



Peter van Thienen, KWR Watercycle Research Institute
 Ilse Pieterse-Quirijns, KWR Watercycle Research Institute
 Henk de Kater, Evides
 Johan Duifhuizen, Vitens

Nieuwe lekverliesbepalingsmethoden voor het drinkwaterdistributienet

Vaststellen van lekverlies vraagt om betrouwbare methoden. Door de klassieke *bottom-up*-methode uit te breiden met de verbruikspatronensimulator SIMDEUM en te combineren met een nieuw ontwikkelde methode voor analyse van leveringspatronen krijgen waterbedrijven een bruikbare methode om de omvang en ontwikkeling van lekverliezen vast te stellen. SIMDEUM blijkt voor randstedelijke woongebieden uitstekende voorspellingen van het nachtelijk verbruik te maken. Via de *bottom-up*-methode kunnen hiermee lekverliezen worden berekend. De nieuw ontwikkelde ‘vergelijking van leveringspatroonverdelingen’ (VLPV)-methode kan, met leveringspatronen voor verschillende perioden, de ontwikkeling van het verbruik en het lekverlies in een gebied karakteriseren en kwantificeren. Samen vormen de methoden de bouwstenen voor een lekverliesbeheersingsbeleid.

Water dat weglekt uit het distributienet, kost veel geld. Lekverliezen zorgen echter ook voor materiële schade (onderspoeling van dijken, wegen en funderingen, vollopen van kelders, wegspoeling of breuk van nabijgelegen kabels en leidingen, etc.), immateriële schade (letselschade, overlast, imagoschade waterbedrijven), claims van getroffen en verhoogde verzekeringspremies.

Vooraf in tijden van watertekorten is het weglekken van grote hoeveelheden goed drinkwater onacceptabel. Daarnaast is de ontwikkeling van het lekverlies een indicatie van de afnemende kwaliteit van het leidingnet. In Nederland is het lekverlies gemiddeld drie tot zeven procent laag. Lokaal treden echter veel hogere lekverliezen op.

Bepalen lekverlies

Voor het bepalen of schatten van lekverliezen op basis van meetgegevens bestaan twee gangbare methoden. De eerste is de zogeheten *top-down*-methode¹⁾, die veel wordt toegepast in Nederland. Hierbij wordt een waterbalans (zie tabel 1) opgesteld van aan de ene kant de gemeten levering vanaf de pompstations en aan de andere kant het geregistreerde verbruik van klanten.

Aspecten als doorlevering aan andere balansgebieden, water voor eigen gebruik en niet-verrekende verkoop worden in de balans meegenomen. Van de laatste twee punten kan slechts een schatting worden gemaakt, waarmee een extra onzekerheid in de balans wordt geïntroduceerd.

In de tweede methode, de klassieke *bottom-up*-methode¹⁾, wordt in een relatief klein

geïsoleerd leveringsgebied van enkele duizenden aansluitingen gedurende de nacht gemeten hoeveel water netto aan het gebied wordt geleverd. Op basis van ervaring en bevolkingsgegevens wordt een schatting gemaakt van het te verwachten waterverbruik gedurende de nachtelijke daluren voor dit gebied. Door deze schatting af te trekken van de gemeten minimumwaarde wordt het lekverlies bepaald.

Tabel 1: IWA-standaardterminologie voor een waterbalans^{2),3)}.

