

KWR 2019.021 | Februari 2019

Aquathermie in Tilburg: warmte en koude uit drinkwater

Evaluatie TED-installatie bij Fontys
Hogeschool

Aquathermie in Tilburg: warmte en koude uit drinkwater

Evaluatie TED-installatie bij Fontys Hogeschool

KWR 2019.021 | Februari 2019

Opdrachtnummer

401385

Projectmanager

ir. F.I.H.M. (Frank) Oesterholt

Opdrachtgever

Brabant Water

Kwaliteitsborgers

dr. ir. E.J.M. (Mirjam) Blokker (energetisch deel)
prof. dr. G.J. (Gertjan) Medema (microbiologisch deel)

Auteur(s)

ir. A. (Andreas) Moerman
dr. ir. N. (Nikki) van Bel
dr. L.J.P. (Laura) Snip MSc

Verzonden aan

dhr. V. (Vincent) de Laat

Deze activiteit is mede gefinancierd uit de Toeslag voor Topconsortia voor Kennis en Innovatie (TKI's) van het ministerie van Economische Zaken.

Jaar van publicatie
2019

Meer informatie

ir. F.I.H.M. (Frank) Oesterholt
T 030 6069 575
E frank.oesterholt@kwrwater.nl

Postbus 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511
F +31 (0)30 60 61 165
E info@kwrwater.nl
I www.kwrwater.nl

The logo for KWR (Knowledge and Water Research Institute) features the letters 'KWR' in a bold, blue, sans-serif font. The 'K' and 'W' are connected, and the 'R' is slightly separated. The letters are dark blue.

KWR 2019.021 | Februari 2019 © KWR

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Inhoud

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Inleiding | 4 |
| 1.1 | Aanleiding | 4 |
| 1.2 | Doel onderzoek KWR | 4 |
| 1.3 | Betrokken partijen | 4 |
| 1.4 | Verklarende woordenlijst | 5 |
| 2 | Onderzoeksvragen | 7 |
| 2.1 | Reikwijdte temperatuurverandering | 7 |
| 2.2 | Effect op microbiologische parameters | 7 |
| 3 | Methoden | 13 |
| 3.1 | Metingen TED-installatie en controle van aangeleverde gegevens | 13 |
| 3.2 | Hydraulisch model Tilburg | 14 |
| 3.3 | Model voor temperatuur in drinkwaterleidingen | 15 |
| 3.4 | Onzekerheidsanalyse watertemperatuurmodel | 18 |
| 3.5 | Monitoring water en biofilm warmtewisselaar | 20 |
| 3.6 | Biomassa Productie Potentie (BPP) | 27 |
| 4 | Resultaten reikwijdte temperatuurverandering | 29 |
| 4.1 | Reikwijdte temperatuurverandering | 29 |
| 4.2 | Onzekerheidsanalyse watertemperatuurmodel | 36 |
| 5 | Resultaten effect microbiologie | 38 |
| 5.1 | Biomassa productie potentie van het materiaal in de warmtewisselaar | 38 |
| 5.2 | Microbiologische monitoring van de warmtewisselaar | 39 |
| 6 | Discussie | 52 |
| 6.1 | Reikwijdte temperatuurverandering | 52 |
| 6.2 | Effect op microbiologische parameters | 54 |
| 7 | Conclusies | 58 |
| 7.1 | Reikwijdte temperatuurverandering | 58 |
| 7.2 | Effect op microbiologische parameters | 59 |
| 8 | Aanbevelingen | 60 |
| 8.1 | Reikwijdte temperatuurverandering | 60 |
| 8.2 | Effect op microbiologische parameters | 61 |
| | Literatuur | 62 |
| | Bijlage I Warmtegeleidings coëfficiënten leidingmaterialen | 65 |

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In 2015 vond in Parijs de klimaatconferentie van Parijs plaats. Het daaruit volgende Parijs-akkoord verplicht de deelnemende landen om de totale CO₂-emissie terug te brengen en zodoende te voorkomen dat de aarde in de komende decennia gemiddeld meer dan 2°C zal opwarmen. Deze verplichting stimuleert de energietransitie van fossiele naar duurzame energiebronnen. Het verduurzamen van de warmte- en koudevraag voor de gebouwde omgeving speelt een grote rol in deze energietransitie. Hierbij wordt enerzijds ingezet op het duurzamer produceren van warmte door bijv. geothermie, anderzijds op het inzetten van restwarmte en -koude. De grootste uitdaging is het transport van deze thermische energie. De hiervoor benodigde infrastructuur is duur in aanleg en vanwege de langere terugverdientijden lastig te financieren. Daarnaast wordt er door de afnemer om een zekere mate van gegarandeerde leveringszekerheid gevraagd.

