

Betere dimensionering van leidingwaterinstallaties

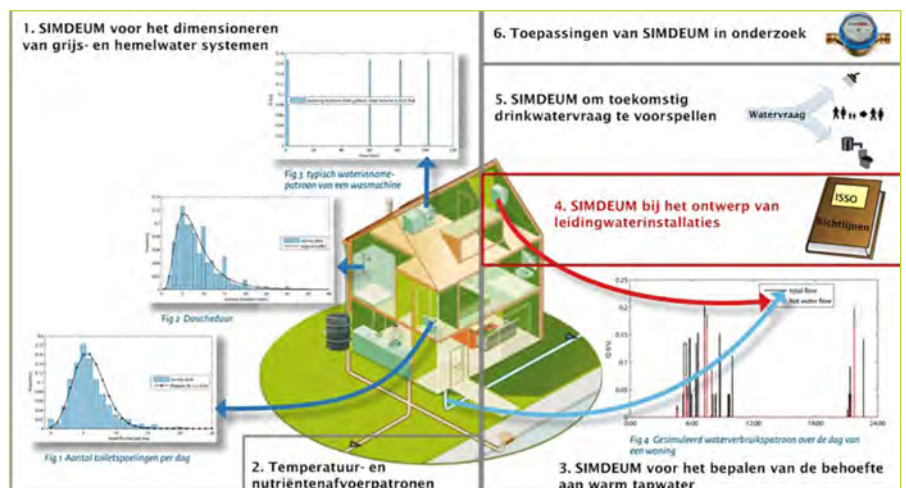
Inzicht in verbruikspatronen is belangrijk voor de dimensionering (diameterkeuze) van leidingwaterinstallaties en voor de keuze van warmtapwatertoestellen. Voor dimensionering van leidingwaterinstallaties wordt doorgaans de zogenaemde $q\sqrt{n}$ -methode gebruikt. Deze methode is bruikbaar voor de schatting van het Maximale Momentane Volumestroom (MMV) van het totale waterverbruik van een individuele woning. Er zijn echter meerdere situaties waarin de $q\sqrt{n}$ -methode niet bruikbaar is, of leidt tot een sterke overschatting van de MMV. Voorbeelden hiervan zijn appartementengebouwen en utiliteitsbouw zoals hotels en zorginstellingen. Voor deze situaties zijn rekenregels ontwikkeld door gebruik te maken van verbruikspatronen die ontwikkeld zijn met het waterverbruikmodel Simdeum®.

Ir. A. (Andreas) Moerman, onderzoeker, KWR; dr.ir. E.J.M. (Mirjam) Blokker, Principal Scientist, KWR

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; voor woningen én voor utiliteitsbouw. Door de data te aggregeren kan het waterverbruik per uur of per dag en per woning of per wijk worden verkregen. Simdeum® maakt hierbij geen gebruik van metingen van waterverbruik, maar van allerlei externe databronnen, zoals data van het CBS, enquêtedata over waterverbruik in huishoudens, enquêtedata over tijdsbesteding over de dag en technische gegevens van kranen en water verbruikende apparaten. Simdeum® is daarmee gebaseerd op inzicht in waterverbruik en heeft een fysische basis. Simdeum® is op diverse manieren gevalideerd, namelijk middels metingen van waterverbruik van zowel koud als warm water,

en met metingen van volumestromen en verblijftijden in het drinkwaternet. De unieke eigenschappen van Simdeum® zorgen voor

een grote verscheidenheid aan toepassingen. In een serie van 6 artikelen lichten we deze mogelijkheden toe. In dit artikel gaan we in op



de toepassing van Simdeum® voor het bepalen van rekenregels voor de dimensionering van (collectieve) leidingwaterinstallaties. Inzicht in verbruikspatronen is belangrijk voor de dimensionering (diameterkeuze) van leidingwaterinstallaties en voor de keuze van warmtapwater toestellen. Uit de verbruikspatronen kunnen verschillende kentallen voor het waterverbruik worden afgeleid, zoals de maximummomentvolumestroom (MMV) voor koud- en warmtapwater en het maximum-warmwatervolume (MWW) in verschillende tijdseenheden.