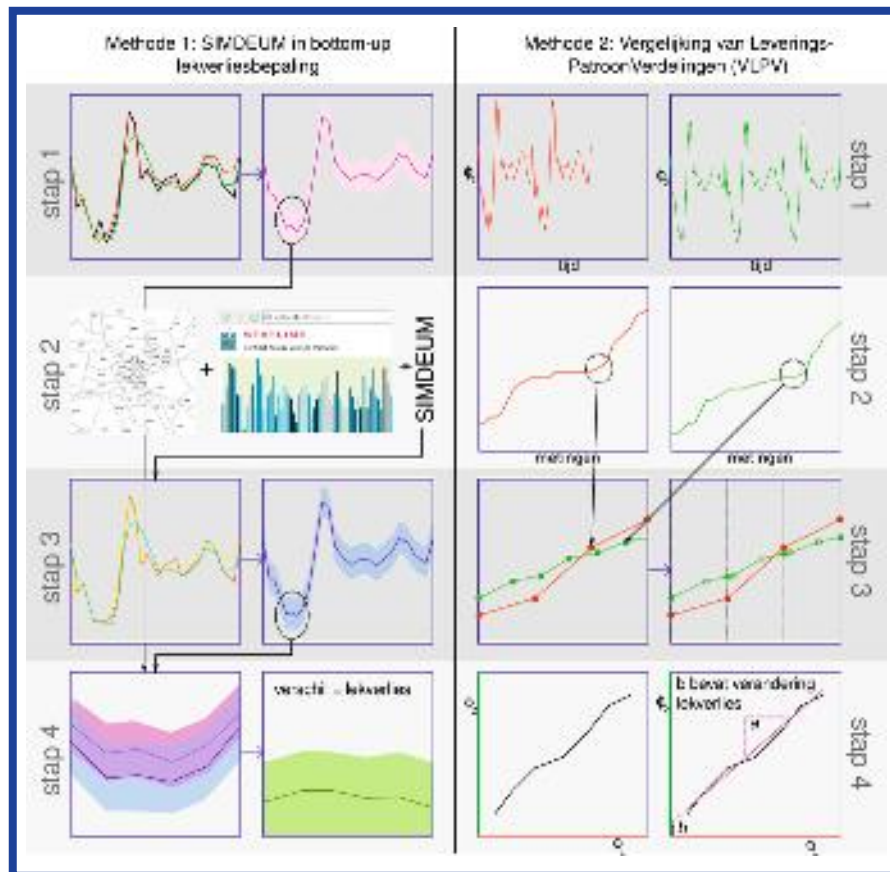
| | | | | | |
|-----------------|-----------------------|---|-----------------------------|------------------|----------------------------------|
| netto afzet | verbruik | Verrekend | bemeten | totaal verrekend | |
| | | | onbemeten | | |
| | niet verrekend | bemeten | | | |
| | | onbemeten | | | |
| | distributie-verliezen | schijnbare verliezen | illegaal verbruik | | NIRG (niet in rekening gebracht) |
| | | | onnauwkeurigheid watermeter | | |
| echte verliezen | | lekken transport en distributie | | | |
| | | lekken en reservoirs | | | |
| | | lekken dienstkransen en dienstleidingen | | | |

Binnen het bedrijfstakonderzoek van de drinkwaterbedrijven is onderzocht⁴⁾ in hoeverre de genoemde schatting voor het nachtelijk verbruik verfijnd kan worden door gebruik te maken van de verbruikspatronensimulator SIMDEUM⁵⁾. De gebruikte methode is weergegeven in afbeelding 1a. In stap 1 wordt een gemiddeld weekpatroon met standaarddeviaties berekend op basis van een langere reeks metingen (meerdere weken). Vervolgens wordt met SIMDEUM een voorspelling van het verbruik in het gebied gemaakt op basis van CBS-bevolkingsgegevens en aansluitingsgegevens (stap 2). Ook hiervan wordt een gemiddelde curve met standaarddeviaties berekend (stap 3). Vervolgens worden de gemeten en voorspelde gemiddelde curves van elkaar afgetrokken om een schatting voor het lekverlies te krijgen (stap 4). Een belangrijk voordeel van SIMDEUM is dat het een Monte Carlo-benadering volgt die goed past bij de stochastische aard van waterverbruik: in twee opeenvolgende dagen die wat betreft omstandigheden identiek zijn, zal het dagelijkse patroon voor bijvoorbeeld een wijk toch niet identiek zijn, omdat mensen net even op een ander moment naar het toilet gaan, slechts één van de twee dagen douchen, etc.