Het drinkwaterdistributienet is een reeds beschikbare infrastructuur waar drinkwater doorheen stroomt, met als primair doel het leveren van veilig en betrouwbaar drinkwater. Tijdens het transport van pompstation naar eindgebruiker wisselt het drinkwater thermische energie uit met de bodem waardoor het leidingnet secundair ook te beschouwen is als collector van duurzame (bodem)energie. Omdat het water door het leidingnet stroomt is er sprake van warmtetransport door het drinkwater. Deze warmte kan ook uit het drinkwater gewonnen worden door gebruik te maken van een warmtewisselaar. Er wordt dan gesproken over thermische energie uit drinkwater (TED). De eventuele benutting van TED als secundaire functie van het drinkwaternet roept de vraag op of deze secundaire functie kan bestaan naast de primaire functie (veilig en betrouwbaar drinkwater leveren) en zo ja, onder welke voorwaarden.

Binnen het Bedrijfstakonderzoek (BTO; themagroep Klimaatneutrale Waterketen) zijn gedurende de periode 2013 – 2017 diverse studies uitgevoerd waarin een inschatting is gemaakt van de beschikbare thermische energie uit drinkwater (TED). Deze theoretische studies hebben de potentie van TED aangetoond. In de pilot TED-installatie van Hydreco B.V. (Brabant Water) bij de Fontys Hogeschool in Tilburg zijn diverse metingen en onderzoeken gefaciliteerd. Er is behoefte om aan de hand van deze pilot te komen tot meer gekwantificeerde kaders waarbinnen TED toegepast kan worden.

1.2 Doel onderzoek KWR

In dit onderzoek zijn de effecten van een TED-installatie in het drinkwaterdistributienet onderzocht. Daarbij zijn in acht genomen (1) de reikwijdte van de opgelegde temperatuurverandering en (2) de eventuele risico's ten aanzien van de microbiologische waterkwaliteit ter plaatse van de TED-installatie.

1.3 Betrokken partijen

Het TKI-project 'Warmte/koude uit drinkwater' is een samenwerking van Brabant Water, Hydreco, Fontys Hogeschool, Technische Universiteit Eindhoven en KWR. In dit project is een thermische koppeling (warmtewisselaar) tussen drinkwaternet en een Warmte Koude Opslag (WKO) installatie gerealiseerd. De energie uit het drinkwaternet wordt afgenomen door Fontys Hogeschool. Hydreco is exploitant van de bestaande WKO van

Fontys Hogeschool en heeft ook de TED-installatie in beheer. Brabant Water houdt toezicht op de mogelijke effecten op het drinkwater. Binnen het project heeft KWR de effecten op temperatuur en microbiologische parameters onderzocht. Dit onderzoeksdeel wordt gefinancierd vanuit TKI Watertechnologie. Dit rapport beschrijft alleen de resultaten van dit onderzoeksdeel.

Parallel aan dit traject wordt door Brabant Water samengewerkt met de Technische Universiteit Eindhoven (TU/e) in een industrieel onderzoek. Daarin wordt gezocht naar innovatieve technologische oplossingen om TED op kleinere schaal mogelijk te maken. Daardoor zal TED niet alleen op grote transportleidingen met forse doorstroming ingezet kunnen worden, maar kan de uitwisseling van thermische energie met een passende techniek ook op kleinere distributieleidingen toegepast worden. De bedoeling daarvan is dat TED voor meer afnemers beschikbaar kan zijn, waarbij ook kleinere warmtevragen tot een rendabele business case kunnen leiden. Het onderzoek van de Technische Universiteit Eindhoven is niet beschreven in dit rapport.