De diameterkeuze op basis van MMV voor woningen, woongebouwen en utiliteitsgebouwen waren vroeger veelal gebaseerd op de zogenoemde $q\sqrt{n}$ -methode. Er zijn echter meerdere situaties waarin de $q\sqrt{n}$ -methode niet bruikbaar is, of leidt tot een sterke overschatting van de MMV:

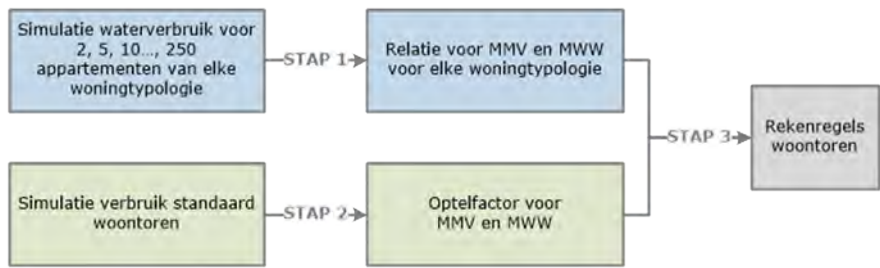
- bepaling van MMV voor koud- en warmtapwater voor meerdere huishoudens in een straat of een woongebouw;
- bepaling van MMV voor koud- en warmtapwater voor leidingwaterinstallaties in de utiliteitsbouw (hotels, zorginstellingen, etc.);
- bepaling van MMV en MWW waarden voor scenario's waarin sprake is van trendbreuken zoals het gebruik van regenwater of zeer zuinige huishoudelijke apparatuur zoals de upfall-shower.
- bepaling van MWW op het niveau van de individuele woning voor dimensionering van warmtapwaterbereiders.

Met gebruik van geavanceerde rekenmethoden is het wel mogelijk om voor deze situaties rekenregels op te stellen. Voor het opstellen van deze rekenregels is uitvoerig onderzoek gedaan met Simdeum®, een stochastisch model voor het creëren van watervraagpatronen. Stochastisch wil hierbij zeggen dat er rekening wordt gehouden met de waarschijnlijkheid dat een bepaalde situatie zich voordoet. Met Simdeum® kunnen waarden voor MMV en MWW bepaald worden voor zowel koud- als warmtapwaterstromen in verschillende tijdseenheden.

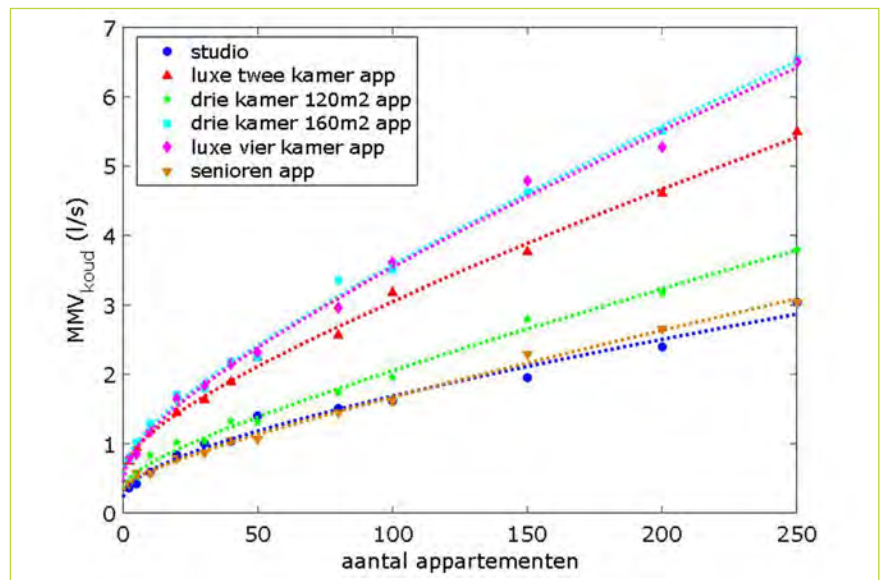
■ SIMULATIE WATERVERBRUIK

Simdeum® simuleert waterverbruikspatronen voor huishoudelijk en niet-huishoudelijk waterverbruik. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van gegevens van het waterverbruik per tappunt:

- welke tappunten zijn aanwezig (m.a.w.: hoe ziet de leidingwaterinstallatie eruit) en hoeveel gebruikers zijn er (bijv. gezinsgrootte);
- volumestroom die per tappunt afgenomen kan worden (l/s) en duur van het tappen;



-Figuur 1- Schematische weergave van ontwikkeling van rekenregels voor woontorens



