



Mirjam Blokker, Kiwa Water Research

Jan Vreeburg, Kiwa Water Research / TU Delft

Peter Sjoerdsma, Vitens

Maurice van der Roer, Duinwaterbedrijf Zuid-Holland

SIMDEUM-model ook toepasbaar voor waterkwaliteitsberekeningen

Bij de huidige toepassingen van leidingnetmodellen worden verbruikspatronen via een zogeheten topdown-benadering toegekend aan verbruiksknoppen: het op het pompstation gemeten totaalverbruik wordt met een vermenigvuldigingsfactor verdeeld over de knoppen. Met het model SIMDEUM kunnen individuele stochastische (bepaald op basis van waarschijnlijkheid) verbruikspatronen op aansluitingsniveau via een zogeheten bottomup-benadering (aan iedere verbruiksknoop wordt een uniek individueel stochastisch verbruikspatroon toegekend en het totaalverbruik wordt bepaald door de som van alle verbruikspatronen) worden toegekend aan verbruiksknoppen, wat de mogelijkheid biedt om leidingnetmodellen breder en op meer detailniveau in te zetten. Dit artikel beschrijft twee toepassingen van SIMDEUM binnen een bestaand leidingnet: voor het bepalen van de snelheid waarin een leidingnet in Franeker vervuult en om verblijftijden te bepalen van drinkwater in de uitlopers van een distributienet in Benthuizen. Het gebruik van SIMDEUM heeft in beide gevallen een duidelijke meerwaarde.

Leidingnetmodellen worden momenteel vooral gebruikt voor operationele zaken en voor leveringszekerheidsanalyses. Maar de belangstelling neemt toe om de modellen ook te gebruiken voor waterkwaliteitsberekeningen, zowel voor relatief eenvoudige

verblijftijdberekeningen als voor meer ingewikkelde hydraulische sedimenttransportberekeningen. Locatiebepaling van sensoren voor het optimaal monitoren van de waterkwaliteit en herkomstbepaling van een besmetting nadat sensoren iets hebben gedetecteerd, vormen voorbeelden van

toepassingen die een meer nauwkeurige modellering van het individuele verbruik vragen. Anders dan bij een standaard leidingnetmodel, waarbij aan alle verbruiksknoppen een gelijk verbruikspatroon met een bepaalde vermenigvuldigingsfactor over de dag wordt toegekend, is een simulatie van individueel verbruik op aansluitingsniveau noodzakelijk, waarmee een genuanceerd en gedetailleerd beeld van het werkelijke verbruik wordt verkregen.

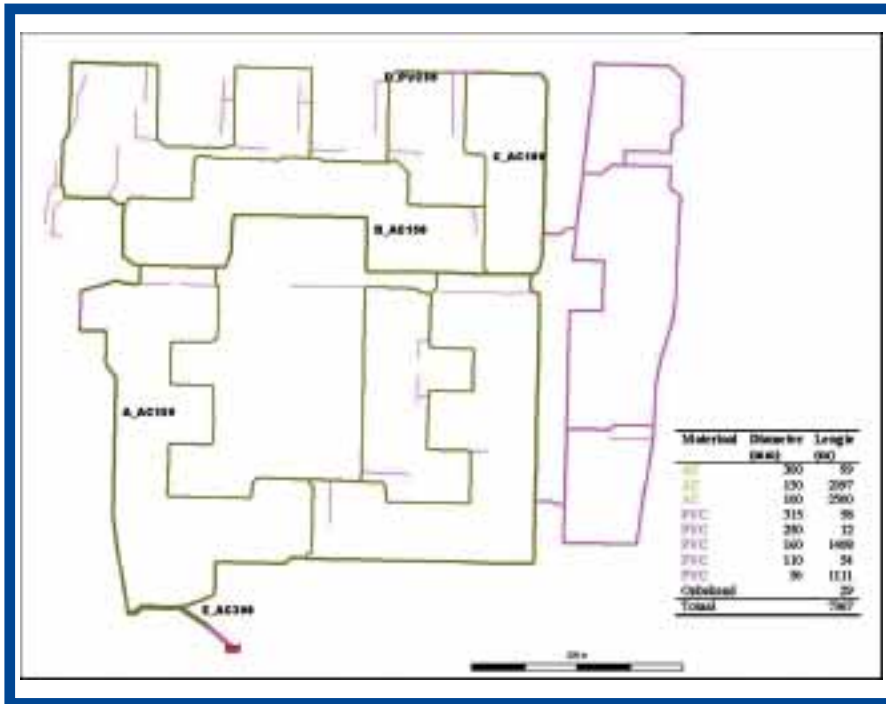
Binnen het bedrijfstakonderzoek van de Nederlandse waterleidingbedrijven is hiertoe het model SIMDEUM ontwikkeld waarmee realistische verbruikspatronen worden gesimuleerd³⁾. In dit artikel wordt beschreven hoe dat gebeurt en hoe deze patronen worden gebruikt in leidingnetberekeningen om de vervuilingssnelheid in individuele leidingen en verblijftijden in een distributienet te bepalen.