De stochastische variatie die hierdoor ontstaat, kan in het gemeten patroon worden gekarakteriseerd door metingen van een aantal dagen samen te voegen en voor ieder tijdstip een gemiddelde en een standaarddeviatie uit te rekenen. Hierbij worden steeds dezelfde weekdagen samengevoegd. SIMDEUM kan een reeks patronen voor een gebied genereren die de stochastische variatie voor dit gebied goed weergeeft. Ook deze patronen kunnen worden samengevoegd tot een gemiddelde curve met standaarddeviatie. Naast stochastische veranderingen kunnen structurele veranderingen in patronen optreden ten gevolge van veranderende omstandigheden.

Voorbeeld resultaten SIMDEUM

Vitens heeft in één van haar voorzieningsgebieden (Balansgebied 3) in oktober 2010



Afb. 1: a) Methodiek voor het bepalen van het lekverlies in een voorzieningsgebied gebruikmakend van SIMDEUM. b) Methodiek voor het bepalen van veranderingen in het verbruik en het lekverlies in een voorzieningsgebied met de VLPV-methode.

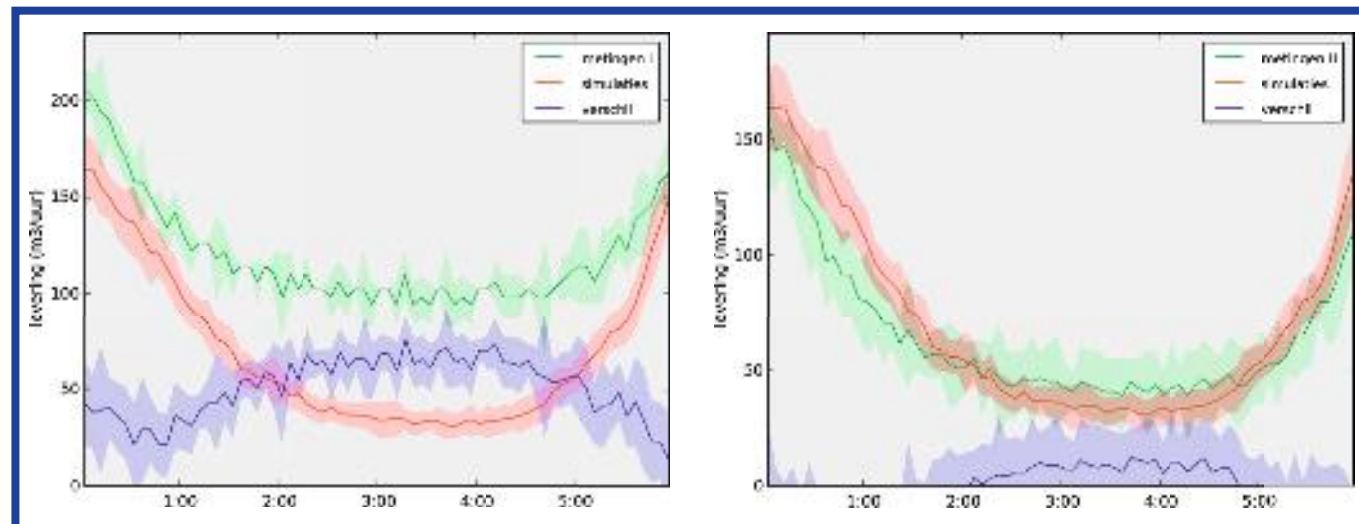
een groot lek opgespoord en gerepareerd, dat oorspronkelijk geschat werd op 40 tot 50 kubieke meter per uur. Afbeelding 2 toont de gemiddelde levering in de nachtelijke uren (nacht van maandag op dinsdag) in de periode voor (a) en de periode na (b) de reparatie in groen. Voor dit gebied is eveneens een verbruiksvoorstelling gemaakt met SIMDEUM. Deze is weergegeven in rood. Het maximale verschil tussen de groene en rode curves geeft het maximale lekverlies aan. Voor de reparatie wordt deze op basis van afbeelding 2a geschat op ongeveer 70 kubieke meter per

uur; na reparatie rest zo'n tien kubieke meter per uur aan lekverlies.

