

# Moderne bouwtechniek

Aan de hand van temperatuurmeting en -analyse van ongewenste opwarming van koud drinkwaterleidingen kunnen praktische criteria en oplossingen voor omvangrijke verdelingssystemen worden gegeven. Recent onderzoek in Duitsland toont daarbij onder meer aan dat warmwatertappunten beter niet rechtstreeks doorstromend op een circulatieleiding kunnen worden aangesloten.

Dipl.-Ing. W. Schulte, Viega

Vanaf het leveringspunt in de woning tot aan het laatste tappunt worden drinkwaterleidingen in meer of mindere mate opgewarmd. Simulatieberekeningen en onderzoek bij het Viega laboratorium tonen aan dat die opwarming met name wordt veroorzaakt door horizontale verdeelleidingen in verlaagde plafonds. Dat geldt ook voor aansluitleidingen van aftaparmaturen, die parallel lopen aan of onvoldoende afstand hebben tot warmwatercirculatieleidingen. Door de armaturen uit te voeren met aftakleidingen in de vorm koeltrajecten wordt uitkomst geboden, zonder de drinkwaterkwaliteit in gevaar te brengen.

### ■ VROEGER

"Vroeger was alles beter." Die uitdrukking klinkt nou niet bepaald als het begin van een oplossing voor problemen. Maar er is tenminste één uitzondering: de microbiële groei als gevolg van ongewenste opwarming van koud drinkwaterleidingen. Figuur 1 (A) laat een etage-tappunt zien, dat lange tijd vier woningen centraal van drinkwater voorzag. De vereiste wateruitwisseling van ten minste eens in de zeven dagen volgens NEN 1006:2015 in alle leidingtrajecten is hier in ieder geval gegarandeerd. Ook de maximaal toelaatbare bedrijfstemperatuur wordt aangehouden omdat de leidingen in de stenen wanden zijn ingemetseld en parallel lopende verwarmings- en circulatieleidingen ontbraken (er was immers nog geen centrale warmwatervoor-

ziening). Daardoor was er ook geen risico voor microbiële groei als gevolg van opwarming.

### ■ MODERNE BOUWMETHODEN

Installaties zoals die in figuur 1/A worden echter al lang niet meer aangelegd; de bouwmaterialen en -methoden maar ook de verwerkings- en montagetechnieken zijn de afgelopen decennia sterk veranderd. De huidige standaarden voor de afwerking van woning- en commerciële bouw en daarmee ook van de leidingwaterinstallatie zijn daarmee ook anders. Denk aan de droge afwerking met profielen en gipsplaten, geluids- en warmte-isolatie van steenwol of synthetische materialen, verlaagde plafonds met hoge warmtebelastingen maar ook aan de voorwandtechniek en schachten met veel holle ruimtes. Al deze veranderingen hebben ertoe geleid dat de montagetechnieken efficiënter zijn. Tegelijkertijd wordt warmtapwater echter via wijdvertakte leidingnetten naar elk denkbaar tappunt gevoerd. Alleen op die manier kan aan de toegenomen comforteisen worden voldaan. Door de hydraulische inregeling wordt daarbij microbiële groei in alle warmtapwatertrajecten voorkomen door een temperatuur van 65 °C/60 °C aan te houden.

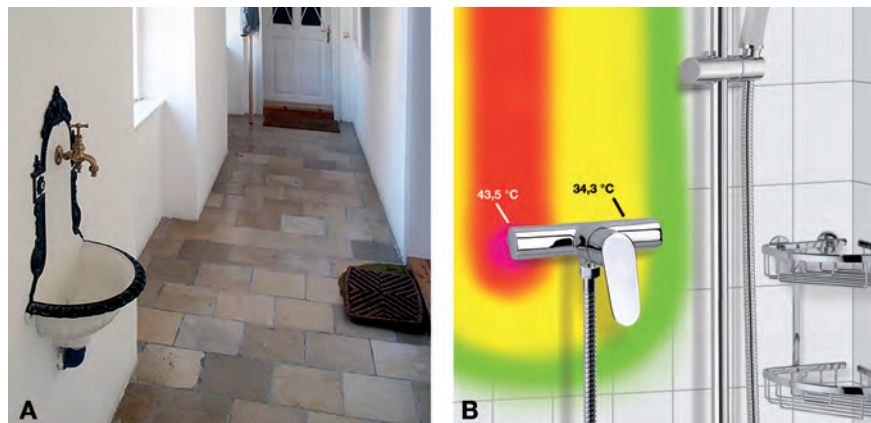
### ■ KWALITEIT LEIDINGWATER

Toch heeft de bouw- en installatiesector ondanks alle knowhow van instituten en organisaties de hygiëne en daarmee het