Tabel 1-1 Overzicht van de deelnemers in het project

| Naam deelnemer | Rol in project |
|--|-------------------------------|
| Brabant Water N.V. (Penvoerder) | Ontwikkelaar |
| Hydreco B.V. (dochteronderneming Brabant Water N.V.) | Leverancier warmte |
| Fontys Hogeschool | Eindgebruiker, afnemer warmte |
| KWR | Onderzoek |
| Technische Universiteit Eindhoven | Ontwikkeling TED concepten |

1.4 Verklarende woordenlijst

Ter ondersteuning van het begrip van dit rapport zijn hieronder enkele verklaringen van gebruikte termen/definities gegeven.

| | |
|-----------------------|---|
| Primair circuit/zijde | Onderdeel van het TED-systeem dat warmte of koude via een warmtewisselaar aan een warmtenet (secundair circuit/secundaire zijde) levert. In het geval van een TED is het primaire circuit het (drink)waternet. |
| TED | Thermische energie uit drinkwater. Een TED-systeem is een installatie die netto warmte uit het drinkwater onttrekt of daar warmte aan afgeeft. Deze warmte is meestal (al dan niet via een systeem van warmte en koudeopslag in de bodem; WKO) bestemd voor de verwarming of koeling van één of meerdere gebouwen. Door deze uitwisseling van thermische energie is voor de verwarming of koeling van het gebouw minder primaire of fossiele energie nodig (Bloemendal <i>et al.</i> , 2018). |
| Warmtewisselaar | Ook wel TSA ('Tegenstroomapparaat') genoemd. Apparaat waarmee twee media via een fysieke scheiding in tegenstroom |

warmte uitwisselen. Bij toepassing van TED wordt uitgegaan van een RVS platenwarmtewisselaar.

WKO

Warmte en Koude Opslag; bodemsysteem waarbij gedurende het zomerseizoen warmte opgeslagen wordt in een watervoerende laag ('acquifer') in de bodem door infiltratie van opgewarmd water. Deze warmte wordt in de zomer gewonnen via een verdelingssysteem in gebouwen. Doordat het gebouw (via dit verdeelsysteem) warmte afgeeft aan de WKO wordt het gebouw gekoeld. Deze opgeslagen warmte wordt in de winter weer gebruikt voor verwarming, waarbij de bodem weer gekoeld wordt. Dit principe herhaalt zich ieder seizoen.

Warmtepomp

Systeem om via een cyclus van verdamping en condensatie van een bepaald medium warmte te transporteren. Voor het aandrijven van de compressor is elektrische energie nodig. De verhouding tussen de getransporteerde energie (warmte) en de benodigde arbeid (elektrische energie) wordt uitgedrukt in de COP (Coefficient of Performance).

2 Onderzoeksvragen

2.1 Reikwijdte temperatuurverandering

Bij de pilot installatie TED Fontys Hogeschool wordt in de zomer middels een warmtewisselaar warmte onttrokken aan het drinkwaterleidingnet. Deze warmte wordt toegevoegd aan de WKO bij Fontys Hogeschool, om vervolgens in de winter benut te worden voor gebouwverwarming middels een warmtepomp. Zonder de toepassing van de TED-installatie in de zomer is de WKO van Fontys Hogeschool in onbalans, omdat de jaarlijkse warmtevraag groter is dan de jaarlijkse koudevraag.

Door de onttrekking van warmte aan het primaire circuit daalt de temperatuur van het drinkwater ter plaatse van de warmtewisselaar. Dit kunstmatig geïnitieerd temperatuurverschil zal benedenstrooms van de warmtewisselaar door de invloed van de bodem na een bepaalde verblijftijd in het leidingnet ongedaan gemaakt worden (Blokker en Pieterse-Quirijns, 2013). De verblijftijd is met name afhankelijk van het waterverbruik benedenstrooms van de warmtewisselaar en de warmtedoorgifte (o.a. afhankelijk van het leidingmateriaal). De vraag is (a) bij hoeveel aansluitingen daadwerkelijk drinkwater met een andere drinkwatertemperatuur geleverd wordt wanneer de TED-installatie in bedrijf is en (b) hoe groot het temperatuurverschil is op het moment dat het water (na passage van de TED-installatie) afnemers benedenstrooms van de TED-installatie bereikt.