Vergelijking van leveringspatroonverdelingen

De klassieke lekverliesbepalingsmethoden bevatten enkele aannames en onzekerheden die aanzienlijke onzekerheidsmarges in de resultaten van deze methoden opleveren. De methode met SIMDEUM is vrij arbeidsintensief, vergt veel informatie over het leveringsgebied en is voorsnog slechts toepasbaar in randstedelijke woongebieden. Om deze redenen hebben we een

Afb. 2: a) Gemiddeld gemeten en gesimuleerd verbruik voor Balansgebied 3 (Vitens) voor de nacht van maandag op dinsdag in de drie weken voorafgaand aan de reparatie van een groot lek, met verschilcurve. b) Gemiddeld gemeten en gesimuleerd verbruik voor de nacht van maandag op dinsdag in de zeven weken na de reparatie van een groot lek, met verschilcurve. De gekleurde zones geven marges van twee maal de standaarddeviatie aan.



| scenario | aspect | verandering | opmerking |
|----------------------------------|-----------------------------------|--|--|
| bevolkingsomvang verandert | nieuwe wijk gebouwd en bewoond | consistent met huishoudelijk deel van bestaande patroon | aanname dat gedrag vergelijkbaar is met dat van bestaande populatie |
| | vakantieperiode | afname consistent met huishoudelijk deel van bestaande patroon | minder mensen aanwezig, maar met zelfde vraagpatroon |
| | seizoensgebonden bezoek toeristen | deel consistent, deel inconsistent | toeristen hebben waarschijnlijk een vergelijkbaar verbruiks-patroon, maar mogelijk niet identiek |
| warme periode | douche/badkamer | toename | gecombineerde effect is een toename met een grote consistente component en een kleine inconsistente component in de huishoudelijke vraag |
| | was | toename | |
| | toiletgebruik | zelfde/afname? | |
| | keuken | toename | |
| | buitenkraan | inconsistente toename | typisch patroon van tuinbesproeiing |
| grootverbruiker komt of vertrekt | | inconsistente verandering | klantspecifiek vraagpatroon |
| | nieuw lek | inconsistente verandering | |

Tabel 2: Verschillende scenario's die consistente en inconsistente veranderingen in het leveringspatroon van een leveringsgebied tot gevolg hebben.

aanvullende methode ontwikkeld die deze bezwaren niet kent.

Deze methode noemen we de 'vergelijking van leveringspatroonverdelingen' en werkt als volgt:

Binnen een enkel leveringsgebied kan men verwachten dat het patroon van weekdag tot weekdag zeer vergelijkbaar is. Wanneer men patronen van perioden die in de tijd ver uit elkaar liggen, met elkaar gaat vergelijken, kan het totale verbruik aanzienlijk veranderd zijn, bijvoorbeeld door bevolkingsgroei.

Als de samenstelling van het gebied qua afnemers niet significant is veranderd maar de omvang van de bevolking wel, zal de vorm van het patroon niet wezenlijk anders zijn. Het zal slechts met een bepaalde factor (schaalfactor) vermenigvuldigd zijn. De schaalfactor is iets groter dan 1 bij bevolkingsgroei en iets kleiner dan 1 bij krimp. Deze verandering noemen we een consistente verandering, omdat het patroon niet van vorm verandert. Als in de tussenliggende periode echter een toename van het lekverlies optreedt, bijvoor-

beeld door het ontstaan van nieuwe lekken of het groter worden van bestaande, dan is de verwachting dat het gehele patroon naar boven (hogere volumestroom) opschuift. In feite wordt een bepaalde factor bij het patroon opgeteld (optelfactor). Dit zijn inconsistente veranderingen. Tabel 2 geeft een overzicht van mogelijk veranderingen in een leveringsgebied en de gevolgen daarvan op het leveringspatroon in termen van consistente en inconsistente veranderingen.