Simuleren

SIMDEUM simuleert het verbruik in woningen met een bepaalde binneninstallatie en een bepaald aantal bewoners. De simulatie wordt gedaan op basis van CBS-

Tabel 1. CBS-gegevens Franeker en Benthuizen.

	Franeker (2003)	Benthuizen (2005)
huishoudens		
aantal huishoudens	550	1230
éénpersoonshuishoudens	14%	22%
meerpersoonshuishoudens zonder kinderen	37%	30%
meerpersoonshuishoudens met kinderen	49%	48%
gemiddelde grootte van huishouden	2,6	2,8
leeftijden		
0 tot 15 jaar	21%	23%
15 tot 25 jaar	12%	14%
25 tot 45 jaar	23%	26%
45 tot 65 jaar	35%	27%
65 en ouder	9%	11%



Afb. 1: Het leidingnetwerk in Schalsumerplan in Franeker. De kleuren geven het materiaal weer (groen is AC, paars is PVC). De dikte van de lijnen correspondeert met de leidingdiameter.

gegevens, zoals gemiddelde huishoudengrootte, verdeling van huishoudengrootte en leeftijdsverdeling, gegevens van een gemeente of wijk⁵⁾, regionale gegevens over waterverbruik⁶⁾ en gegevens uit het landelijke tijdsbestedingsonderzoek⁴⁾. De specifieke invoergegevens voor de in dit artikel besproken toepassingen zijn CBS-gegevens van de wijk Schalsumerplan in Franeker en het dorp Benthuzen (tabel 1) en regionale gegevens over waterverbruik in huishoudens⁵⁾. In de noordelijke provincies is bijvoorbeeld minder vaak een bad geïnstalleerd en wordt de helft minder gebruik gemaakt van de geïnstalleerde baden dan gemiddeld in Nederland.

Op basis van de invoergegevens simuleert

SIMDEUM afnamepatronen voor verschillende aansluitingen. Deze patronen worden aan adressen (verbruiksknoppen) toegekend op basis van het jaarverbruik dat door meteropname per adres bekend is.

Vervuilingssnelheden in Franeker

In het kader van het Q21-onderzoek⁷⁾, onderdeel van het bedrijfstakonderzoek voor de drinkwaterbedrijven, is in de wijk Schalsumerplan in Franeker (Vitens) een leidingnet geïsoleerd en is op de voedende leiding de volumestroom gemeten. Op een aantal locaties in het leidingnet is door middel van opwerfingspotentiometingen de vervuiling van het leidingnet bepaald; door te spuien en de meting na bepaalde tijd te herhalen is de vervuilingssnelheid gemeten. De hypothese

is dat de vervuilingssnelheid van een leiding samenhangt met de ingaande waterkwaliteit en de lokale hydraulische omstandigheden. In het Q21-onderzoek wordt de ingaande waterkwaliteit gecontroleerd. De lokale hydraulische omstandigheden worden gemodelleerd met een leidingnetmodel (zie afbeelding 1) en een individueel (stochastisch) verbruikspatroon per woning⁸⁾. In dit artikel wordt de berekening beperkt tot het genereren van het snelheidspatroon in een leiding. De relatie tussen het snelheidspatroon en de vervuilinggegevens wordt in een later stadium gerapporteerd.