2.2 Effect op microbiologische parameters

2.2.1 Gebruik van warmtewisselaars bij drinkwater

Aan het Nederlandse drinkwater wordt geen chloor of ander desinfectieresidu gedoseerd. Om het water microbiologisch veilig te houden en groei van (ongewenste) micro-organismen te voorkomen wordt het gehalte biologisch afbreekbare stoffen in het water zo laag mogelijk gehouden. Ook bij lage gehalten kunnen bepaalde micro-organismen, waaronder ook de zogenaamde opportunistische pathogenen, zich echter soms toch vermeerderen en zo mogelijk een gevaar opleveren voor de volksgezondheid (van der Kooij *et al.*, 2017; van der Wielen en van der Kooij, 2011; van der Wielen en van der Kooij, 2013).

Opportunistische pathogenen zijn vooral een bedreiging voor mensen met een verminderde weerstand (bijvoorbeeld ouderen, zwangeren, zware rokers, mensen met een verzwakt immuunsysteem en patiënten met medicijnen die het immuunsysteem onderdrukken). Van een aantal opportunistische pathogenen is bekend dat, onder de juiste condities, groei in het drinkwater en de biofilm in het drinkwaterdistributiesysteem mogelijk is (van der Wielen, 2014a; van der Wielen, 2014b).

De warmtewisselaar in Tilburg beïnvloedt de watertemperatuur op drie manieren: energie winning uit het drinkwater (lagere drinkwatertemperatuur), energie afstaan aan het water (hogere drinkwatertemperatuur) en stilstand van het water in de warmtewisselaar en de aan- en afvoerende leidingen (hogere drinkwatertemperatuur). Hierdoor is het risico op groei van opportunistische pathogenen mogelijk verhoogd. De watertemperatuur en de temperatuur van de biofilm op de warmtewisselaarplaten is

hoger dan normaal in het leidingnet en omdat de warmtewisselaar gedurende langere periode in bedrijf is, houdt deze hogere temperatuur langere tijd aan. Daarnaast is het oppervlak van de warmtewisselaar groot, om de warmte- en energieoverdracht te optimaliseren, maar hierdoor is er ook een groot biofilm oppervlak aanwezig waaraan zich ook opportunistische pathogenen kunnen hechten. Deze biofilm heeft mogelijk gedurende langere tijd een (constant) hogere temperatuur, waardoor eventuele opportunistische pathogenen die in de biofilm terecht komen mogelijk kunnen gaan groeien. De relatie tussen microbiële groei en een verhoogde drinkwatertemperatuur is eerder beschreven (Hofman en van der Wielen, 2015; van Bel, 2017). Tevens kunnen veranderingen in de temperatuur van het drinkwater en het materiaal van de warmtewisselaar de samenstelling van de microbiële gemeenschap in het water en de biofilm beïnvloeden, omdat verschillende bacteriën vanaf verschillende temperaturen groeien en de groeisnelheid varieert (Pinto *et al.*, 2014).

Eerder onderzoek aan twee warmtewisselaars in het drinkwaterdistributienet, in Hoogeveen en in Culemborg, heeft laten zien dat er zeer beperkte tot geen nadelige effecten zijn van een warmtewisselaar op de microbiologische drinkwaterkwaliteit als de watertemperatuur lager blijft dan 15°C (van Bel *et al.*, 2017). Verlaging van de watertemperatuur had een positief effect op de waterkwaliteit door een lager ATP-gehalte en lager koloniegetal bij 22°C. Alleen het aantal *Aeromonas* bacteriën nam toe bij een hogere watertemperatuur (wel onder de 15°C), maar de aantallen lagen nog ruim onder de wettelijke norm en *Aeromonas* is geen gevaar voor de volksgezondheid.

2.2.2 Opportunistische pathogenen in drinkwater

Eerder onderzoek naar opportunistische pathogenen in het Nederlandse drinkwater heeft inzicht gegeven in welke soorten het meeste risico geven en waar meer onderzoek naar zou moeten worden gedaan (Tabel 2-1) (van der Wielen en van der Kooij, 2009).