Afbeelding 1b schetst de procedure die consistente en inconsistente veranderingen kwantificeert (de 'vergelijking van leveringspatroonverdelingen'). Hiermee worden de hierboven genoemde schaalfactor (a) en optelfactor (b) direct bepaald:

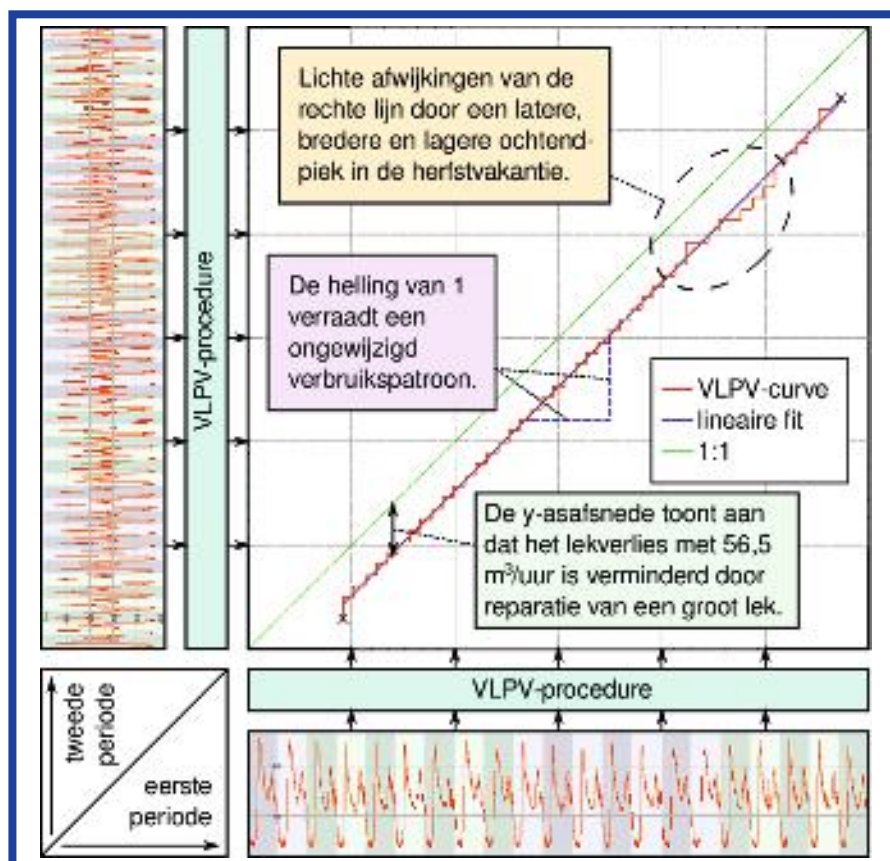
- Neem twee tijdreeksen van de volumestroom met willekeurige maar gelijke tijdsresolutie uit hetzelfde leveringsgebied of waarvan dezelfde leveringspatroonvorm verondersteld kan worden; hierbij kan ook gebruik worden gemaakt van gesimuleerde gegevens (stap 1);
- Neem de volumestromen van de datasets en sorteer deze van laag naar hoog (stap 2);
- Herbemonster één van de twee datasets (indien niet van gelijke lengte) met behulp van lineaire interpolatie, zodanig dat beide sets een gelijk aantal waarnemingen bevatten (stap 3);
- Zet beide sets uit tegen elkaar in een grafiek: het VLPV-diagram. Voer een lineaire kleinste-kwadratenfit uit op de curve. Deze levert direct de schaalfactor a en de optelfactor b (stap 4).