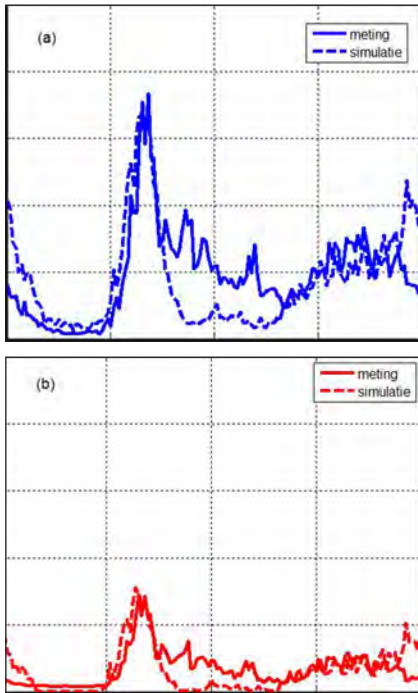
-Figuur 2- MMV_{koud} in relatie tot het aantal appartementen van een specifieke woningtypologie [1]. Punten representeren uitkomsten van Simdeum® simulaties.

- wat is het gedrag van de mensen die de tappunten gebruiken?
- Voor deze gegevens wordt geput uit expertkennis (over capaciteit van tappunten) en onafhankelijke onderzoeken die regelmatig herhaald worden:
- onderzoek naar waterverbruik in huishoudens (elke 3 jaar in opdracht van Vewin);
 - CBS gegevens over de bewonerssamenstelling per wijk;
 - tijdsbestedingsonderzoek (elke 5 jaar in opdracht van Sociaal Cultureel Planbureau).

De kern van Simdeum® bestaat uit een zogenaamde Monte Carlo berekening waarbij een veelvoud aan huishoudens gesimuleerd wordt. Bij elke simulatie worden voor de modelparameters getallen getrokken uit kansverdelingen die geconstrueerd zijn op basis van de hierboven genoemde onderzoeken. Elk gesimuleerd huishouden is daardoor uniek. Op deze manier wordt rekening gehouden met de natuurlijke spreiding die in praktijk ook voorkomt; de ene gebruiker is zuiniger dan de andere. Met een druk op de knop is zo informatie beschikbaar over het waterverbruik van vele duizenden woningen of utiliteitsbouw.

■ ONTWIKKELING REKENREGELS VOOR WOONTORENS

Om breed toepasbare rekenregels voor woontorens te ontwikkelen zijn simulaties met Simdeum® uitgevoerd voor zes verschillende woningtypologieën [1]. Deze typologieën verschillen in bewonersklasse (gezinsamenstelling en arbeidsparticipatie), oppervlakte, aantal kamers en de drinkwaterinstallatie. Voor de simulatie van het waterverbruik met Simdeum® zijn alleen de bewonersklasse en gegevens over de leidingwaterinstallatie van belang. De oppervlakte en het aantal kamers zijn toegevoegd om een vollediger beeld te krijgen van het type appartement. De zes woningtypologieën zijn ontwikkeld op basis van plattegronden van verschillende woontorens in Nederland. Om tot een waarde van de MMV te komen wordt uitgegaan van een gelijktijdigheidsklasse III. Deze klasse geeft aan dat er onbeperkt gelijktijdig gebruik gemaakt kan worden van warmtapwater binnen een enkel appartement en binnen de gehele woontoren. De ontwikkeling van de rekenregels, die MMV_{koud}, MMV_{warm} en MWW (10, 60, 120 minuten, 1 dag) weergeven voor



-Figuur 3- Het gemeten en gesimuleerde gemiddelde verbruikspatroon van de drukgroep met 59 appartementen in een woontoren voor (a) koud water (=totaal water) en (b) warmtapwater (weergave met een tijdschaal van 10 minuten) [3]

een willekeurige woontoren, bestaat uit drie stappen (figuur 1).