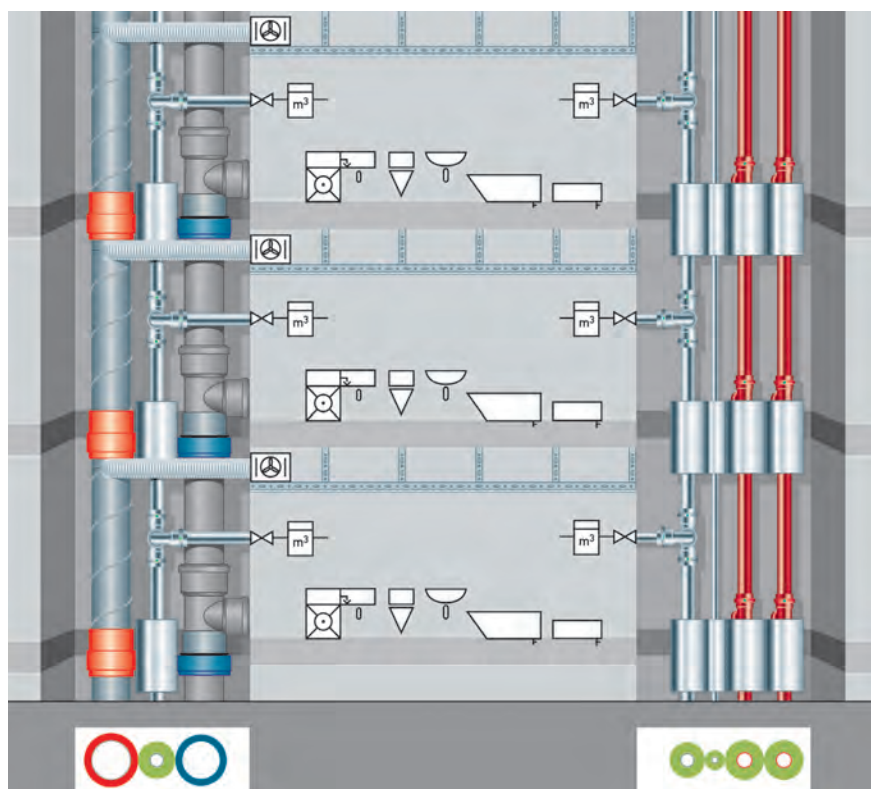
behoud van de leidingwaterkwaliteit op veel plaatsen nog niet in de hand. Jaarlijks zijn kritische ervaringen hoorbaar van bijvoorbeeld verzorg- en verpleeghuizen die last hebben van kiemvorming door onder meer legionella en/of pseudomonas aeruginosa. Die kiemvorming doet zich in toenemende mate voor in leidingsystemen voor koud drinkwater. De vraag dringt zich op waardoor dat wordt veroorzaakt. Om te beginnen worden er regelmatig watertemperaturen van meer dan 25 °C (na stagnatie, bijv. na 8 uur) aan de tappunten vastgesteld. Dat wijst erop dat de warmtebelasting in schachten en verlaagde plafonds te hoog is dan wel de koudwaterleiding thermisch onvoldoende is ontkoppeld. Aan de andere kant worden er ook steeds meer gevallen bekend van warmwateraansluitingen die onderdeel zijn van een circulatiecircuit en voor ontoelaatbare continue temperaturen van > 25 °C in de tappunten zorgen. Dat heeft ook gevolgen voor de koudwateraansluiting (zie fig.1/B). Uit praktijkgevallen blijkt al dat zulke installatiefouten een groot aantal microbiële verontreinigingen veroorzaken.

### ■ ONDERZOEK

Om de mogelijke samenhang hiertussen gemotiveerd te kunnen bewijzen, werd de temperatuurontwikkeling van koud- en warmwaterleidingen in geïsoleerde voorwanden en plafonds als ook van armaturen door het laboratorium van het Duitse Viega recent



-Figuur 1- Vroeger: verdiepingskraan tappunt op etage (A); tegenwoordig: ongewenste opwarming van drinkwater door een warmwateraansluiting, die in het circulatiecircuit is opgenomen (B)



-Figuur 2- Toekomst: gescheiden schachten (koud/warm) beschermen tegen ongewenste warmteoverdracht en daarmee tegen kritische temperatuuroenname tot > 20/25 °C

onderzocht en beoordeeld. De resultaten hiervan worden hierna gepresenteerd met de bedoeling dergelijke gebreken te voorkomen door leidingwaterinstallaties in de toekomst hygiëne-bewuster te ontwerpen. Daarnaast kan voor toekomstige regelgeving met deze uitkomsten rekening worden gehouden.