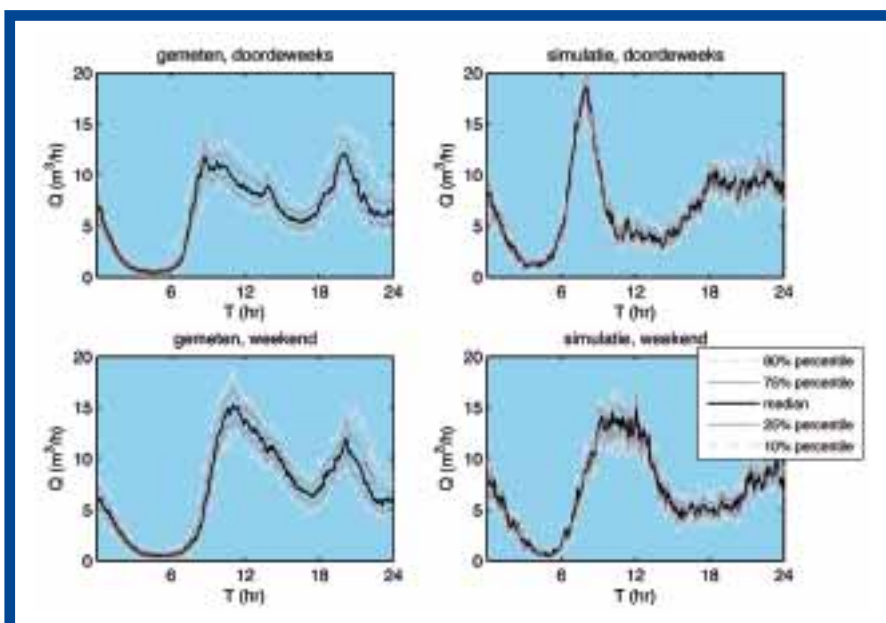
In de wijk Schalsumerplan zijn 550 huishoudelijke aansluitingen. Het net is in 1955 vermaasd aangelegd en gedimensioneerd op de bluswatervraag. Dit heeft geleid tot relatief grote diameters. In dit artikel refereren we naar leiding A tot E (zie afbeelding 1). Leiding A (AC Ø150 mm) ligt in het begin van het net met een flink aantal achterliggende aansluitingen, leiding B (AC Ø150 mm) ligt midden in het net, in leiding C (AC Ø100 mm) verwachten we stroomomkeringen en leiding D is een eindtak met een kleine diameter (PVC Ø50 mm) en slechts enkele achterliggende aansluitingen. Leiding E (AC Ø300 mm) is de voedende leiding. De simulaties zijn uitgevoerd in het leidingnetberekenningsprogramma ALEID met een hydraulische tijdstap van één minuut. Een tijdstap van tien seconden geeft nauwelijks meer informatie, maar leidt wel tot ongeveer zesmaal grotere bestanden en zesmaal langere rekentijden. Een tijdstap van vijf minuten leidt tot te lage berekende snelheden, doordat over een te grote tijdstap wordt gemiddeld.

Op leiding E zijn de volumestromen gemeten. Deze metingen kunnen worden vergeleken met de simulaties. In afbeelding 2 zijn de gemeten en gesimuleerde volumestromen voor doordeweekse dagen en weekenddagen getoond. Van alle 190 gemeten en 100 gesimuleerde volumestromen is per vijf minuten het 10-, 25-, 50- (mediaan), 75- en 90-percentiel uitgezet.