Stap 1

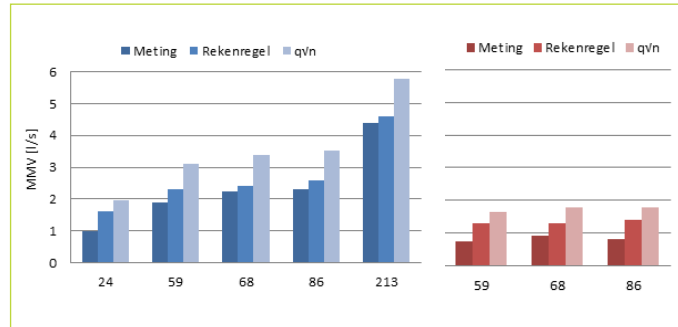
Voor elke woningtypologie zijn verbruikspatronen gesimuleerd voor verschillende aantallen van appartementen van de betreffende typologie. Uit deze verbruikspatronen zijn waarden voor de MMV_{koud} , MMV_{warm} en MWW berekend. De resultaten hiervan zijn (voor de MMV_{koud}) weergegeven in Figuur 2. Voor elke woningtypologie is een relatie opgesteld die waarden voor MMV_{koud} , MMV_{warm} en MWW kan berekenen voor een opgegeven aantal woningen. De algemene formule voor deze relatie is:

$$X = q_1 + q_2 \cdot \sqrt{n} + q_3 \cdot n$$

Waarin X het waterverbruik is in liter/s (voor MMV_{koud} en MMV_{warm}) of in liter (voor MWW), n het aantal appartementen en q_1 , q_2 en q_3 parameters zijn die bepaald worden door de gekozen woningtypologie. Figuur 2 laat zien dat bovengenoemde formule een goede interpolatie vormt voor de punten die met Simdeum® bepaald zijn.

Stap 2

De relaties die bepaald zijn met stap 1 hebben betrekking op afzonderlijke woningtypologieën. In praktijk zal een woontoren of appartementencomplex echter niet altijd bestaan uit woningen van slecht een enkele typologie. De MMV en MWW waarden moeten dus



-Figuur 4- MMV_{koud} (links) en MMV_{warm} (rechts) voor verschillende aantallen appartementen in, afgeleid uit metingen, berekend met de rekenregels en berekend met de $q\sqrt{n}$ -methode.

bepaald kunnen worden voor combinaties van verschillende appartementen. De resultaten van de afzonderlijke typologieën kunnen echter niet zomaar opgeteld worden omdat niet alle bewoners in alle appartementen gelijktijdig een maximaal waterverbruik zullen hebben. Het totale maximale verbruik van meerdere typen appartementen is dus lager dan de som van de maximale verbruiken van elk appartement afzonderlijk. Om hiervoor te corrigeren worden optelfactoren toegepast. Deze factoren zijn met Simdeum® bepaald op basis van simulaties van zogenaamde standaardwoontorens waarin van elke woningtypologie evenveel appartementen meegenomen zijn [1,2].

Stap 3

In stap 3 worden de bepaalde waarden voor MMV en MWW gecombineerd met de in stap 2 ontwikkelde optelfactoren. In de rekenregels wordt het waterverbruik voor elke woningtypologie berekend, gecorrigeerd voor het aantal appartementen van elke woningtypologie. Ten slotte worden de gecorrigeerde waterverbruiken voor alle typologieën bij elkaar opgeteld. De drie stappen geven de complexiteit weer die ten grondslag ligt aan de rekenregels. Het resultaat is echter eenvoudig: de invoer voor de rekenregel bestaat uit het aantal appartementen dat van elke woningtypologie aanwezig is in een woontoren. De uitvoer bestaat uit de MMV voor koud en warm water en de MWW voor verschillende tijdseenheden (10, 60, 120 minuten, 1 dag).

VALIDATIE REKENREGELS VOOR WOONTORENS

Om aan te kunnen tonen dat de op Simdeum® gebaseerde rekenregels het daadwerkelijk verbruik beter kunnen voorspellen dan de $q\sqrt{n}$ -methode was het noodzakelijk om de rekenregels te valideren. Dit is gedaan door uitkomsten van de Simdeum® rekenregels te vergelijken met metingen van twee woontorens [3]. Bij metingen aan één van deze woontorens (nr. I) zijn voor verschillende aantallen appartementen (24, 59, 68, 86 en 213) koud en warm watervolumes gemeten met een meetfrequentie van 1 s gedurende 20-50

dagen. Bij de andere woontoren (nr. II) zijn totale volumes van koud- en warmtapwater gemeten voor de gehele woontoren. Het valideren van de uitkomsten van de rekenregels op basis van Simdeum is gedaan aan de hand van een tweetal toetsen:

- vergelijking van het verbruikspatroon over een gemiddelde dag: is de basis van de rekenregels goed? De gemeten verbruikspatronen worden vergeleken met de met Simdeum® gesimuleerde verbruikspatronen. Als deze verbruikspatronen met elkaar overeenkomen, is dit een indicatie dat de basis van de rekenregels solide is;
- vergelijking van de kentallen ($MMV_{koud/warm}$, MWW voor verschillende tijdseenheden): zijn de rekenregels betrouwbaar?