### LEIDINGEN IN SCHACHTEN

Wie de weg van de drinkwaterleiding vanaf het leveringspunt volgt, komt ongetwijfeld bouwkundige of installatietechnische feiten tegen, die met name tijdens stagnatietijden zorgen voor verwarming van leidingen. Zo is een centrale technische ruimte met hoge warmtebelastingen begrijpelijkerwijs geen geschikte plaats voor de hoofdverdeling van de drinkwaterinstallatie. Waar kelderverdeelingsleidingen in

onverwarmde ruimtes doorgaans niet kritisch zijn als het om ongewenste opwarming gaat, geldt voor (installatie)omgevingen met hoge warmtebelastingen het tegenovergestelde.

In paragraaf 4.2.3 van ISSO-publicatie 55.1 staat de aanbeveling 'niet boven 20 °C'. In de praktijk is dat echter slechts zelden realiseerbaar. Met de bouwtechniek moet in ieder geval worden uitgegaan van de in de regelgeving verankerde 25 °C als maximumtemperatuur. Daarmee geldt voor een hygiënebewust ontwerp dat beperkingen die door de bouwtechniek worden ingegeven, zoveel mogelijk moeten worden vermeden. Als begin van een oplossing om de drinkwaterkwaliteit te behouden toont figuur 2 schematisch de gescheiden aanvoer- en afvoerleidingen in 'koude' en

*Installatieschachten voor drinkwaterleidingen moeten zo worden ontworpen en gebouwd, dat een drinkwatertemperatuur van 25 °C (aanbeveling: niet boven 20 °C) niet overschreden wordt. Drinkwaterleidingen moeten zo worden ontworpen en gebouwd, dat ze van te warm wordende leidingen thermisch ontkoppeld zijn. Indien noodzakelijk moet een ruimtelijke scheiding worden doorgevoerd. Zie ook ISSO-publicatie 55.1.*

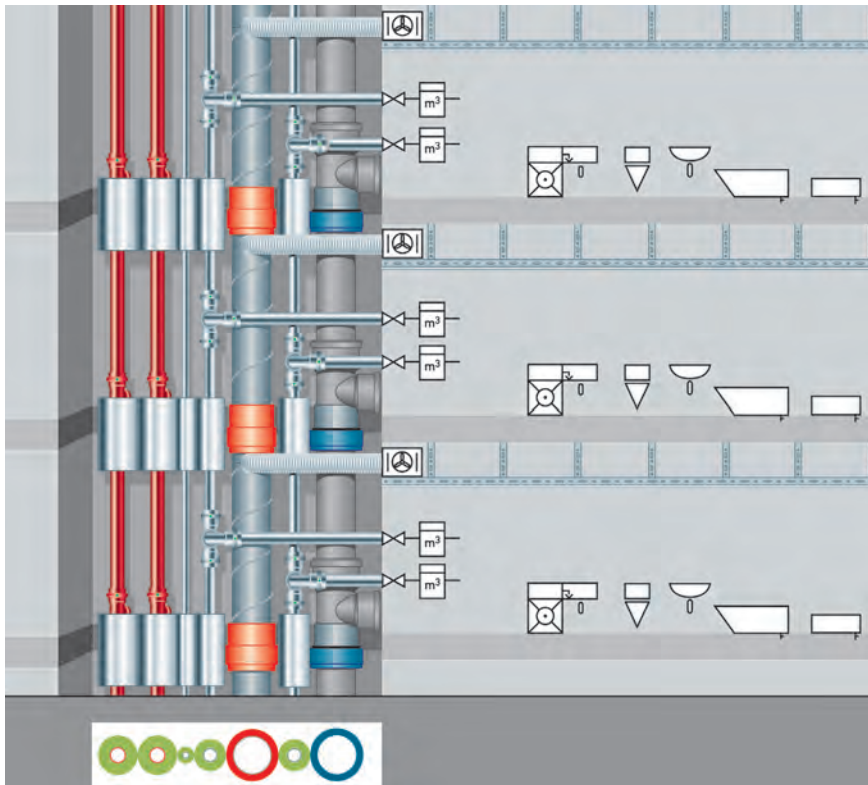
'warme' schachten. Helaas is er bij architecten in de bouwpraktijk niet altijd de bereidheid om planmatig voorwaarden te stellen aan de bouwtechniek. Er zijn nog wel vele jaren nodig om architecten ervan te overtuigen dat zulke oplossingen nodig zijn om de menselijke gezondheid te beschermen. Integrale ontwerpconcepten maar ook de toenemende inzet van Building Information Modelling (BIM) zullen daaraan zeker bijdragen.

