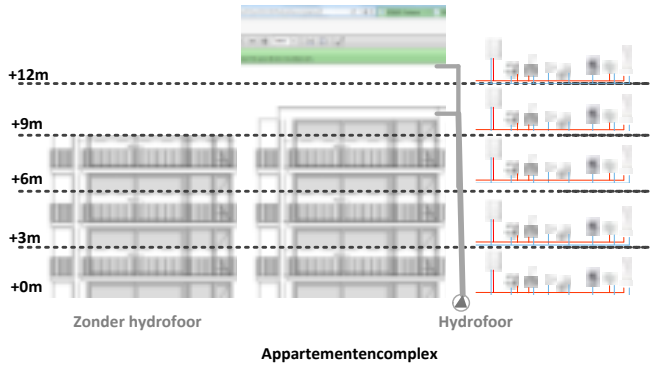
a) alle tappunten zich op 1 meter boven de vloer bevinden;
b) een hydrofoor aanwezig is vanaf 4 woonlagen
c) de warmwatervoorziening uitvalt als de voordruk op het toestel minder is dan 5 meter waterkolom (mwk) of als de volumestroom kleiner of gelijk is aan 0,1 l/s.

Er wordt geen onderscheid gemaakt tussen verschillende warmtapwaterbereidingstoestellen.

a)



b)



Afbeelding 2 Hoogte en apparatuur per verdieping voor a) huizen en b) appartementen.

Tappunten en hun drukafhankelijkheid

Drukafhankelijkheid kan worden beschreven per tappunt. Het verbruik kan volumebepaald zijn (vaste hoeveelheid voor toilet, wasmachine, afwasmachine, vullen van een emmer of bad) of volumestroom bepaald zijn (vaste hoeveelheid per tijdseenheid: douche, spoelkraan). Een zeer beperkt deel van het volumestroom bepaalde verbruik is gerelateerd aan de beschikbare druk, zoals het tuinsproeien, terwijl bijvoorbeeld voor de keukenkraan een begrenzer de invloed van een hoge voordruk beperkt.

Voor SIMDEUM-berekeningen is de gemiddelde uitvoering voor de installatie (in Nederland anno 2010) aangenomen, maar met enkele aanpassingen voor het type gebouw: namelijk dat een vrijstaande woning altijd 2 wc's heeft, en dat de vrijstaande woning en de rijtjeswoning altijd een buitenkraan hebben. Voor de simulaties met SIMDEUM is voor de rijtjeswoning en de appartementen uitgegaan van gemiddeld 2,3 personen per woning en voor de vrijstaande woning gemiddeld 2,9 personen. Tabel 1 toont de relevante tappunten voor verbruik in huis, en hun eigenschappen, onder andere drukgevoeligheid, duur per activiteit en typische volumestroom.

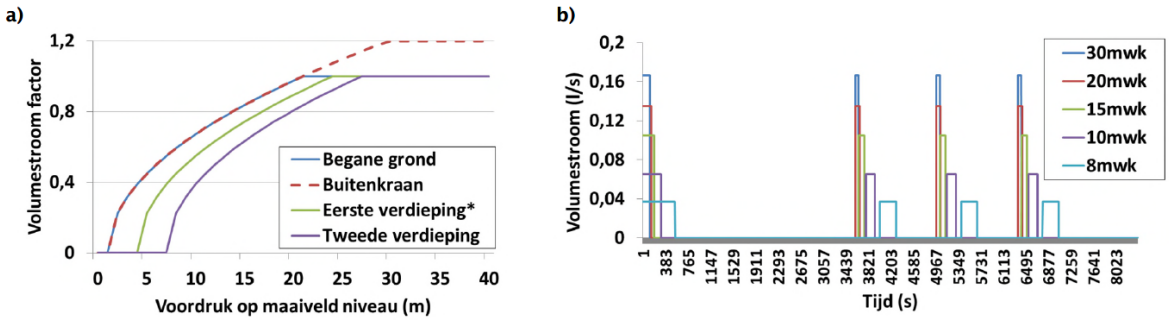
Tabel 1 Tappunten beschrijving op basis van Blokker et al. [2]

