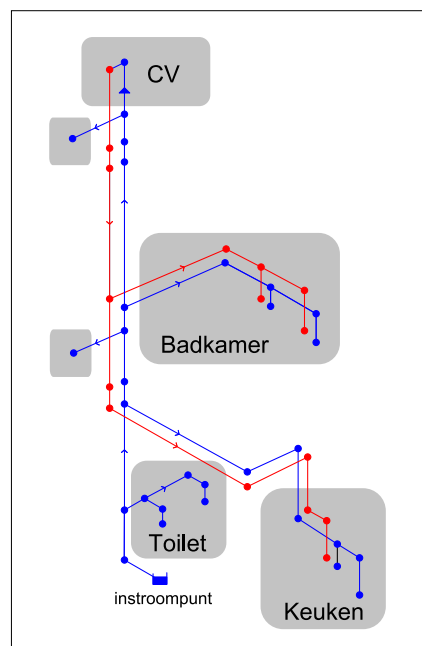


# Opwarmen van drinkwater in woninginstallaties

De woninginstallatie vormt de laatste stap in het transport van drinkwater van bron tot kraan. Hoewel het drinkwater in de woninginstallatie slechts een korte afstand aflegt in vergelijking met het transport- en distributienet, kan invloed van de woninginstallatie op de drinkwaterkwaliteit niet uitgesloten worden. De temperatuur is één van de parameters die invloed heeft op de waterkwaliteit en dan in het bijzonder op de groei van micro-organismen. Gedurende onderzoek hiernaar is een model ontwikkeld om meer inzicht te krijgen in de drinkwatertemperatuur in de woninginstallatie.

Ir. A. (Andreas) Moerman en dr.ir. E.J.M. (Mirjam) Blokker, KWR Watercycle Research Institute; dr.ir. J.H.G. (Jan) Vreeburg, KWR Watercycle Research Institute, TU Delft (inmiddels werkzaam bij Wageningen University and Research Centre); prof.dr.ir. J.P. (Jan Peter) van der Hoek, TU Delft



-Figuur 1- Schematische weergave model woninginstallatie. Blauwe lijnen zijn drinkwaterleidingen, rode lijnen zijn warmtapwaterleidingen. Het instroompunt bevindt zich onderaan in de figuur. De tappenpunten (uitstroompunten) zijn omgeven door grijze vlakken. De pijlen geven de stroomrichting aan.

De woninginstallatie begint bij de watermeter en eindigt bij de verschillende tappenpunten in de woning. Ook in de woninginstallatie geldt dat het drinkwater moet voldoen aan de eisen van het drinkwaterbesluit. Eén van die eisen betreft de drinkwatertemperatuur: deze mag – ook aan het tappunt – niet hoger zijn dan 25°C [1]. Er is tot op heden echter geen duidelijk beeld hoe de drinkwatertemperatuur in de woninginstallatie zich gedraagt onder invloed van omgevingstemperatuur en tappatroon. Hoewel de eigenaar van de woninginstallatie zelf verantwoordelijk is voor de staat van deze installatie, is het van belang te weten welke processen de kwaliteit van het drinkwater in de woninginstallatie beïnvloeden. Eerder is onderzoek gedaan naar het voorkomen van Legionella Pneumophila in relatie tot de temperatuur van drinkwater en de effecten van zogenaamde hotspots. Hoewel

bekend is dat constante hoge temperaturen kunnen leiden tot ongewenste groei van micro-organismen is er tot op heden geen onderzoek gedaan naar temperatuur en groei van micro-organismen onder dynamische stromingscondities in woninginstallaties. Voor het onderzoek [2] is gebruik gemaakt van een model voor een eenvoudige woninginstallatie met koud- en warm-waterleidingen (zie figuur 1). Met gebruik van Simdeum is het mogelijk om aan elk tappunt, bijvoorbeeld een douche of wasmachine, een realistisch verbruikspatroon te koppelen.