### ONTWERPCONCEPTEN

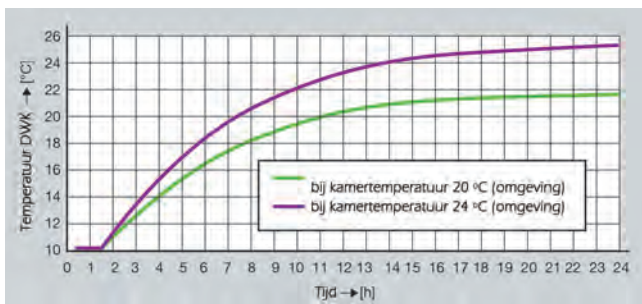
Om toch ook bij de huidige bouwpraktijk de drinkwaterkwaliteit zo goed mogelijk te behouden, moeten nu al ontwerpconcepten ontwikkeld worden. Met deze concepten moet ook bij gebruikelijke schachtsituaties een maximaal toelaatbare bedrijfstemperatuur kunnen worden aangehouden.

Figuur 3 laat een schachtsituatie zien met gemengd geïnstalleerde leidingen van links naar rechts: verwarming retour en aanvoer Cu 35 x 1,2 mm; warmtapwater retour roestvaststaal 15 x 1,5 mm; warmtapwater roestvrijstaal 28 x 1,2 mm; afvoer ventilatielucht staal/ommanteld DIN 100; drinkwater koud roestvaststaal 28 x 1,2 mm; afvalwater PVC DN 100; 100 % isolatie van de drinkwateraanvoerleiding volgens DIN 1988 - 200 (Rockwool RS 800).

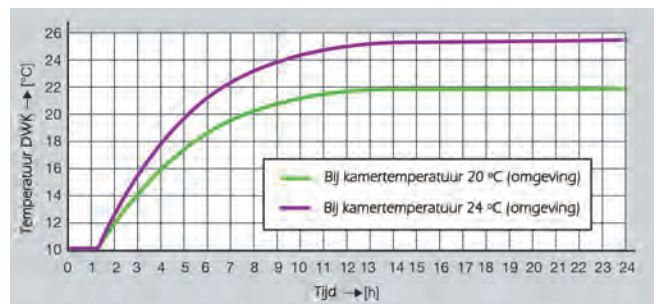
Bij deze indeling moet de ontwerper weten met welke temperatuurverhoging van het koudwatertraject rekening moet worden gehouden na bijvoorbeeld 8 van de 24 uur stagnatietijd. Daartoe werd de schachtsituatie van figuur 3 aan een simulatie onderworpen volgens de eindige deeltjesmethode (Finite Element Method – FEM). Daarmee werd ook een thermische analyse van de warmtegeleiding-differentiaalvergelijking volgens Fourier uitgevoerd. Als resultaat lagen de gemiddelde waarden voor de opwarming van de koud drinkwaterleiding in gecombineerde schachten lager dan verwacht. De warmteabsorptie van de ommantelde oppervlakken en daarmee de ruimtetemperatuur van de omgeving hadden



-Figuur 3- Heden: all-in one schacht als model voor een thermische analyse volgens FEM



-Figuur 4- Temperatuurverloop van een drinkwaterinstallatie in de schacht met 100% isolatie bij omgevingstemp. van 20 °C (groen) resp. 24 °C (violet)



-Figuur 5- Temperatuurverloop van een drinkwaterinstallatie in de schacht met 50% isolatie bij omgevingstemp. van 20 °C (groen) resp. 24 °C (violet)

een belangrijke invloed op de temperatuurontwikkeling. Dat zorgde uit het oogpunt van drinkwaterhygiëne voor een gemiddelde temperatuurverhoging van 2 tot 3 graden Celsius. Het simulatiemodel is daarbij gebaseerd op een schachtachterwand van kalkzandsteen (24 cm) en een voorzijde van tweelagen gipsvezelplaat. Alternatief werd de temperatuurontwikkeling doorgerekend met omgevingstemperaturen van 20 °C (bijv. voor woonvertrekken) en 24 °C (voor natte ruimten) gerekend.

Daarbij bereikt koud drinkwater met ingangstemperatuur 10 °C volgens figuur 4 het 20 °C-peil na 11 uur (woonvertrek) respectievelijk 7 uur (natte ruimte). De hygiëne-kritische 25 °C-grens werd alleen bij een omgevingstemperatuur van 24 °C na 19 uur stagnatie bereikt. Met halve isolatiedikten worden de periodes op 7,5 resp. 12 uur terug gebracht (fig.5). Een grotere isolatiedikte zorgt dan ook alleen voor vertraging, maar lost het probleem niet op. Een

eerste uitkomst daarvan: gebruikelijke stagnatietijden van maximaal 8 uur (van 10 uur 's avonds tot 6 uur 's ochtends) blijven daarmee voor het aanhouden van de drinkwatertemperaturen in zulke schachten onkritisch. In de praktijk zal dit sterk worden beïnvloed door hogere ingangstemperaturen van het drinkwater dan 10 °C, hogere omgevingstemperaturen ('s zomers) en hogere temperaturen dan 70 / 55 °C voor verwarming en 65 / 60 °C voor warm- en koud water, die bij voorbeeld vaak in klinieken worden aangetroffen. Daarnaast is onderzocht wat de invloed op de temperatuurontwikkeling is wanneer de afzuigleiding zich niet in de schacht bevindt en de schacht daardoor ook kleiner is. Dit bleek geen noemenswaardige invloed te hebben.