Wat opvalt is dat de piek in de simulatie ongeveer een kwart hoger is (20 in plaats van 15 kubieke meter per uur) en ongeveer een uur later optreedt dan de werkelijke piek, dat de patronen van de volumestromen op elkaar lijken (qua vorm en absolute hoogte) en dat de gemeten piek in het weekend hoger en scherper is dan de gesimuleerde piek die lager en langduriger is.

Omdat de som van 550 volumestromen goed gesimuleerd wordt door SIMDEUM en dit model in vergelijkbare situaties goed blijkt te functioneren, kan worden geconcludeerd dat ook de hydraulische omstandigheden met de stochastische patronen goed gemodelleerd kunnen worden. Er is niet getracht de simulatie te verbeteren, bijvoorbeeld door het nachtverbruik aan te passen of het douchen vooral 's avonds te simuleren. Deze aanpassingen c.q. kalibratie zouden metingen en simulatie in deze specifieke toepassing nagenoeg identiek maken.

Afb. 2: Mediaan en variatie van 190 gemeten en 100 gesimuleerde volumestromen in Franeker op doordeweekse dagen en in het weekend.



De hydraulische omstandigheden worden gekarakteriseerd door de cumulatieve snelheidsverdeling van een aantal dagen (in dit geval drie dagen) in de leidingen A t/m D (zie afbeelding 3). In de leidingen B en C treden zowel positieve als negatieve snelheden op, oftewel de stroomrichting keert hier geregeld om. In leiding C treedt de omkering zeer regelmatig op (1:1), in leiding B treedt de omkering iets minder vaak op (ongeveer tien procent van de tijd in een bepaalde richting). In leiding D (een eindleiding) komt gedurende 65 procent van de tijd geen stroming voor en tijdens de overige 35 procent geldt een vaste stroomrichting; in leiding A is voortdurend stroming in dezelfde richting.

De maximumsnelheid in leiding C bedraagt slechts 0,025 m/s, in leiding B 0,05 m/s, in leiding A 0,16 m/s en in leiding D 0,22 m/s. Deze snelheden treden maar zeer sporadisch op (minder dan 0,1 procent van de tijd ofwel slechts ongeveer één minuut per dag). De snelheid die gedurende één procent van de dag optreedt (circa 15 minuten per dag) is voor de leidingen A, B, C en D respectievelijk 0,123 m/s, 0,033 m/s, 0,013 m/s en 0,113 m/s; deze snelheden bedragen de helft van de maximumsnelheden.

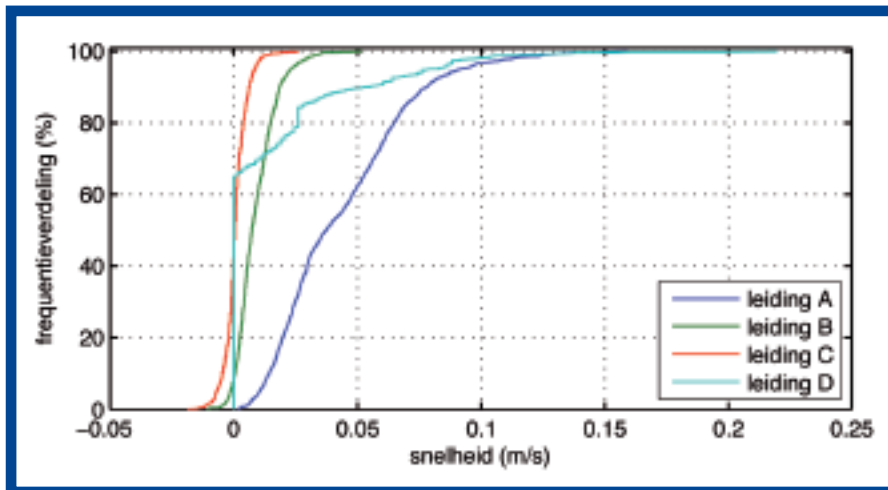
In het Q21-onderzoek zal worden gekeken of een relatie bestaat tussen de hervervuilingssnelheid en de snelheidsprofielen in verschillende leidingen. De uitkomsten van het onderzoek tot nu toe laten in ieder geval zien dat de werkelijk optredende snelheden erg laag zijn. Er is dus sprake van nagenoeg stagnant water op meerdere locaties.