## SCENARIO'S

Met het model is een aantal scenario's doorgerekend. Omdat het model nog niet gevalideerd is kunnen de resultaten alleen relatief geïnterpreteerd worden. Daarom zijn de resultaten steeds vergeleken met een referentiecasus. In de referentiecasus heerst een omgevingstemperatuur van 18°C en heeft het water een temperatuur van 5°C wanneer het de woning binnenkomt. De meeste scenario's gaan ervan

uit dat de temperatuur van het drinkwater boven 25°C komt, om beter zicht te krijgen op de gevolgen van een hoge omgevingstemperatuur. Deze opwarming kan plaatsvinden op een zomerse dag of onder invloed van zogenaamde 'hotspots'. Hotspots zijn plaatsen waarbij het drinkwater in de woninginstallatie opwarmt boven het toegestane maximum van 25°C. Dit kan veroorzaakt worden doordat bijvoorbeeld leidingen voor stadsverwarming en drinkwaterleidingen zich in dezelfde leidingschacht bevinden of doordat leidingen van vloerverwarming te dicht bij drinkwaterleidingen geïnstalleerd zijn. In verschillende brochures en publicaties van ISSO wordt hieraan aandacht besteed. In tabel 1 zijn de verschillende scenario's weergegeven.

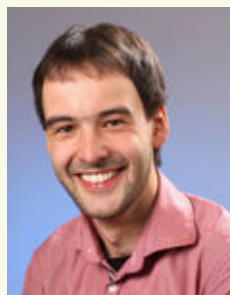
### ■ INVLOED HOTSPOTS

Figuur 2 geeft de drinkwatertemperatuur weer bij de (koude) keuken- en douchekraan voor de referentiecasis (grijs) en de casus met een hoge omgevingstemperatuur in de meterkast (oranje). De invloed is het duidelijkst zichtbaar bij de keukenkraan aangezien hier – door kleine tapvolumes – enkele afkoelingsstrajecten zichtbaar zijn. Bij de douchekraan zijn twee pieken zichtbaar. Deze pieken worden veroorzaakt doordat water, wat opgewarmd is in de meterkast, het tappunt bereikt. Direct daarna daalt de temperatuur van het koude water aan de douchekraan omdat het opgewarmde water afgetapt is en er koel water uit het distributienet de kraan passeert.

Op figuur 2 is de temperatuur in de leiding ter plaatse van de keuken- en douchekraan in de tijd gegeven. Of water met een temperatuur hoger dan 25°C daadwerkelijk gebruikt wordt hangt af van het tapmoment en het tapvolume.

Vervolgens werden hotspots op verschillende locaties gesimuleerd. Uit deze simulaties blijkt dat de locatie van de hotspot sterk van invloed is op de temperatuur van het drinkwater.

Hoeveel het water wordt opgewarmd hangt onder andere af van de verblijftijd op een bepaalde plek in de installatie. Hoe lang die verblijftijd is en hoe hoog de drinkwatertemperatuur dan wordt (hoger dan 25°C) hangt af van wat er – vanaf het instroompunt gezien – achter dat punt in de installatie gebeurt. Als zich daar een tappunt bevindt waar frequent tappings plaatsvinden (bijvoorbeeld een keukenkraan) kan de verversing in de leiding voldoende zijn om te garanderen dat de gevolgen voor de waterkwaliteit beperkt blijven. Hiermee wordt niet voorkomen dat temperaturen hoger dan 25°C optreden, maar wel dat water met een temperatuur hoger dan 25°C lang stilstaat. Dit maakt duidelijk dat het van groot belang is onderzoek te doen naar de