De gemeten kentallen worden vergeleken met de uitkomsten van de rekenregels. Hierdoor kan een uitspraak gedaan worden of de rekenregels betrouwbaar zijn.

Figuur 3 laat het resultaat zien van toets A. De figuur laat duidelijk zien dat het met Simdeum® gesimuleerde waterverbruik van een woontoren (bestaande uit de gestandaardiseerde woningtypologieën) een hele goede voorspelling geeft van zowel het koud- als het warmtapwaterverbruik. De pieken vinden op hetzelfde tijdstip plaats en zijn even hoog. Alleen het nachtverbruik is in de simulatie hoger. Daarnaast wordt gedurende de dag in werkelijkheid meer water verbruikt dan gesimuleerd. Waarschijnlijk zijn er gedurende de dag meer mensen aanwezig dan aangenomen in de simulatie. De overeenkomst tussen de metingen en de berekende verbruikspatronen toont aan dat de basis voor de rekenregels betrouwbaar is.

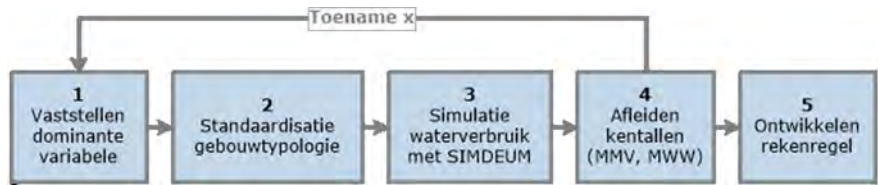
Voor de uitvoering van toets B zijn de MMV en MWW kentallen berekend voor de uitgevoerde metingen en de uitkomsten van de rekenregels. Figuur 4 laat zien dat de rekenregels de MMV_{koud} goed voorspellen. De $q\sqrt{n}$ -methode leidt in deze situatie tot een forse overschatting van 31-99% ten opzicht van de gemeten waarde. Voor de MMV_{warm} is dit nog meer het geval; daar leidt de $q\sqrt{n}$ -methode tot een overschatting van 94-120%. De MMV_{warm} wordt ook door de rekenregel enigszins overschat. Een mogelijke verklaring hiervoor

is dat de temperatuur van het koude en/of het warme water afwijkt van wat in de simulaties is verondersteld. Uit figuur 4 blijkt dat de totale hoeveelheid water vergelijkbaar is, maar dat er meer warmtapwater wordt berekend in de simulaties. Wanneer de temperatuur van het warme tapwater in werkelijkheid hoger is dan 60°C of als de koudwatertemperatuur hoger is dan 10°C (wat mogelijk is gezien de meetperiode) is er minder warm tapwater nodig om de gewenste temperatuur aan de tap te krijgen. De totale volumestroom blijft wel vergelijkbaar omdat de totale volumestroom (MMV_{koud}) niet verandert. Ook voor de gemeten MWW waarden geldt dat deze goed voorspeld worden door de Simdeum® rekenregels (dit is hier niet getoond, zie [3]). Hiervoor zijn alleen uitkomsten van de rekenregels vergeleken met de metingen omdat voor MWW waarden geen oudere methoden (zoals de $q\sqrt{n}$ -methode) beschikbaar zijn.