Met enige kennis van een leveringsgebied kan hiermee een kwantitatieve uitspraak over veranderingen in het lekverlies worden gedaan.

Voorbeelden resultaten VLPV

Afbeelding 3 toont een VLPV-diagram voor Balansgebied 3 van Vitens, waarin de weken voorafgaand aan de eerder genoemde reparatie worden vergeleken met de weken

Afb. 3: Eenvoudige, kwantitatieve vergelijking en interpretatie van twee leveringspatronen met de VLPV-methode voor Balansgebied 3 (Vitens).



die erop volgden. De helling (schaalfactor) van 1,0 laat duidelijk zien dat het verbruikspatroon niet wezenlijk is veranderd (geen consistente verandering). De verschuiving van de curve (of eigenlijk van de y-asafsneede, de optefactor) representeert het lekverlies dat met 56,5 kubieke meter per uur is afgenomen door de reparatie (inconsistente verandering). Dit getal volgt direct uit het VLPV-diagram. Enkele lichte afwijkingen in de curve hangen samen met een iets veranderde ochtendpiek in de herfstvakantie (twee weken in de tweede periode).

Afbeelding 4 geeft een gelijksoortige grafiek weer voor het eiland Tholen (Evides), waarbij een periode in het voorjaar van 2010 wordt vergeleken met een periode in het najaar van 2010. Hierbij is een consistente afname van 13 procent te zien. Deze hangt vermoedelijk samen met de grotere aanwezigheid van toeristen op het eiland in het voorjaar. Ook is er een inconsistente toename van 13 kubieke meter per uur te zien. De verklaring hiervoor kan worden gezocht in (agrarische) grootverbruikers en/of een toegenomen lekverlies.

Conclusies

Het gebruik van SIMDEUM als schatter van het nachtverbruik blijkt zeer goed te werken voor randstedelijke woongebieden. Hiermee kan in de *bottom-up*-methode een nauwkeurige schatting voor het lekverlies worden gemaakt. In andersoortige gebieden is de methode vooralsnog onvoldoende gevalideerd.

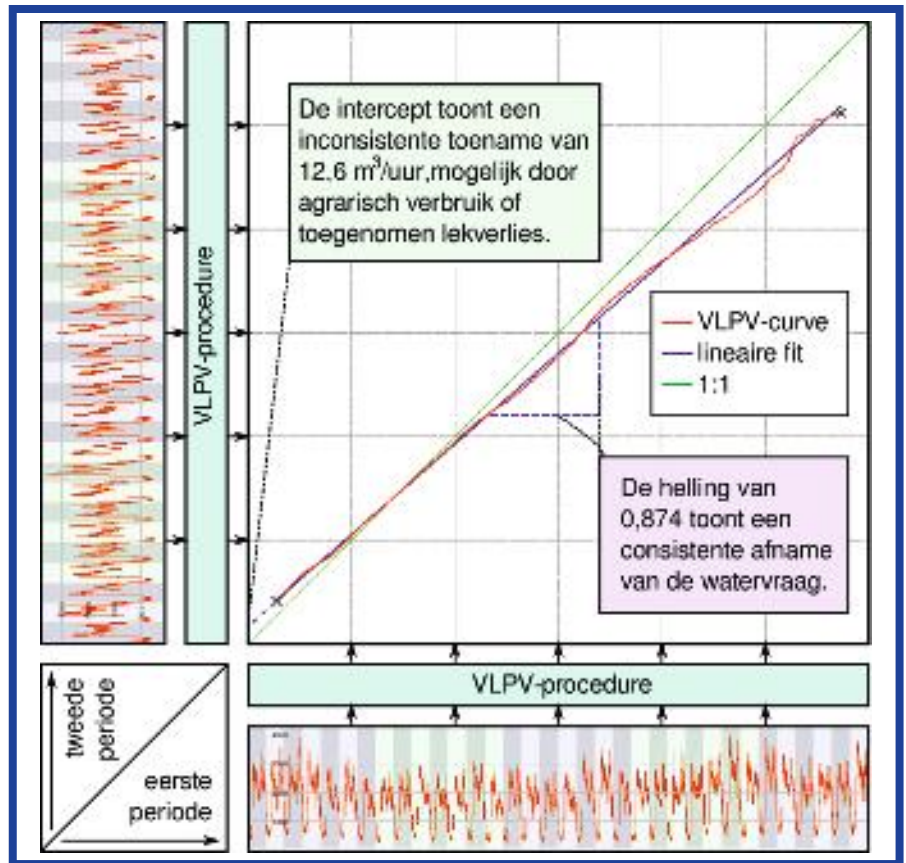
De ontwikkelde vergelijking van de leveringspatroonverdelingenmethode blijkt voldoende robuust om in de praktijk toe te passen in gebieden van uiteenlopende omvang. Zij werkt uitsluitend op basis van gemeten leveringspatronen. Omdat er dus geen numeriek model aan ten grondslag ligt, worden de volgende potentiële problemen die bij andere methoden een rol spelen vermeden:

- identificatie van verschillende (typen) gebruikers in gebied (arbeidsintensief);
- aannames over diverse invoerparameters van modellen;
- aannames en onzekerheden in de modelberekeningen zelf.

Desondanks kan met enige kennis van een leveringsgebied op basis van deze eenvoudige patroonvergelijking een nauwkeurige en kwantitatieve uitspraak over veranderingen in het lekverlies in het betreffende leveringsgebied worden gedaan. Haar geringe vereisten maken de methode ook bij uitstek geschikt voor internationale toepassing.

Vooruitblik

Binnen het bedrijfstakingonderzoek van de drinkwaterbedrijven wordt gewerkt aan een bibliotheek van karakteristieke verbruikspatronen voor diverse typen instellingen (zoals scholen en verzorgingstehuizen). Hiermee zal de toepasbaarheid van SIMDEUM voor het simuleren van de watervraag voor gebieden van uiteenlopende samenstelling alleen maar toenemen.



Afb. 4: Eenvoudige, kwantitatieve vergelijking en interpretatie van twee leveringspatronen met de VLPV-methode voor Tholen (Evides).

Aanbevelingen

Aanbevolen wordt om een lekverliesbeheersingsbeleid op te zetten op basis van de twee ontwikkelde methoden:

- Voorspel het nachtverbruik voor een leveringsgebied met SIMDEUM (of maak op een andere wijze een schatting hiervoor) en vergelijk dit met de gemeten levering om het actuele lekverlies te bepalen;
- Pas in de daarop volgende maanden en/of jaren de VLPV-methode toe om eventuele wijzigingen in het verbruik en het lekverlies te identificeren en kwantificeren;
- Ga op basis van de resultaten actief op zoek naar lekken in het veld in gebieden die als verdacht zijn gekarakteriseerd, bijvoorbeeld met *noise correlators*, waarmee ter plekke op basis van geluid lekken kunnen worden gevonden.

- 5) Blokker E. (2006). Modelleren van afnamepatronen, beschrijving en validatie van het simulatiemodel SIMDEUM. BTO 2006-010.

LITERATUUR

- 1) Farley M. en S. Trow (2003). Losses in water distribution networks. A practitioner's guide to assessment, monitoring and control. IWA Publishing.
- 2) Lambert A. (2003). Assessing non-revenue water and its components: a practical approach. Water 21, pag. 50-51.
- 3) Beuken R., P. Schaap en C. Kivit (2005). Lekverlies bij DPW en Oasen. De Nederlandse situatie bekeken met Engelse know-how. KWR 05.010.
- 4) Van Thienen P. en I. Pieterse-Quirijns (2011). Nieuwe lekverliesbepalingsmethoden - Inventarisatie van benaderingen, toepassing van SIMDEUM en uitwerking van een nieuwe methode voor het vaststellen van lekverliezen in het distributienet. BTO 2011.053.