Tappunten	Drukgevoeligheid	Opslagcapaciteit/Activiteiten	Duur	Volumestroom (L/s)
Wastafel	Drukbepaald	Wassen en scheren	40 s	0.042
		Tanden poetsen	15 s	
Keukenkraan	Drukbepaald	Consumptie	16 s	0.083
		Vaat wassen	48 s	0.125
		Handen wassen	15 s	0.083
		Overige	37 s	0.083
Buitenkraan	Drukbepaald	Tuin	300 s	0.1
		Overige	15 s	
Douche	Drukbepaald	Standaard	8.5 min	0.142
		Besparende douchekop		0.123
Bad	Volumebepaald	120 liters	10 min	0.200
Vaatwasser	Volumebepaald	Merk en type	Specifiek patroon: 4 cyclus, totaal 84 seconden, 0.167 L/sec = 14 L)	
Wasmachine	Volumebepaald	Merk en type	Specifiek patroon: 4 cyclus, totaal 5 minuten, 0.167 L/sec = 50 L)	
WC	Volumebepaald	6-liter reservoir	2.4 min	0.042
		9-liter reservoir	3.6 min	

Er zijn voor elk tappunt drie typen aanpassingen uitgevoerd:

1) volumestroom
2) tapduur
3) frequentie van gebruik.

Per tappunt is de volumestroom per verdieping aangepast op basis van de typische indeling (afbeelding 2). Voor elk tappunt (per verdieping) is een volumestroomfactor, afhankelijk van de voordruk op maaiveld, gedefinieerd, zie afbeelding 3a. Omdat de meeste kranen met een vrije uitloop uitgevoerd zijn met een volumestroombegrenzer of perlator, is de aanname gedaan dat de volumestroom niet verder toeneemt wanneer de druk op het tappunt hoger is dan 20 mwk. Voor de buitenkraan is dit gesteld op 25 mwk. De drukverliezen over de aansluitleiding, de watermeter en de drinkwaterinstallatie zijn niet meegenomen, d.w.z. de voordruk van afbeelding 2 is de druk ná de watermeter. Het verminderen van de volumestroom leidt tot een langere vultijd van het bad, het toiletreservoir, de wasmachine en de vaatwasser. De duur van het vullen van het toiletreservoir en het bad worden proportioneel aangepast, bijv. het vullen van een toiletreservoir van 6 liter duurt normaal 2.4 min bij een volumestroom van 0.042 l/s. Indien een volumestroomfactor van 0,22 is toegepast, d.w.z. 0,009 l/s, duurt het vullen bijna 11 min. Voor de vaatwasser en de wasmachine zijn de cycli aangepast, zie Afbeelding 3b. De frequentie van het gebruik van de buitenkraan wordt minder als er minder druk beschikbaar is. Verder wordt voor een druk van 8 mwk of lager aangenomen dat de huishoudens met 1 en 2 personen de wasmachine minder vaak gebruiken.



*Voor de douche worden de factoren van de tweede verdieping gebruikt i.v.m. locatie van de warmwaterbereider.

Afbeelding 3 a)Factor afhankelijk van de voordruk op maaiveldniveau, b) Voorbeeld van aanpassingen aan patronen voor de wasmachine

Voor de twee appartementencomplexen zijn simulaties per verdieping uitgevoerd. Tabel 2 beschrijft de aannames voor een aantal voordrukken. Een minimale druk van 5 mwk is aangenomen voor de warmwaterbereider, dus 6 meter boven elk niveau.

Tabel 2. Overzicht van variatie per verdieping o.b.v. voordruk voor de twee appartementencomplexen

Voordruk (mwk) op maaiveld	**Drie woonlagen zonder hydrofoor**	**5 woonlagen met hydrofoor**
0	Geen waterlevering	Geen waterlevering
2	Alleen koud water voor de begane grond met verminderde volumestroom	Alleen koud water voor de begane grond met verminderde volumestroom, niet genoeg druk voor de hydrofoor. 1ste t/m 4de verdieping geen water.
5	Alleen koud water voor de begane grond en eerste verdieping met verminderde volumestroom, 2de verdieping geen water.	Alleen koud water voor de begane grond en eerste verdieping met verminderde volumestroom, niet genoeg druk voor de hydrofoor. 2de t/m 4de verdieping geen water.
10	Koud en warm water voor de begane grond en eerste verdieping met verminderde volumestroom. Alleen koud water voor de tweede verdieping.	Koud en warm water voor de begane grond en eerste verdieping met verminderde volumestroom. Alleen koud water voor de tweede verdieping. Normale levering voor de eerste en vanaf de derde verdieping door hydrofoor.
20	Koud en warm water t/m de tweede verdieping met verminderde volumestroom.	Koud en warm water t/m de tweede verdieping met verminderde volumestroom. Normale levering vanaf de derde verdieping door hydrofoor.
30	Normale levering	Normale levering