Ir. A. (Andreas) Moerman



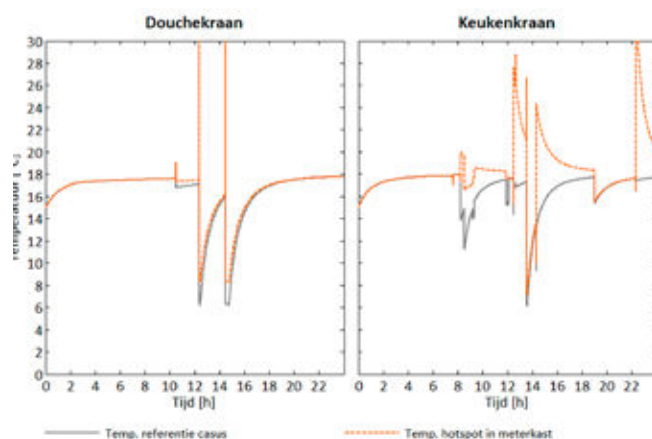
Dr.ir. E.J.M. (Mirjam) Blokker



Dr.ir. J.H.G. (Jan) Vreeburg

Scenario	opmerkingen
Hoge omgevingstemperatuur (zomerse dag)	Temperatuur bij instroom 18°C, temperatuur van omgeving 28°C.
Hoge omgevingstemperatuur in meterkast	Omgevingstemperatuur in meterkast is 35°C (hotspot).
Hoge omgevingstemperatuur op enkele locatie	Omgevingstemperatuur op een enkel leidingstuk (0.5 m) vlak na de watermeter is 35°C (hotspot).
Verschillende tapvolumes	Tapvolume maal factor 0.5, 1 en 2.
Verschillende typen woninginstallaties	Model uit figuur 1 (referentiecasis) is vergeleken met twee andere modellen.

-Tabel 1- Doorgerekende scenario's voor model drinkwatertemperatuur in woninginstallaties. Tenzij anders vermeld is de temperatuur waarmee het water de woning binnenkomt 5°C en de omgevingstemperatuur ( $T_{omg}$ ) rondom de leidingen 18°C.



-Figuur 2- Koudwatertemperatuur aan de kraan in referentiecasis (grijs) en met een hoge omgevingstemperatuur in de meterkast (oranje) bij een startconditie van 15°C.

relatie tussen tappatronen en de waterkwaliteit, omdat tappatronen de verblijftijden in de woninginstallatie bepalen.

### ■ FYSIEK CONTACT

Hiervoor is de drinkwatertemperatuur aan twee tappunten (douche en keukenkraan) weergegeven. Het is echter interessant om te weten hoe de temperatuurverdeling van het water is dat daadwerkelijk gebruikt wordt voor consumptie of douchegebruik. Figuur 3 toont de spreiding van de temperaturen die voorkomen aan de keuken- en douchekraan tijdens gebruik. De spreiding van temperaturen is groter bij de keukenkraan dan bij de douchekraan. Dit wordt veroorzaakt doordat er aan de keukenkraan kleinere volumes getapt

worden in vergelijking met de douchekraan. Daarnaast is het effect van de verschillende opwarmingsscenario's op de temperatuur van het gebruikte drinkwater goed zichtbaar. Tijdens een warme dag ( $T_{omg} = 28°C$ ) is bij 40% van het gebruikte koude drinkwater uit de keukenkraan de temperatuur hoger dan 25°C. Voor een normale dag ( $T_{omg} = 18°C$ ) met een verwarmde meterkast ( $T_{omg, meterkast} = 35°C$ ) is dit percentage ongeveer 10%.

### ■ BEMONSTERING

In figuur 2 is te zien dat het drinkwater bij het tappunt niet de temperatuur heeft waarmee het water de woninginstallatie binnenkomt (5°C). Dit wordt veroorzaakt door de opwarming tussen watermeter en tappunt.