Tabel 2-1. Prioritering mogelijk pathogene micro-organismen voor onderzoek naar het vóórkomen in Nederlands drinkwater in relatie tot opwarming van het leidingnet (uit: (van der Wielen en van der Kooij, 2009)).

| Micro-organisme | Prioriteit |
|---|------------|
| <i>Legionella pneumophila</i> | Zeer hoog |
| Non-tuberculeuze <i>Mycobacterium spp.</i> | Hoog |
| <i>Pseudomonas aeruginosa</i> | Hoog |
| Ziekteverwekkende fungi (o.a. <i>Aspergillus fumigatus</i>) | Hoog |
| <i>Burkholderia cepacia</i> complex | Midden |
| <i>Stenotrophomonas maltophilia</i> | Midden |
| Ziekteverwekkende protozoa | Midden |
| <i>Acinetobacter baumannii</i> - <i>Acinetobacter calcoaceticus</i> complex | Laag |
| <i>Aeromonas spp</i> | Laag |
| <i>Afipia spp</i> | Laag |
| <i>Bosea spp</i> | Laag |
| <i>Chlamydia</i> -achtige bacteriën zoals <i>Simkania negevensis</i> | Laag |
| <i>Elizabethkingia meningoseptica</i> | Laag |
| <i>Helicobacter pylori</i> | Laag |
| <i>Methylobacterium spp</i> | Laag |
| <i>Yersinia enterocolitica</i> | Laag |

Op basis hiervan is bepaald welke opportunistische pathogenen gemonitord worden in dit onderzoek. Hieronder wordt een kort overzicht gegeven van de voor dit onderzoek gekozen opportunistische pathogenen die in het Nederlandse drinkwater kunnen voorkomen.

2.2.2.1 *Legionella pneumophila*

Legionella bacteriën groeien voornamelijk in aquatische milieus en hebben een complexe levenscyclus. De gezondheidskundig meest relevante soort, *Legionella pneumophila*, kan een levensbedreigende longontsteking (ook wel legionellose of veteranenziekte genoemd) veroorzaken. Jaarlijks zijn er ongeveer 250-500 gerapporteerde gevallen van deze ziekte in Nederland (RIVM, 2018). *Legionella* is een wettelijke parameter voor de microbiologische kwaliteit van het drinkwater, en wordt binnen het kader van het drinkwaterbesluit gemonitord waarbij de aantallen in het water minder dan 100 kolonie vormende eenheden (kve) per liter moet zijn.

L. pneumophila kan zich alleen vermeerderen in protozoën (eencellige dierlijke organismen) die op de biofilm in het drinkwaternet grazen. Als *Legionella* aanwezig is in de biofilm wordt deze opgegeten door de protozo. *Legionella* vermeerdert zich vervolgens in de protozo totdat deze openbarst door het grote aantal bacteriën. De bacteriën komen vrij in het water, kunnen hechten aan de biofilm en worden vervolgens weer opgenomen door een protozo (Kuiper *et al.*, 2004; Rogers *et al.*, 1994a; Rogers *et al.*, 1994b).

De optimale groeitemperatuur van *L. pneumophila* ligt rond de 37°C, maar beperkte groei in aanwezigheid van andere micro-organismen kan vanaf 30°C optreden. Een biofilm waaraan *L. pneumophila* zich kan hechten wordt al bereikt bij een lage concentratie voedingsstoffen (gemakkelijk assimileerbaar organisch koolstof, AOC) van ~1 µg AOC-C/liter. Van meerdere materialen (PVC-P, PE en rubber) is bekend dat deze voedingsstoffen uitscheiden die groeibevorderend zijn voor de biofilm en dat sommige opportunistische pathogenen zich kunnen handhaven of groeien in deze biofilm (Learbuch, 2018; van der Kooij *et al.*, 2017; van der Kooij *et al.*, 2018; van der Wielen, 2014b). Dergelijke materialen worden ook gebruikt in een warmtewisselaar, met name om de platen goed op elkaar aan te laten sluiten, en het passerende drinkwater komt met deze materialen in aanraking

2.2.2.2 *Pseudomonas aeruginosa*

Pseudomonas aeruginosa komt veel voor in oppervlaktewater, en wordt in 5 - 10% van de drinkwatermonsters uit het Nederlandse distributienet gevonden (Hofman en van der Wielen, 2015). Van nature zijn *P. aeruginosa* bacteriën resistent tegen meerdere soorten antibiotica. Ze kunnen veel soorten weefsel en organen infecteren en onder andere levensbedreigende ziekten als longontsteking, hartproblemen, meningitis en sepsis veroorzaken (Mena en Gerba, 2009). Een aantal stammen van *P. aeruginosa* die in drinkwater worden aangetroffen komen overeen met patiëntenstammen. Het is niet uit te sluiten dat mensen met *P. aeruginosa* geïnfecteerd kunnen worden via het drinkwater. Hoe groot dit risico precies is en hoe dat zich verhoudt tot andere milieubronnen is nog niet duidelijk (Wullings, 2017).