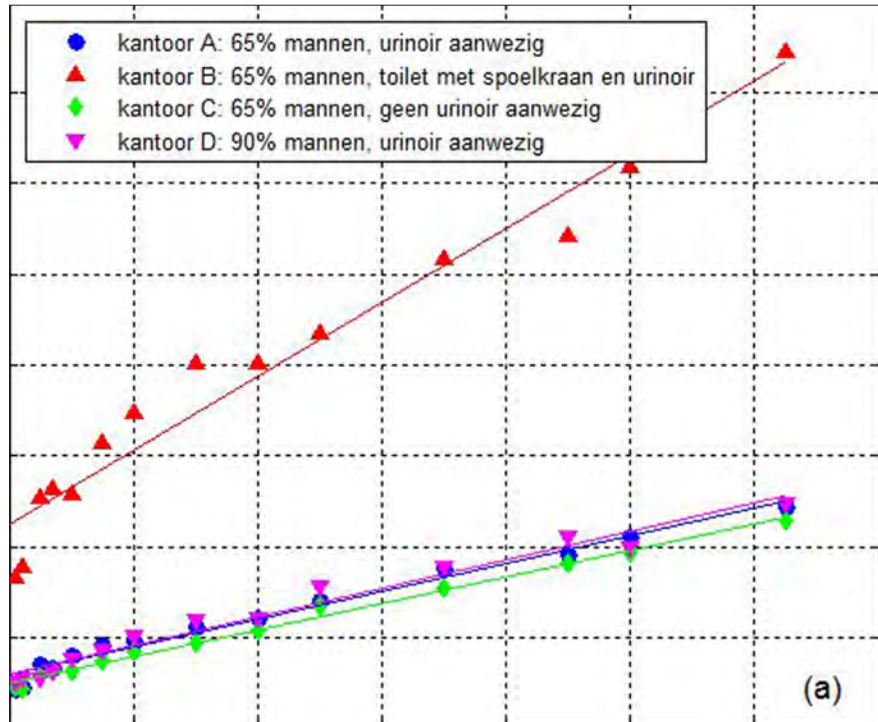
ONTWIKKELING REKENREGELS VOOR UTILITEITSBOUW

Voor het ontwerp van leidingwaterinstallaties in de utiliteitsbouw zijn rekenregels opgesteld voor kantoren, hotels en zorginstellingen [4]. Voor alle categorieën geldt dat onderscheid gemaakt wordt tussen typologieën die verschillen wat betreft gebouwgroottes, leidingwaterinstallatie en gebruikers. Voor het ontwikkelen van de rekenregels is per categorie de dominante variabele vastgesteld, die de grootste bijdrage heeft aan het waterverbruik binnen de categorie (figuur 5). Voor kantoren is dit het aantal medewerkers, voor hotels het aantal hotelkamers en voor zorginstellingen het aantal bedden.

Op basis van de dominante variabele wordt zowel de inrichting van het gebouw berekend als ook het aantal verbruikers. Daarna is het waterverbruik gesimuleerd met Simdeum®. Voor elke typologie zijn 100 verbruikspatronen gesimuleerd voor gebouwen van variërende omvang, waaruit de kentallen (MMV en MWW) bepaald zijn. Hiermee zijn vervolgens voor elke typologie eenvoudige lineaire relaties ontwikkeld voor de kentallen bij variërende grootte van de dominante variabele in de vorm van de volgende formule: $y = a \cdot x + b$. Hierin is x bijvoorbeeld het aantal medewerkers, a en b zijn factoren die op basis van berekeningen met Simdeum® bepaald zijn voor een specifieke typologie. Deze relaties vormen de rekenregels die het waterverbruik voor elke typologie kunnen voorspellen. Dit betreft het waterverbruik van een geheel gebouw. De lineaire relaties van de rekenregels beschrijven het met Simdeum® gesimuleerde waterverbruik van de verschillende typologieën binnen elke



-Figuur 5- Schematische weergave van het iteratieve proces om te komen tot rekenregels voor de utiliteitsbouw. 'x' is de gekozen dominante variabele



-Figuur 6- Vergelijking rekenregel met uitkomsten van Simdeum® voor vier kantoortypologieën (A en B) [5]. Ook bij een grotere vrouw/man verhouding kloppen de rekenregels met de uitkomsten van Simdeum®.

categorie goed (figuur 6).

VALIDATIE REKENREGELS VOOR UTILITEITSBOUW

Om de validiteit van de Simdeum® rekenregels voor utiliteitsbouw te onderzoeken zijn enkele jaren geleden metingen uitgevoerd. Deze metingen zijn vergeleken met uitkomsten van Simdeum®. Ook bij deze validatie is getoetst op zowel het verbruikspatroon (toets A) als de kentallen voor MMV en MWW (toets B). Gezien de uitvoerigheid van deze drie validatiestudies worden de uitkomsten van de validaties hier beknopt weergegeven. Naslag is mogelijk via de bijbehorende rapportages [5,6,7]. Figuur 7 (volgende pag.) laat het resultaat zien van toets A voor twee verschillende kantoren (a en b) met respectievelijk 250 en 2000 medewerkers.