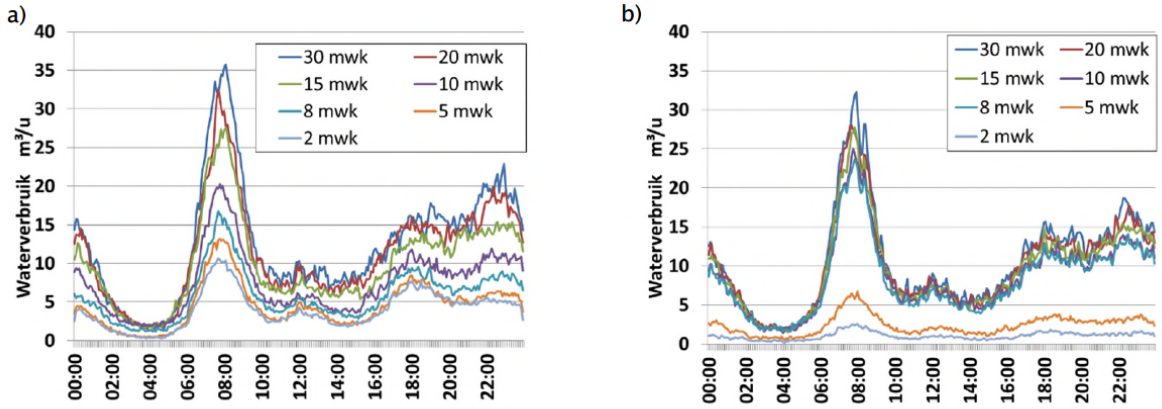
Resultaten: Drukafhankelijkheid varieert per gebouwtype

Het dagelijkse patroon voor 1000 aansluitingen is gesimuleerd voor acht voordrukken (0, 2, 5, 8, 10, 15, 20 en 30 mwk) om het effect van de voordruk op de piek in kaart te brengen, zie afbeelding 3a t/m c. Voor alle woningtypen zijn 10 dagelijkse SIMDEUM-patronen gemaakt en is een gemiddelde patroon berekend van de som van 1000 woningen.

De simulaties tonen dat drukafhankelijkheid van het watergebruik varieert per gebouwtype en de mate van de drukreductie (voordruk), zie voorbeelden in afbeelding 4a-b. De patronen van huizen tonen een graduele vermindering van de vraag, behalve tussen 15 mwk en 10 mwk. In dit interval valt het warmwatertoestel uit en is er een grotere reductie in de ochtendpiek door korter douchen en lager doucheverbruik. De appartementen tonen

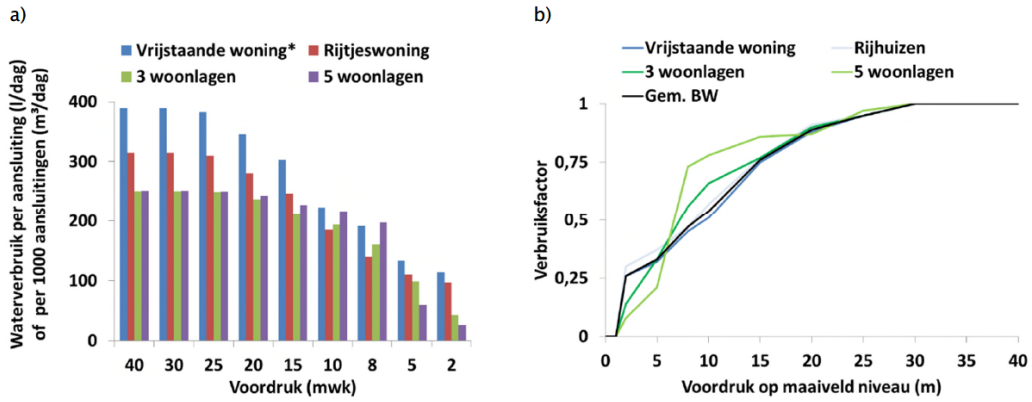
duidelijk het moment waarop de hydrofoor werkt. Boven 5 mwk vertonen de 5 woonlagen weinig variatie tussen de verschillende voordrukscenario's. Een deel van de variaties kan verklaard worden door het aantal inwoners: in de vrijstaande woningen wonen ca. 25% meer mensen dan in de andere typen woningen (2900 i.p.v. 2300). Er zijn drie bepalende factoren:

1) Onder 1 mwk is er geen levering van water. Zodra 1 mwk aanwezig is, kunnen kranen op de begane grond worden gebruikt;
2) voor de huizen is bij een voordruk onder 12 mwk geen warmwatervoorziening;
3) voor de appartementen in een gebouw met 5 woonlagen begint de hydrofoor vanaf 5 mwk voordruk te werken.



Afbeelding 4 a) Resultaten van drukafhankelijkheid voor a) rijwoningen en b) 5 woonlagen aansluiting

Afbeelding 5a toont het waterverbruik (m³/dag) voor 1000 aansluitingen per woningtype en voordruk. De piekfactoren voor 1000 aansluitingen voor de vier woningtypen voor alle voordrukscenario's zijn tien keer met SIMDEUM gesimuleerd, afbeelding 5b. De simulaties tonen dat de relatie van druk en waterverbruik en piek sterk kan variëren per gebouwtype. Specifieke patronen per voorzieningsgebied kunnen worden gegenereerd door de samenstelling van de woningtypen van het gebied te gebruiken. Volgens het CBS [4] geldt voor Noord Brabant dat 52,4 % van de woningen twee onder een kap en vrijstaande woningen zijn, 39,3% tussenwoningen en 8,3% appartementen. De piek en de piekfactor voor 1000 aansluitingen wordt berekend met de aanname voor de appartementen dat de helft drie woonlagen of minder telt en de andere helft vier woonlagen of meer. 1000 aansluitingen betekent: 524 vrijstaande huizen, 393 rijtjeswoningen, 42 appartementen in een gebouw met drie woonlagen en 41 appartementen in een gebouw met vijf woonlagen, de zwarte lijn in afbeelding 5b.



Afbeelding 5 a) Waterverbruik (m³/dag) voor 1000 aansluitingen per woningtype en voordruk en b) verbruiksfactor voor 1000 aansluitingen – in zwart het gemiddelde voor Brabant Water.

Toepassing door Brabant Water

De KWR-studie naar een meer reële PRD was met name bedoeld om meer inzicht te krijgen in de gevolgen van zeer lage drukken (< 5 tot 10 mwk) bij calamiteiten op dagen met normaal verbruik. Omdat de toepassing van deze nieuwe PRD mogelijk gevolgen kan hebben voor de uitkomsten van de reguliere hydraulische berekeningen is het van belang om de PRD eerst te toetsen.

Voor deze toetsing heeft BW een deel van zijn voorzieningsgebied geselecteerd, waarin vijf drukmeters aanwezig zijn. Voor dit deelgebied zijn geen drukmetingen beschikbaar van een dag met calamiteiten (lagere druk door uitval van elementen), maar wel drukmetingen tijdens een dag met verhoogde afzet (maxdag met een lagere druk door verhoogde drinkwatervraag). Voor het deelgebied heeft BW een modelberekening gedaan met de PRD die door KWR is opgesteld met behulp van de SIMDEUM-simulatie (PRD30), en met de bestaande PRD (PRD20). Daarvoor was het ook nodig om een schatting te maken van het verschil tussen de watervraag in de simulatie (waaraan deels niet voldaan kan worden door de lage druk op sommige locaties) en de gemeten afzet. Dit is geen triviale zaak, en is benaderd via een iteratief proces met behulp van een spreadsheet.