In drinkwatersystemen kan de bacterie zich hechten aan de biofilm. Verschillende onderzoeken laten zien dat de bron van de meeste besmettingen van het drinkwater ligt in de drinkwaterinstallatie van gebouwen (zie Mena *et al.*, 2009). De meeste mensen worden echter besmet door het gebruik van spa's en warmwaterbaden (Gerba en Gerba, 1998; Mena en Gerba, 2009).

P. aeruginosa kan bij lage concentraties voedingsstoffen groeien, zoals deze bijvoorbeeld in het Nederlandse drinkwater aanwezig zijn. Als reïncultuur in drinkwater groeit *P. aeruginosa* vanaf 10°C tot boven de 45°C graden (van der Wielen, 2014b). In een natuurlijke drinkwater biofilm werd *P. aeruginosa* gevonden in een biofilm die is gevormd bij 25°C – 40°C (van der Wielen, 2014b), maar onderzoek naar de rol van temperatuur op groei van *P. aeruginosa* is nog zeer beperkt (van Bel, 2017).

2.2.2.3 *Stenotrophomonas maltophilia*

S. maltophilia komt voor in waterige milieus als oppervlaktewater, maar ook in biofilms in vochtige omgevingen. Een infectie met de bacterie is moeilijk te behandelen en kan leiden tot onder andere bloedvergiftiging, hartklep- en longontsteking. De bacterie is aanwezig in 5-10% van de drinkwatermonsters uit het Nederlandse distributienet (Hofman en van der Wielen, 2015). Vooralsnog is het onbekend of de drinkwaterstammen van *S. maltophilia* gelijk zijn aan patiëntenstammen. Geen van de *S. maltophilia* stammen uit drinkwater komen overeen met patiëntenstammen. Er is dus geen directe link tussen stammen uit drinkwater en de geanalyseerde patiëntenstammen (Wullings, 2017).

S. maltophilia groeit bij 15°C tot 40°C als reïncultuur in drinkwater. Van de invloed van temperatuur op groei van *S. maltophilia* in de biofilm zijn geen gegevens bekend. Wel is aangetoond dat in de zomer hogere aantallen *S. maltophilia* aanwezig zijn in het Nederlandse distributienet dan in de winter (van der Wielen en van der Kooij, 2013).

2.2.2.4 *Aspergillus fumigatus*

A. fumigatus is een schimmel die in 5-10% van de Nederlandse drinkwatermonsters aanwezig is (Hofman en van der Wielen, 2015). Een infectie met deze schimmel kan leiden tot (chronische) longontsteking, allergische reacties, huidinfecties en infecties van de bloedbaan wat kan leiden tot ernstige ziekte en overlijden. Vooralsnog is het onbekend of de drinkwaterstammen van *A. fumigatus* gelijk zijn aan patiëntenstammen. Enkele stammen van *A. fumigatus* die in drinkwater worden aangetroffen komen overeen met patiëntenstammen. Net als voor *P. aeruginosa* is het daarom niet uit te sluiten dat mensen met *A. fumigatus* geïnfecteerd kunnen worden via het drinkwater. Hoe groot dit risico precies is en hoe dat zich verhoudt tot andere milieubronnen is nog niet duidelijk (Wullings, 2017).

In tegenstelling tot *P. aeruginosa* en *S. maltophilia* is *A. fumigatus* niet in staat te groeien als reïncultuur in drinkwater. Wel is het organisme in staat om zich te vermeerderen op een rijk voedingsmedium vanaf 15°C tot boven de 50°C. De schimmel wordt aangetroffen in biofilms die bij 17°C tot 20°C in het laboratorium zijn gevormd (van der Wielen, 2014b). Al bij vrij lage temperaturen kan *A. fumigatus* zich handhaven in de biofilm, beperkte groei vindt mogelijk ook plaats. Een hogere temperatuur lijkt niet tot meer groei te leiden.