Figuur 7 laat duidelijk zien dat het gesimuleerde waterverbruik van een gestandaardiseerd kantoorgebouw een hele goede voorspelling geeft van het daadwerkelijke waterverbruik. De pieken vinden op hetzelfde tijdstip plaats en zijn even hoog. De metingen

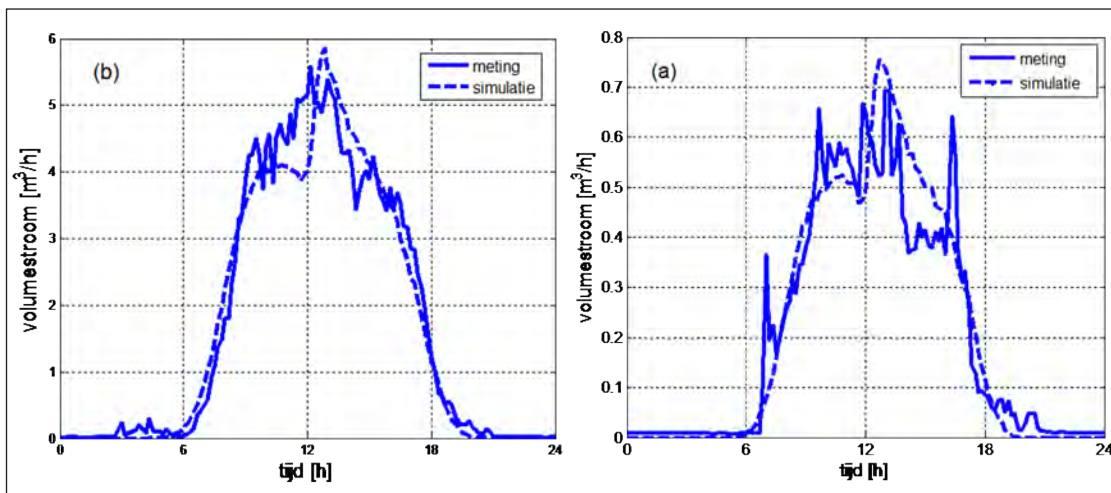
zijn iets grilliger dan de simulatie, vooral in kantoor I. Tevens zijn de start en het einde van de werkdag goed te zien in zowel de metingen als de simulaties. Uit figuur 7 blijkt duidelijk dat met Simdeum® goed inzicht wordt verkregen in het waterverbruik in een kantoor, niet alleen in het piekverbruik, maar ook in het verloop van het verbruik gedurende de dag. De overeenkomst tussen de metingen en de berekende verbruikspatronen toont aan dat de basis voor de rekenregels betrouwbaar is.

Voor zorginstellingen en hotels is een zelfde validatie uitgevoerd [5,7]. In figuur 8 (volgende pag.) is het resultaat van toets B (vergelijking van kentallen) voor het MMV_{koud} en MMV_{warm} voor hotels weergegeven.

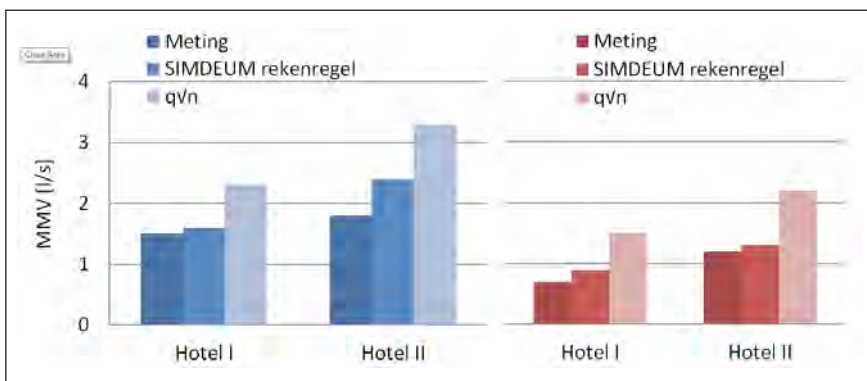
De uitkomsten van deze validatiestudies laten zien dat Simdeum® en de bijbehorende rekenregels ook bruikbaar zijn voor deze categorieën utiliteitsbouw voor het bepalen van de MMV en MWW (ook voor warmtapwater).