### LEIDINGEN IN VERLAAGDE PLAFONDS

Met name in klinieken en vergelijkbare instellingen met veel technische installaties

staan horizontale verdeellicingen bloot aan de warmteafgifte van de vele buis- en elektroleidingen, plafond- en ingebouwde halogeenverlichting. In ruimtes waarin veel halogeenlampen worden gebruikt, kunnen deze naar schatting meer dan 50 % van de warmtelast veroorzaken. Alleen al daarom kan beter gebruik worden gemaakt van LED-techniek. Omdat in behandlungs- en verzorgingsruimten een temperatuur tot 26 °C is ingesteld, zijn temperaturen van > 30 °C in verlaagde plafonds eerder regel dan uitzondering. Ieder leidingtraject in verlaagde plafonds is individueel. Omdat standards ontbreken werd geen simulatiemodel, maar een eenvoudige testopstelling gebruikt voor het bepalen van de meetwaarden (zie fig.6). Daarvoor werden onder laboratoriumomstandigheden in een gesloten horizontale schacht roestvaststalen buizen 28 x 1,2 mm met 100 % isolatie geïnstalleerd. Vervolgens werd de ontwikkeling van de drinkwatertemperatuur na stagnatie bij verwarmde lucht (35 °C in vrije convectie) gemeten. De ingangstemperatuur bij het begin

van de stagnatie bedroeg hier 14 °C. Hieruit werd duidelijk, dat deze installatiegebieden veel kritischer zijn dan het schachtmodel van figuur 3. Het 20 °C-peil was zelfs al na uur overschreden en na 2 uur al het 25 °C-peil. Bij ingangstemperatuur hoger dan 14 °C, zoals vaak in omvangrijke installaties voorkomt, worden deze kritische temperaturen nog sneller bereikt. Na enkele uren stagnatie wordt een drinkwatertemperatuur van 20 °C / 25 °C zonder technische hulpmiddelen, zoals spoelsystemen, al snel overschreden. Als alternatief kan worden gekozen voor een afzonderlijk drinkwaterleidingtraject, bij voorbeeld in de vloerconstructie – voor zo ver dat bouwkundig mogelijk is.

### AANSLUITLEIDINGEN

De temperatuur in leidingwaterinstallaties van utiliteitsgebouwen, zoals ziekenhuizen of bejaarden- of verpleeghuizen, is niet alleen een kwestie van leidingtrajecten in



muren en plafonds, maar ook van tappunten. Infraroodopnamen van wandarmaturen met warmwateraansluiting kort op het circulatiesysteem, laten zien dat het armatuur een oppervlaktetemperatuur van 43,5 °C bereikt (zie fig. 7). Door de warmtegeleiding van het messing armatuurlichaam wordt de drinkwateraansluiting al na korte stagnatietijd aanzienlijk verwarmd en wel tot op 34,3°C. Met het armatuurvet als biologisch beschikbare koolstof kan een kraanarmatuur dan ook direct worden 'bebroed'. Met name wandarmaturen moeten daarom aan de warmwateraansluiting worden aangesloten door middel van koeltrajecten - met warmtestroom van boven naar beneden.

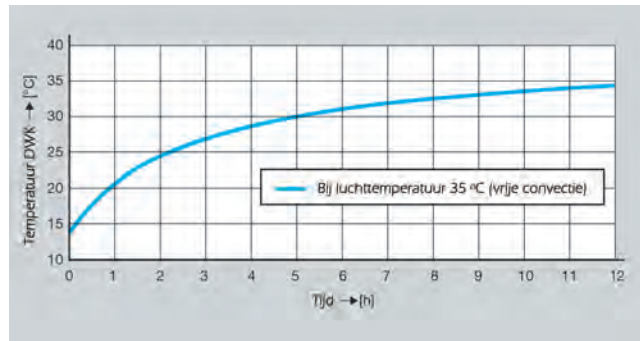
Bij het ontwerp van installaties met een zo goed mogelijke drinkwaterkwaliteit wordt de laatste jaren iedere vorm van aftakleidingen vermeden om deze zoveel mogelijk op te nemen in de warmwatercircuit. Die ontwerpdoelstelling lijkt het doel voorbij te schieten. Een koeltraject naar een aftappunt verlengt weliswaar de warmwaterwachtijd minimaal, maar brengt geen verhoogd risico op microbiële groei met zich mee. Dat bevestigen ook deskundigen op het gebied van drinkwaterhygiëne. De achtergrond: door minstens binnen 3 of 7 dagen aan het tappunt water van 55 respectievelijk 60 graden te tappen, is de kans op een microbiële belasting van het koeltraject dan wel de warmwateraansluiting zo goed als geëlimineerd.