Verblijftijden in leidingnet Benthuisen

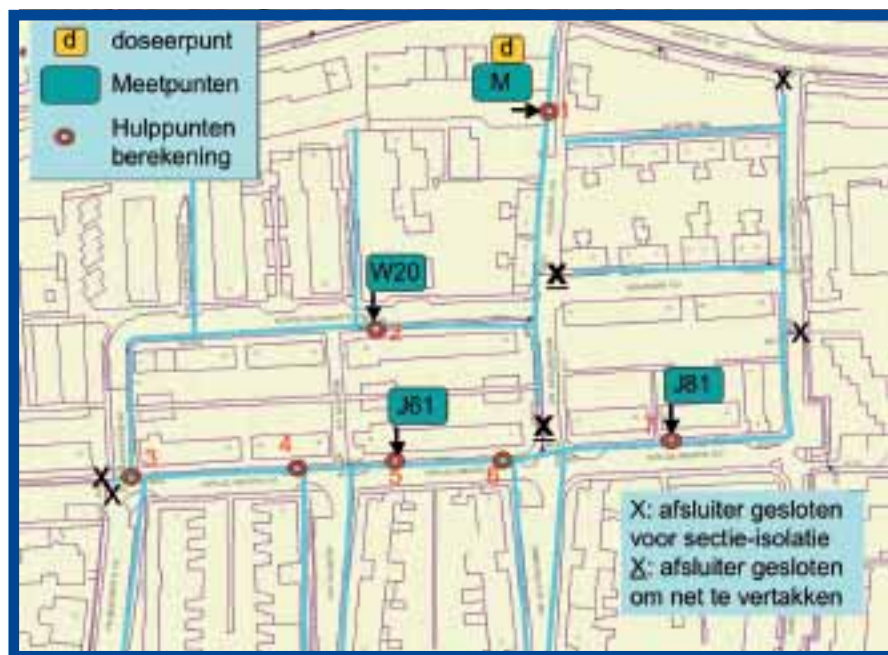
In 2006 is in het distributienet van Benthuisen (Duinwaterbedrijf Zuid-Holland) een verblijftijdbepaling uitgevoerd met behulp van keukenzout¹⁾. Voor deze meting is een gebied geïsoleerd met 147 woningen. Tijdens de proef is het leidingnet geïsoleerd en ingericht als een vertakt systeem (zie afbeelding 4). Gedurende enkele dagen is de volumestroom op de voedende leiding gemeten.

Aan iedere woning in de wijk in Benthuisen (zie afbeelding 4 en tabel 2) is een eigen (stochastisch) afnamepatroon toegekend. Door de som van de gesimuleerde dagpatronen per traject te bepalen, kan de verblijftijd per leidingdeel worden berekend. Tevens kan de volumestroom op punt M worden berekend, die met de op hetzelfde punt gemeten volumestroom kan worden vergeleken.

In afbeelding 5 zijn twee gemeten volumestromen en een gesimuleerde volumestroom (van 147 woningen) in één grafiek gezet. Wat opvalt is dat de patronen van gesimuleerde en berekende volumestromen goed overeenkomen, dat in de simulatie het nachtverbruik enigszins overschat wordt, dat de pieken in de ochtend samenvallen, dat de piek in de simulatie ongeveer een kwart hoger ligt (570 in plaats van 450 liter per vijf minuten oftewel 6,84



Afb. 3: Cumulatieve snelheidsverdeling in de leidingen A, B, C en D.