CONCLUSIES EN VERVOLG

Voor het bepalen van de maximummomentvolumestroom (MMV) voor koud- en



-Figuur 7- Het gemeten en gesimuleerde gemiddelde verbruikspatroom voor 30-50 meetdagen voor koud water (=totaal water) in (weergave met een tijdschaal van 10 minuten)



-Figuur 8- MMV_{koud} (links) en MMV_{warm} (rechts) voor twee hotels afgeleid uit metingen gedurende 28-32 dagen, berekend met de rekenregels, berekend met de q/vn -methode en berekend met de ISSO55-methode [5]

warmtapwater en het maximumwarmwatervolume (MWW) is de q/vn -methode feitelijk alleen bruikbaar op het niveau van de individuele woning voor de bepaling van het totale waterverbruik [8]. Voor andere situaties zoals woontorens/apartementencomplexen of utiliteitsbouw is de q/vn -methode niet bruikbaar en zijn er andere rekenregels ontwikkeld. Op basis van watervraagsimulaties met Simdeum[®] zijn rekenregels ontwikkeld die gevalideerd zijn met metingen voor verschillende typen utiliteitsgebouwen en woontorens. Simdeum[®] is goed in staat om betrouwbare verbruikspatronen te ontwikkelen voor deze situaties. Simdeum[®] is goed in staat om piekverbruiken (MMV_{koud} , MMV_{warm}) en maximaal warmtapwaterverbruik (MWW in 10, 60, 120 minuten, 1 dag) te voorspellen. Met de Simdeum[®] rekenregels kunnen betere ontwerpen gemaakt worden voor leidingwaterinstallaties in woontorens en de utiliteitsbouw. Een betere voorspelling van de (piek) warmtapwatervraag met de Simdeum[®] rekenregels draagt bij aan betere keuze voor een warmtapwaterbereider voor een (collectieve) leidingwaterinstallatie, wat ten goede komt aan het ketenredement en kosten/emissieverlaging [9]. Figuur 9 geeft een overzicht van de

ontwikkeling van rekenregels met Simdeum[®]. Op dit moment zijn er met Simdeum[®] ontwikkelde rekenregels (in de ISSO-55 Publicatie en als Excel spreadsheet) beschikbaar voor:

- kantoren (met/zonder urinoir);
- hotels (met/zonder congresfunctie, zakelijk/toeristisch en met verschillende soorten douche-volumestromen);

In 2018 zal deze set met standardsituaties worden uitgebreid voor hotels met alleen kamers (geen keuken), zodat ook per verdieping kentallen bekend zijn, voor woongebouwen met studentenwoningen / hostels (gezamenlijk sanitair), voor kantoren met als dominante variabele het aantal toiletten, en voor zorginstellingen afhankelijk van het doucheschema.

LITERATUUR

1. Pieterse-Quirijns, I., 2008, Rekenregels voor waterverbruik in woontorens, Rapport nr. KWR 08.089, KWR, Nieuwegein, pp. 59

2. Pieterse-Quirijns, I. en Blokker, E. J. M., 2009, Rekenregels waterverbruik woontorens voor betere dimensionering installaties, in: Intech K&S, pp. 48-51
3. Pieterse-Quirijns, E. J. en Beverloo, H., 2013, Validatie rekenregels voor waterverbruik woontorens, Rapport nr. KWR 2013.016, KWR, Nieuwegein, pp. 56
4. Pieterse-Quirijns, E. J., 2010, Rekenregels voor waterverbruik in utiliteitsbouw; Bepalen van maximum volumestroom en warmwaterverbruik met Simdeum, Rapport nr. KWR 2010.072, KWR, Nieuwegein, pp. 61
5. Pieterse-Quirijns, E. J., Beverloo, H. en van Loon, A., 2013a, Validatie rekenregels voor waterverbruik hotels, Rapport nr. KWR 2013.018, KWR, Nieuwegein, pp. 84
6. Pieterse-Quirijns, E. J., Beverloo, H. en van Loon, A., 2013b, Validatie rekenregels voor waterverbruik kantoren, Rapport nr. KWR 2013.017, KWR, Nieuwegein, pp. 66
7. Pieterse-Quirijns, E. J., Beverloo, H., van Loon, A. en Kwakkel, M., 2013c, Validatie rekenregels voor waterverbruik zorginstellingen, Rapport nr. KWR 2013.025, KWR, Nieuwegein, pp. 88
8. Blokker, E. J. M., Doldersum, R., Landsbergen, A., Van der Schee, W. en Scheffer, W., 2006, Rekenregels voor dimensionering van leidingwaterinstallaties, Rapport nr. KWR 06.104, KWR, Nieuwegein, pp. 30
9. Van Veelen, I. en Moerman, A., 2016, Warmtapwaterbereiding in energiezuinige woningen, in: TVVL Magazine, pp. 36-39



-Figuur 9- Ontwikkeling rekenregels met Simdeum[®] vanaf 2006