Volledig anders is het daarentegen bij de koudwateraansluiting. Die heeft niet deze regelmatige thermische desinfectie zodat, zelfs bij regelmatig gebruik, microbiële belasting kan ontstaan. De gevolgen kunnen fataal zijn. Onder experts groeit het inzicht dat dergelijke installatiegebreken alleen te herstellen zijn door bouwkundige veranderingen - dus het achteraf installeren van afkoeltrajecten. De schade loopt daarbij, al naar gelang de installatiegrootte en de benodigde tijd voor aanpassingen, al gauw in de miljoenen.

## ■ CORRECT BEPALEN LENGTE AFKOELTRAJECTEN

Over het correct bepalen van de lengte van afkoeltrajecten lopen de opvattingen uiteen. In de bouwpraktijk blijkt het door de vele variabelen bovendien vaak lastig om simulatieberekeningen uit te kunnen voeren. Om praktische ontwerpbevelingen te kunnen doen, werd ook hier een testopstelling in voorwandtechniek met diverse lengten koeltrajecten opgebouwd (zie fig. 8). Voor de proefopstelling werden vier wastafel-voorwandelementen tegen een kalksteen muur gemonteerd. De installatie van het warm- en koudwatercircuit werd binnen de voorwandelementen uitge-

-Figuur 6-  
Temperatuurverloop  
van een  
drinkwaterverdeel-  
leiding  
in een verlaagd plafond

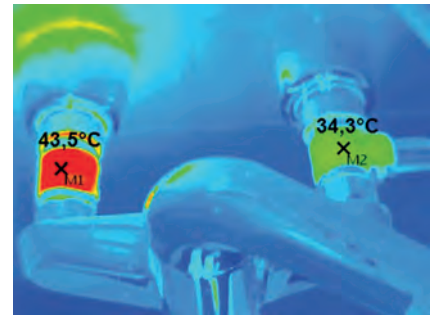


voerd met koperbuis 15 x 1 mm en geïsoleerd. Tot op de aansluiting van armatuur 4 in figuur 8 werden alle afkoeltrajecten eveneens met koperen buisleiding uitgevoerd. De koudwater-serieleiding werd met PE-X/AL/PE-X buis uitgevoerd. De voorwandsystemen werden bekleed met gipsplaat. Alle meetpunten werden voorzien van temperatuurvoelers en verbonden met een datalogger.

De meetresultaten uit deze testconstructie (fig. 9 en tabel 1) spreken voor zich. Hierbij moet worden opgemerkt dat de temperatuur van het warmwatercirculatiecircuit enkele graden lager is dan voorgeschreven in NEN 1006:2015. De waarden van armatuur 1 (zonder afkoeltraject) met 43,9 °C/ 28,0 °C bevestigen de praktijkervaringen met de thermografische metingen uit afbeelding 7. De meetresultaten aan de andere armaturen in de testconstructie maken duidelijk dat het toegepaste materiaal (PE-X/AL/PE-X) en de lengte van de afkoeltrajecten (> 8 x DN) weliswaar van invloed zijn, maar niet voor een verhoging boven de kritische temperatuur zorgen. Dit in tegenstelling tot de doorstromend aangesloten armatuur op de warmtapwater circulatieleiding.

De proeven werden niet alleen met gewone (ongeïsoleerde) voorwand uitgevoerd, maar ook met steenwol opgevulde voorwand zoals dat vaak in de praktijk wordt ingezet voor geluidisolatie. Hier deden zich geen relevante afwijkingen voor. De meetresultaten werden daarom niet afzonderlijk opgevoerd.

Een ander aspect van de bouwpraktijk blijft hierbij buiten beschouwing: juist in droge bouwmuren (bijvoorbeeld hollewanden) is het gebruikelijk om uit oogpunt van geluidisolatie deze volledig op te vullen met minerale isolatieplaten. Wanneer daarin ook parallel aan elkaar de koud- en warmwateraansluitingen met onvoldoende afstand tot elkaar lopen, dan ontstaat er ondanks de leidingisolatie toch over de volledige leidinglengte een lokale ophoping van warmte. Dat is ook al in een groot aantal thermografieën bevestigd. Zonder de geluidisolatie, dus in een 'lege' droge bouwmuur, zouden de muuropervlakken de warmtelast sterker absorberen (FEM-simulatie). Daardoor wordt bij deze