Afb. 4: Meetgebied Benthuisen (vermaasd net, ingericht als vertakt net). Op locatie 'd' wordt de zoutoplossing gedoseerd. Op vier locaties (M, W20, J61 en J81) wordt het elektrisch geleidingsvermogen gemeten. Op het injectiepunt (M) wordt ook de volumestroom gemeten. De genummerde rondjes zijn hulppunten om verblijftijden te berekenen.

in plaats van 5,4 kubieke meter per uur) én dat het verbruik na de ochtendpiek goed overeenkomt.

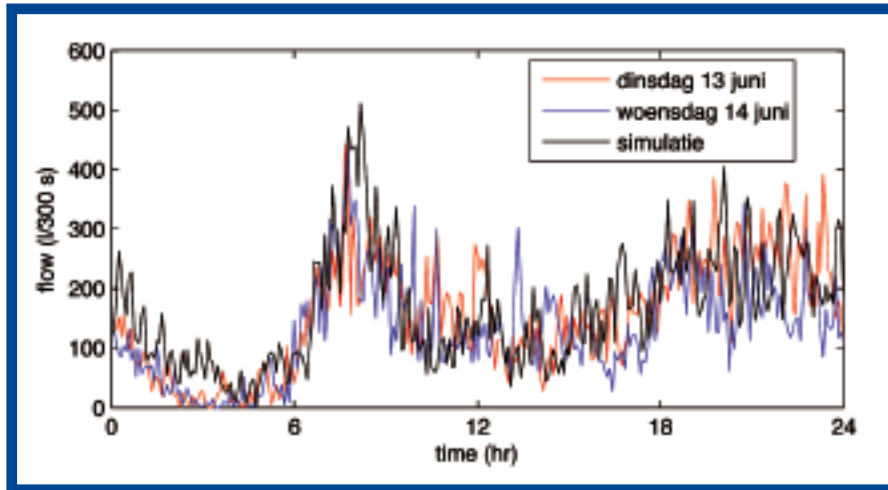
Omdat de som van 147 volumestromen goed gesimuleerd wordt door SIMDEUM, kan men de conclusie trekken dat ook de verblijftijd

met de stochastische patronen berekend kan worden.

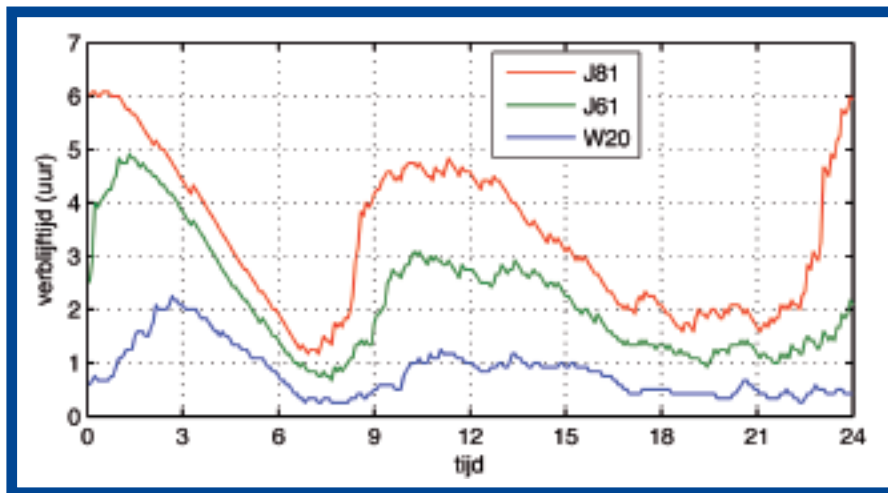
De stochastische afnamepatronen (op vijf minutenbasis) van alle achterliggende woningen in de trajecten A-F worden opgeteld, zodat de patronen op punten

Tabel 2. Het aantal achterliggende woningen en de leidinglengte per traject.

traject	tussen punten	huizen op traject	lengte traject (m.)	achterliggende huizen	lengte voorliggend traject (m.)
A	1-2	12	144	148	144
B	2-3	35	111	136	255
C	3-4	16	58	101	313
D	4-5	14	16	85	329
E	5-6	6	49	71	378
F	6-7	18	50	65	428
G	7-eind	47	niet van belang	47	



Afb. 5: Gemeten en gesimuleerde volumestromen.