De resultaten van de modelberekening laten zien dat toepassing van de PRD in combinatie met een correctie van de verbruiksvraag relevant is. De berekende druk in vijf representatieve meetpunten daalde gemiddelde met 1 mwk tijdens de verbruikspiek. Er bleek echter geen significant verschil in de berekende drukhoogte van de vijf meetpunten bij toepassing van de PRD30 ten opzichte van de gebruikelijke PRD20-relatie. In de vergelijking met de metingen bleek bovendien dat de afzonderlijke drukmeters een zeer variabel beeld geven door een combinatie van meetafwijkingen, verschillen in verbruikspatronen per locatie en mogelijke hydraulische afwijkingen in het leidingnet. Daardoor, en doordat het maar één toepassing betreft, is het lastig uitspraken te doen over de meest reële PRD-relatie.

De volgende stap voor Brabant Water is toetsing van de PRD30 in andere delen van het voorzieningsgebied zodra daar de mogelijkheid zich voordoet, dus bij voldoende metingen met lage druk door een calamiteit.

Discussie

Met SIMDEUM kan de drukafhankelijkheid van specifieke typen gebouwen worden gesimuleerd. Door meerdere unieke patronen per aansluiting te aggregeren worden aangepaste patronen per wijken/deelvoorzieningen gegenereerd, die gelden tijdens calamiteiten. De resultaten van een casestudie (zie kader) toonden een reëler beeld van de drinkwaterafname bij lage drukken en komen goed overeen met de werkelijk opgetreden drukken en volumestromen.

Toekomstig onderzoek is nodig om te verifiëren of de gegenereerde relaties voor drukafhankelijkheid ook geldig zijn voor een maximum dag. Op een maximum dag worden dezelfde tappunten gebruikt als op een gemiddelde dag, maar verschilt de frequentie van verbruik. Het maximum verbruik wordt vooral veroorzaakt door het extra gebruik op de buitenkraan, bijvoorbeeld voor het sproeien van de tuin en het vullen van kinderbadjes. De berekende relatie van de drukafhankelijkheid met het verbruik zou moeten worden gecorrigeerd voor een verhoogd gebruik van de buitenkraan. Deze correctie zal vooral zichtbaar zijn bij lagere drukken. De buitenkraan is één van de laagst gemonteerde kranen, in het algemeen ongeveer 0,5 m boven het lokale maaiveld. Dit betekent dat de berekende relatie in het lage gebied iets te laag is, de “werkelijk” optredende verbruiken zullen iets hoger zijn. Druktesten in een testgebied kunnen ook worden gebruikt om de resultaten per gebied te toetsen.

Conclusie

In dit onderzoek is met SIMDEUM de relatie tussen het verbruik en de heersende druk gesimuleerd voor vier standaard typen aansluitingen, voordrukken en aantallen aansluitingen. Hiermee kan Brabant Water een nauwkeurigere en beter onderbouwde druk-verbruiksrelatie gaan toepassen. Door in de simulatie op tappunten aanpassingen uit te voeren voor volumestroom, tapduur en frequentie wordt een reëler beeld verkregen van de drinkwaterafname bij lage drukken, en komen de rekenresultaten beter overeen met de werkelijk opgetreden drukken en volumestromen. Simulaties van specifieke patronen tijdens calamiteiten kunnen het waterverbruik beter beschrijven, bieden informatie voor netwerkbeheer en kunnen verder helpen om de leveringszekerheidsanalyses aan te scherpen.

Referenties

1. Drinkwaterbesluit (2011); http://wetten.overheid.nl/BWBR0030111/geldigheidsdatum_07-08-2017, geraadpleegd 7 augustus 2017.

2.Blokker, E.J.M., Vreeburg, J.G.H., Dijk, J.C. van (2010). Simulating residential water demand with a stochastic end-use model. Journal of Water Resources Planning and Management 136(1): p. 19-26.

3. RVO, *Referentiewoningen nieuwebouw 2013*. 2013. https://www.rvo.nl/sites/default/files/2013/09/Referentiewoningen.pdf, geraadpleegd 9 januari 2017.

4. CBS. Vier op de tien huishoudens wonen in een rijtjeshuis.(2016). https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2016/14/vier-op-de-tien-huishoudens-wonen-in-een-rijtjeshuis, geraadpleegd 27 maart 2017.