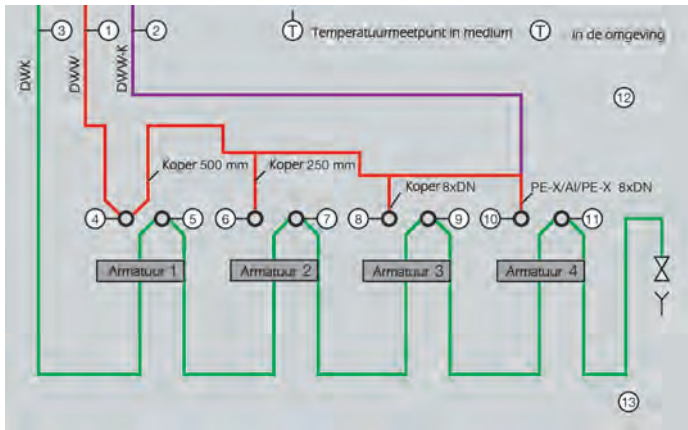
-Figuur 7- Thermografie van een wandarmatuur – door de warmwateraansluiting, die hier in het circulatiecircuit werd opgenomen, vindt via het armatuur een massieve warmteoverdracht plaats op de drinkwateraansluiting – in dit geval tot op de hygiëne-kritische temperatuur van 34,3 °C

over de volle lengte de warmte afgegeven. De koudwateraansluiting van het armatuur wordt in zulke gevallen niet opgewarmd via het armatuur. Dat verklaart ook het verschil van de TY5-waarde (28 °C) van 6,3 K ten opzichte van de praktijkproef (geluidgedempte droge bouwmuur/ thermografie/ fig.7).

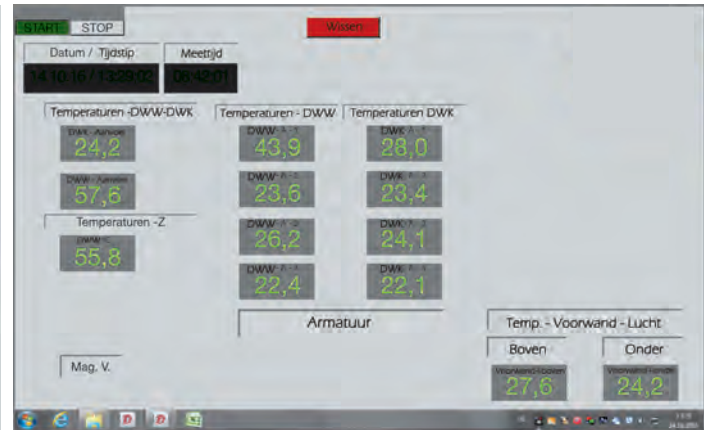
Op grond van deze resultaten wordt dan ook dringend afgeraden om warmwatercirculatieleidingen van boven naar beneden te trekken via (gips)installatiewanden. De lengte van het warmwater-koeltraject wordt in dit geval echter wel 1 tot 2 m langer waardoor ook de warmwaterwachtijd langer wordt (2 tot 3 s). Een verhoogd hygiënerisico hoeft bij een kleine lengte (bijvoorbeeld van 8 tot 10 x DN) niet te worden verwacht. Verder ontheft het kortere koeltraject de beheerder uiteraard niet van de verplichting om het armatuur te gebruiken waarvoor het bedoeld. De korte maar afdoende afkoeltrajecten doen verder geen afbreuk aan het comfort: zelfs de comfortabelste warmwaterwachtijd van 10 s wordt over het algemeen gehaald.

## ■ SAMENVATTING

De kwaliteit van het drinkwater -van leveringspunt tot laatste tappunt- wordt door ongewenste opwarming, die microbiële groei aantoonbaar bevordert, aan gevaar blootgesteld. Daarom moet voor de verschillende deeltrajecten (schachten, verlaagde plafonds,