Afb. 6: Voorspelde verblijftijden tussen punt M en W20, J61 en J81, voor verschillende begintijden op punt M.

1 tot en met 7 duidelijk worden. Om de verblijftijden te bepalen, wordt per traject een gemiddeld patroon bepaald (voor traject A is dat het patroon op punt 2 plus de helft van het patroon tussen punt 1 en 2); de snelheid volgt uit de volumestromen en de binnendiameter van $\varnothing 100$ mm. Op basis van de (gemiddelde) snelheid per traject en de lengte van het traject kan de verblijftijd worden bepaald; deze varieert uiteraard over

de dag. Voor verschillende begintijden is de gesimuleerde verblijftijd van startpunt M tot W20, J61 en J81 af te lezen in afbeelding 6. Wanneer de meting om 8:00 uur begint, is de verblijftijd van punt M tot J81 slechts 1 uur en 40 minuten; om 9:00 uur is de verblijftijd tot J81 4 uur en 10 minuten (in de grafiek 4,167 uur). Met de simulatie is de spreiding van de verblijftijd dus goed in beeld te brengen.

Het model geeft een gedetailleerd beeld van de verblijftijd over de dag. Metingen van de verblijftijd zullen altijd alleen momentane verblijftijden opleveren. Daarmee kan het model wel worden gevalideerd. De metingen van de verblijftijd in Benthuizen bleken gecompliceerder te zijn dan werd verwacht, waardoor de resultaten niet bruikbaar zijn. Met de kwantitatieve gegevens is het model gevalideerd door de volumestroommetingen. Het plan is om verblijftijdmetingen te herhalen om deze berekeningen te kunnen valideren; de verwachting is dat de metingen goed overeen zullen komen met de simulaties.

Conclusies

Verbruikspatronen worden normaal gesproken via een 'topdown'-benadering aan verbruiksknoppen toegekend door een vast patroon met een bepaalde vermenigvuldigingsfactor aan iedere knoop te koppelen. Met het model SIMDEUM is het mogelijk om 'bottomup' individuele (stochastische) verbruikspatronen per knoop toe te kennen en een gedetailleerd beeld van de volumestromen op distributieniveau te verkrijgen. Toekenning van stochastische patronen leidt tot realistischere uitkomsten voor snelheidsverdelingen en verblijftijden in een leidingnet.

LITERATUUR

- 1) Blokker E. en P. Schaap (2006). Bepalen van verblijftijden in het leidingnet. Kiwa Water Research. KWR 06.097.
- 2) Blokker E. en A. Vogelaar (2006). Toepassing van SIMDEUM in het leidingnetmodel van Franeker. Kiwa Water Research. BTO 2006.006 (s).
- 3) Blokker M. (2006). Modelleren van waterverbruik in huishoudens. H₂O nr. 6, pag. 48-51.
- 4) Broek A. van der en K. Breedveld (1995). Tijdsbestedingsonderzoek 1995. Sociaal en Cultureel Planbureau, Steinmetz-archief Amsterdam (P1383).
- 5) CBS. www.statline.cbs.nl, 2006/5.
- 6) Kanne P. (2005). Watergebruik thuis 2004. TNS NIPO. In opdracht van VEWIN.
- 7) Vreeburg J., C. Kivit, J. van Dijk en J. Verberk (2005). Herkomst en gedrag van deeltjes in drinkwaterleidingnetten. H₂O nr. 7, pag. 43-46.