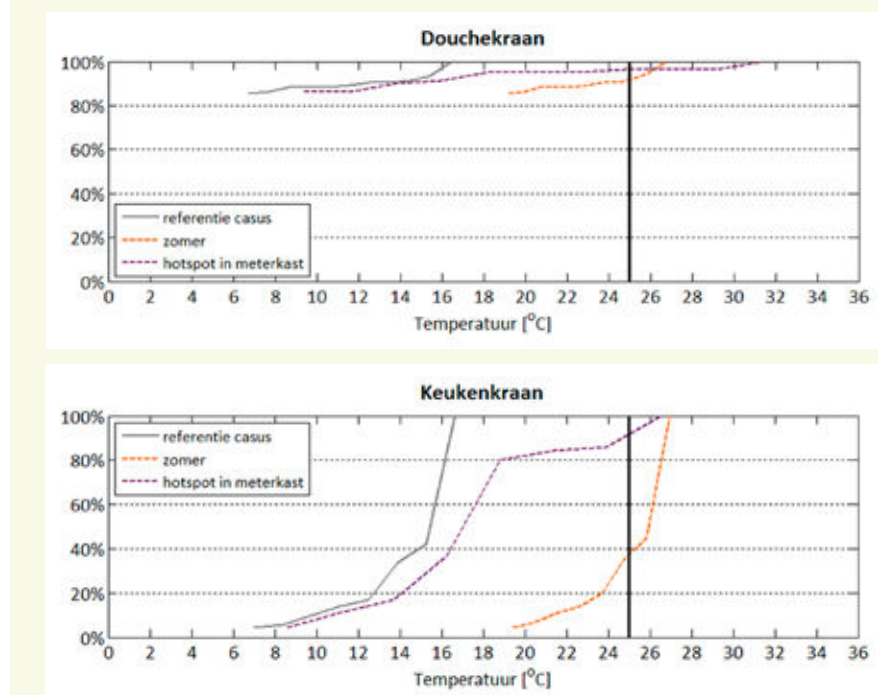
Dit heeft gevolgen voor de interpretatie van temperatuurmetingen die drinkwaterbedrijven uitvoeren naast de RandomDayTime (RDT) bemonstering in het kader van het Drinkwaterbesluit. Bij deze metingen wordt de temperatuur van het drinkwater aan het meest frequent gebruikte tappunt gemeten na doorspoelen. Bij het doorspoelen wordt opgewarmd water in de woninginstallatie weggespoeld en komt koeler water vanuit het distributienet de woninginstallatie binnen. De temperatuur wordt gemeten wanneer deze niet meer verandert. Men neemt dan aan dat dit de temperatuur in het distributienet bij het aansluitpunt is. De werkelijke temperatuur in het distributienet zal echter lager liggen omdat het water ook opwarmt tussen de watermeter en het tappunt waar gemeten wordt. Dit effect is het grootst in de winter wanneer het temperatuurverschil ( $T - T_{omg}$ ) het grootst is. Bovendien warmt stromend water – door wervelingen langs de leidingwand – sneller op dan stilstaand water. Beide effecten resulteren in een opwarming van 1 – 2°C. Omdat in de modelstudie gewerkt is met grotere diameters dan gebruikelijk in Nederland, is een aantal berekeningen overgedaan met een model met in Nederland toegepaste diameters [5]. Deze resultaten tonen een opwarming tussen 2 – 4°C. Bij kleinere diameters zal bij dezelfde watervraag de stroomsnelheid hoger zijn. De contacttijd neemt daarmee af. Tegelijkertijd is er echter sprake van meer contact tussen water en leidingwand. Het laatste effect heeft meer invloed dan het eerste, wat resulteert in meer opwarming (2 – 4°C).

### ■ INVLOED TAPVOLUME

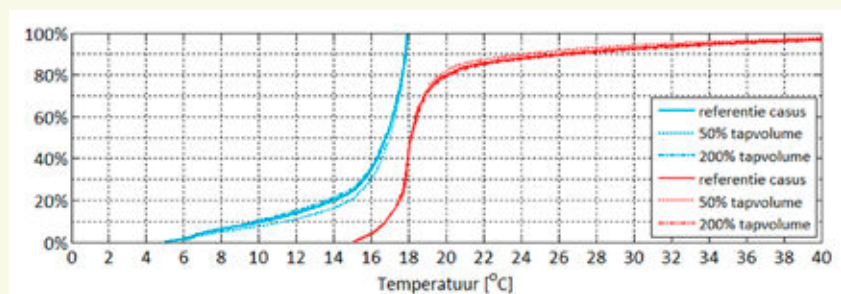
Om de effecten van verschillende tapvolumes te onderzoeken zijn vergelijkingen uitgevoerd met situaties waarin 0,5 of 2 keer zoveel water werd getapt. In afbeelding 4 zijn de temperaturen die in deze situaties voorkomen cumulatief uitgezet. Duidelijk is te zien dat een grote variatie in tapvolume (twee keer zo groot dan wel zo klein) nauwelijks gevolgen heeft voor de temperaturen die optreden in het systeem. Dit wijst erop dat inderdaad tappatronen de meeste invloed hebben op de temperatuurontwikkeling van drinkwater in woninginstallaties. Het tappatroon bepaalt namelijk de tijd tussen twee opeenvolgende tappingsen.