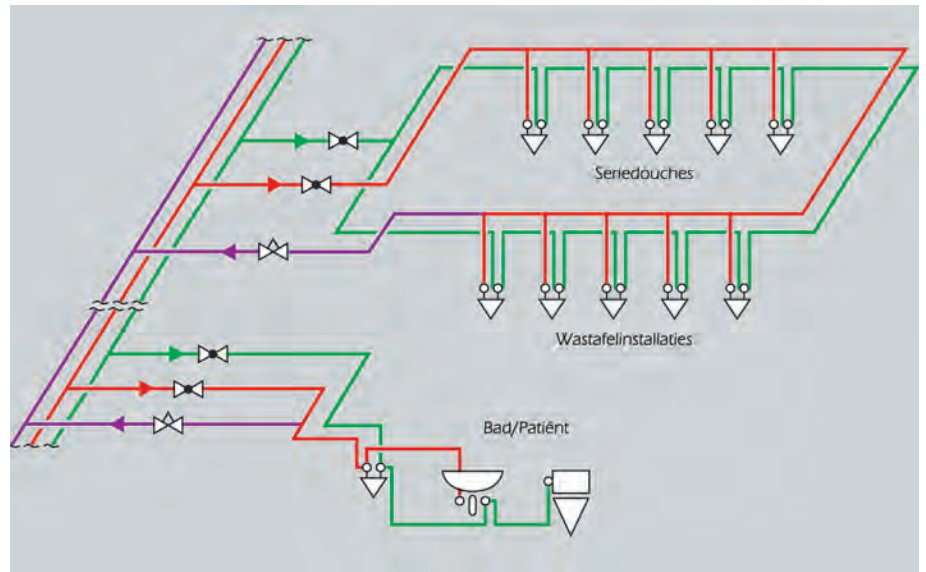


-Figuur 8- Schema van een testopstelling met diverse afkoeltrajecten



-Figuur 9- Screenshot van PC-scherm van de datalogger van 14.10.16; 13:59 uur

gipswanden, kelderruimte, etc.) de risico's voor het behoud van de drinkwaterkwaliteit afzonderlijk worden beoordeeld. Elk van deze installietrajecten is, afhankelijk van de bouwkundige omstandigheden, blootgesteld aan uiteenlopende hoge warmtelasten. Omdat opwarming in het ene traject gevolgen heeft voor de overige trajecten, wordt aangeraden om alle maatregelen te nemen die ongewenste opwarming over het volledige leidingtraject helpen voorkomen. In het algemeen geldt dat met name horizontale verdeelleidingen in verlaagde plafonds aan hoge warmtebelastingen bloot worden gesteld. Daarom moeten deze leidingen zoveel mogelijk tegen ongewenste opwarming worden beschermd. Doelmatige maatregelen zijn het aanbrengen van isolatie met een dikte die gelijk is aan die van de leiding, aanpassing van het leidingtraject buiten de kritische omgeving en het inzetten van spoelsystemen die temperatuur-afhankelijk zorgen voor gecontroleerde waterverversing. Bij het ontwerp kan daarnaast worden bijgedragen voor zo klein mogelijke buisdiameters te selecteren. Daarbij moet wel rekening worden gehouden met randvoorwaarden die gelden voor bijvoorbeeld de hydraulische balans, waterslag en geluid. Verder moeten warmwatertappunten nooit direct via een dubbele muurplaat (doorstromend) in het circulatiecircuit worden opgenomen. Deze moeten met behulp van een koeltraject worden aangesloten. De lengte hiervan werd in Duits onderzoek voor het temperatuurtraject van 60 °C / 55 °C bepaald. Voor Nederlandse installaties en Nederlandse regelgeving met temperatuurtrajecten van 65 °C / 60 °C, is nader onderzoek op zijn plaats. Bij parallel geïnstalleerde aansluitleidingen in droge bouwmuren met isolatie wordt aanbevolen om de koeltrajecten aanzienlijk te verlengen. Voor nieuwe ontwerpen wordt aangeraden om dergelijke warmwateraansluitleidingen niet op te nemen in het circulatiecircuit (zie fig.10).



-Figuur 10- Hygiënebewust ontwerp- voorbeeld van een leidingwaterinstallatie met horizontale verdeelleiding in verlaagd plafond zonder warm- en koudwaterleiding in de gipswanden

Meting	Afkoeltraject (Lengte)	Meetpunt [Nr.]	Temperatuurwaarde [°C]
DWW-Aanvoer		T1	57,6
DWW-K-Retour		T2	55,8
DWK-Aanvoer		T3	24,2
DWW-Armatuur 1		T4	43,9
DWK-Armatuur 1		T5	28,0
DWW-Armatuur 2	Koper / 250 mm	T6	23,6
DWK-Armatuur 2		T7	23,4
DWW-Armatuur 3	Koper / 8xDN	T8	26,2
DWK-Armatuur 3		T9	24,1
DWW-Armatuur 4	PE-X/Al/PE-X 8xDN	T10	22,4
DWK-Armatuur 4		T11	22,1
Temp. Voorwand (boven)		T12	24,2
Temp. Voorwand (onder)		T13	27,6
Datum: 14.10.16	Tjdstip : 13:29		

-Tabel 1- Ongewenste opwarming: zoals te verwachten is de warmteoverdracht aan armatuur 1 (fig.8) op grond van het ontbrekende afkoeltraject kritisch. De verschillende lengtes en materialen van de afkoeltrajecten aan de armaturen 2, 3 en 4 zijn van invloed op een al dan niet voldoende thermische ont koppeling.