### ■ INVLOED WONINGTYPE

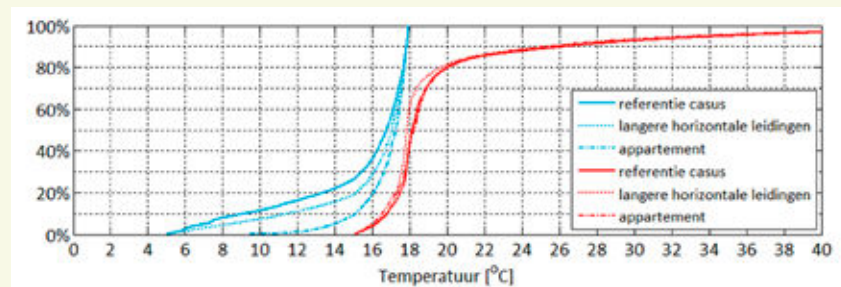
Tijdens het onderzoek is een korte verkenning uitgevoerd met als doel mogelijke verschillen in kaart te brengen tussen verschillende typen woninginstallaties. Hiervoor zijn de horizontale leidingen uit het model van figuur 1 verlengd met een factor 10. Daarnaast is een appartementencomplex van 72 woningen



-Figuur 3- Cumulatieve frequentieverdeling van de koudwatertemperatuur tijdens verbruik voor verschillende situaties waarbij het water temperaturen bereikt boven de 25°C.



-Figuur 4- Cumulatieve frequentieverdeling voorkomende temperaturen bij verschillende tapvolumes. De rode lijnen representeren de warmtapwaterleidingen, de blauwe de koud tapwaterleidingen.



-Figuur 5- Cumulatieve frequentieverdeling voorkomende temperaturen in verschillende woningtypen. De rode lijnen representeren de warmtapwaterleidingen, de blauwe de koudtapwaterleidingen.

gesimuleerd waarbij verschillende Simdeumpatronen gebruikt zijn om een realistische situatie te modelleren. De resultaten van deze drie modellen zijn geplot in figuur 5. Te zien is dat een flinke uitbreiding van de horizontale infrastructuur beperkte invloed heeft op de voorkomende temperaturen in het systeem

gedurende een simulatie van 24 uur. Een grote collectieve drinkwaterinstallatie voor de woninginstallatie (casus appartementencomplex) heeft wel aanzienlijk effect op de temperatuur. In deze situatie warmt het water op in de infrastructuur tussen distributienet en woninginstallatie.

## ALTERNATIEVE TOEPASSINGEN

Het model is in dit onderzoek alleen gebruikt om de effecten van verschillende omgevingsfactoren op de drinkwatertemperatuur te vergelijken met een uitgangssituatie. Het kan echter ook gebruikt worden voor andere toepassingen, bijvoorbeeld het berekenen van wachttijd voor warmwater, het maken van schattingen van energieverliezen en het checken van de afkoelperioden van warmwaterleidingen. Verder kunnen modellen voor nagroei geïmplementeerd worden in Epanet-MSX, zoals dit in eerder onderzoek ook gedaan is [6]. Hiermee kan het effect van de combinatie van verblijftijd en temperatuur op nagroei inzichtelijk gemaakt worden.

## CONCLUSIES

Uit het onderzoek blijkt dat hoge omgevingstemperaturen in combinatie met lange verblijftijden leiden tot een te hoge temperatuur van het water in een woninginstallatie. De verblijftijd lijkt meer effect op de temperatuur van het drinkwater te hebben dan de omgevingstemperatuur zelf. Dit is van belang voor de bestaande normen (NEN1006) en uitvoeringsmethoden (Waterwerkbladen en ISSO-publicaties), omdat hierin de omgevingstemperatuur als maatgevend wordt beschouwd. Verder blijkt dat de drinkwatertemperatuur tussen watermeter en keukenkraan significant verandert, vooral in de winter. Daardoor is de temperatuur die aan de kraan wordt gemeten niet gelijk aan de temperatuur in het distributienet.

## LITERATUUR

1. Rijksoverheid (2011), Drinkwaterbesluit, art. 13 §1
2. Moerman A. (2013), Drinking water temperature modeling in domestic systems, MSc thesis
3. Blokker E.J.M. en E.J. Pieterse-Quirijns (2011), Model voor de berekening van de watertemperatuur in het leidingnet. H<sub>2</sub>O 2010-23, pag. 46-49
4. Blokker E.J.M. en E.J. Pieterse-Quirijns (2013), Modeling Temperature in the Drinking Water Distribution System. Journal American Waterworks Association (AWWA), vol. 105, pag. E19-E28
5. ISSO (2003). Publicatie 30 – Leidingwaterinstallaties in woningen. Rotterdam, ISSO, pag. 140
6. Blokker E.J.M. en E.J. Pieterse-Quirijns (2012), Scenariostudies voor het beperken invloed klimaatveranderingen op temperatuur en kwaliteit drinkwater in het net. KWR 2012.017. Nieuwegein, KWR Watercycle Research Institute, pag. 14

## MODEL DRINKWATERTEMPERatuur

De temperatuur kan berekend worden door een energiebalans op te stellen over een stukje leiding. Deze methodiek is ook gebruikt in eerder onderzoek naar de drinkwatertemperatuur in het distributienet [3,4]. Uit de energiebalans volgt de vergelijking voor het opwarmen van het drinkwater in de tijd:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{4h}{\rho c_p D} (T_{omg} - T)$$

waarin:

- T = temperatuur van het drinkwater,
- T<sub>omg</sub> = luchttemperatuur buiten de leiding,
- h = gecombineerde warmteoverdrachtscoëfficiënt,
- ρ = dichtheid van water,
- c<sub>p</sub> = soortelijke warmte van water,
- D = binnendiameter van de leiding.

De gecombineerde warmteoverdrachtscoëfficiënt h representeert de totale warmteoverdracht van de omgeving naar het drinkwater in de leiding. Deze warmteoverdracht hangt af van drie factoren: de stromingsconditie in de leiding, het materiaal van de leiding en de luchtstroming buiten de leiding. Deze drie factoren kunnen naar analogie van in serie staande weerstanden opgeteld worden ( $R = R_1 + R_2 + R_3$ ). Omdat de warmteoverdrachtscoëfficiënt h de reciproque waarde is van de warmte weerstand R betekent dit dat de gecombineerde warmteoverdrachtscoëfficiënt bepaald wordt door:

$$h = \frac{1}{\frac{1}{h_{water}} + \frac{1}{h_{leidingwand}} + \frac{1}{h_{buiten}}}$$

Dit betekent dat het proces bepaald wordt door het materiaal met de laagste warmteoverdracht. Uit berekeningen blijkt dat dit de condities buiten de leiding zijn. Voor de warmteoverdracht door de leidingwand (conductieve warmtestroming) is h gegeven door:

$$h = \lambda_l / d$$

waarin:

- λ<sub>l</sub> = warmtegeleidingscoëfficiënt van het leidingmateriaal,
- d = dikte van de leidingwand.

Voor de warmteoverdracht van de omgeving naar de leidingwand en van de leidingwand naar het water (convectieve warmtestroming) is h gegeven door:

$$h = Nu \cdot \lambda / D$$

waarin:

- Nu = Nusselt getal,
- λ = warmtegeleidingscoëfficiënt van het stromend medium (water: λ<sub>w</sub> of lucht: λ<sub>a</sub>)
- D = diameter van de leiding.

Aangezien er bijna alleen turbulente stroming optreedt wordt het Nusselt getal voor water (Nu<sub>w</sub>) bepaald door het Reynolds- en het Prandtlgetal. Voor luchtstroming is uitgegaan van vrije convectie waarbij het Nusselt getal voor lucht (Nu<sub>a</sub>) bepaald wordt door het Grashof- en Prandtlgetal. Bij een gegeven omgevingstemperatuur T<sub>omg</sub> en een startconditie T(0) kan de vergelijking voor het bepalen van de temperatuur in de tijd opgelost worden. Na uitwerking resulteert dit in:

$$T(t) = T_{omg} - (T_{omg} - T(0)) e^{-\beta t}$$

waarbij β gelijk is aan:  $4h/\rho c_p D$

De hiervoor beschreven modellen kunnen geïmplementeerd worden in het open-source hydraulische rekenprogramma Epanet middels de extensie Epanet-MSX. Epanet berekent de hydrauliek (hoeveel water stroomt waarheen) op basis van gegeven Simdeum-patronen. Epanet-MSX berekent op basis van dit hydraulische gegevens de temperatuur in plaats en tijd.