2.2.2.5 Non-Tuberculeuze Mycobacteriën

Ondanks dat deze een hoge prioriteit hebben gekregen in Tabel 2-1 zijn deze niet getest omdat deze bacteriesoorten niet voorkomen in Nederlands drinkwater (van der Wielen, 2014a; van der Wielen en van der Kooij, 2011).

2.2.2.6 *Aeromonas* spp.

Aeromonas spp. is een wettelijke parameter en een indicator voor nagroei in het distributiesysteem. De *Aeromonas* aantallen moeten onder de wettelijke norm van 1000 kve/100 ml liggen. De meeste distributienetten voldoen hieraan (van der Wielen en van

der Kooij, 2011). Echter in een aantal voorzieningsgebieden worden, met name halverwege en aan het eind van de zomer, overschrijdingen aangetroffen (Hofman en van der Wielen, 2015).

Infecties met *Aeromonas* veroorzaken meestal diarree en wondinfecties. In het ergste geval kan een infectie echter levensbedreigend zijn. Tot op heden zijn er nog geen overeenkomsten gevonden tussen drinkwaterstammen en patiëntenstammen, waardoor het drinkwater geen belangrijke rol lijkt te spelen in het veroorzaken van infecties (Borchardt *et al.*, 2003; Havelaar *et al.*, 1992; Moyer *et al.*, 1992).

Aeromonas kan bij lage temperaturen groeien als reïncultuur in water. In voorzieningsgebieden waarbij de temperaturen hoger zijn dan 15°C worden vaker overschrijdingen van de wettelijke norm geconstateerd dan in gebieden met lagere watertemperaturen (Hofman en van der Wielen, 2015).

2.2.2.7 *Acanthamoeba* spp.

Acanthamoeba spp. is een amoëbe, een ééncellig micro-organisme die graast op bacteriën, gisten en schimmels. *Acanthamoeba* kan zich vermenigvuldigen in drinkwaterbiofilms en van meerdere bacteriën is bekend dat ze zich kunnen vermenigvuldigen in *Acanthamoeba*, waaronder *Legionella pneumophila* (Paszko-Kolva *et al.*, 1991; Rowbotham, 1980) en *Pseudomonas aeruginosa* (Michel *et al.*, 1995).

De optimale groeitemperatuur van *Acanthamoeba* ligt rond de 30°C, maar patiëntenstammen van *Acanthamoeba* groeien al bij 18°C (Jensen *et al.*, 1970; Nielsen *et al.*, 2014). Hierbij is gebruikt gemaakt van rijk medium met veel voedingsstoffen, in tegenstelling tot een arm medium met weinig voedingsstoffen zoals het drinkwatermilieu.

Sommige *Acanthamoeba* isolaten die in Brits drinkwater zijn aangetroffen zijn genetisch gelijk aan patiëntenstammen wat er op wijst dat het drinkwater mogelijk als een besmettingsroute kan dienen (Kilvington *et al.*, 2004). In Nederland wordt *Acanthamoeba* echter niet of nauwelijks aangetroffen in het drinkwater (Valster *et al.*, 2009; van Bel *et al.*, 2017; van der Wielen en van der Kooij, 2011; van der Wielen en van der Kooij, 2009; van der Wielen en van der Kooij, 2013).

2.2.2.8 Koloniegetal bij 22°C

Het koloniegetal bij 22°C (KG22) is een wettelijke parameter voor nagroei in het Nederlandse drinkwater. Het geometrisch jaargemiddelde moet lager zijn dan 100 kve/ml. Uit metingen blijkt dat de waardes in de zomer hoger liggen dan in de winterperiode, waardoor te verwachten is dat het KG22-getal stijgt bij verhoging van de drinkwatertemperatuur. De verwachting is echter niet dat de beperkte temperatuurstijgingen zoals die bij een warmtewisselaar worden verwacht, zullen leiden tot overschrijdingen (Hofman en van der Wielen, 2015). Dit was bij twee eerder onderzochte warmtewisselaars inderdaad het geval, bij hogere watertemperaturen in de zomerperiode werden hogere aantallen KG22 bacteriën gemeten (van Bel *et al.*, 2017).

2.2.2.9 ATP

ATP is een energierijke verbinding die in alle levende cellen voorkomt. Het is een algemene parameter voor de aanwezige hoeveelheid actieve biomassa, ook wel de mate van microbiologische activiteit, en indiceert niet specifiek voor één micro-organisme. Als het aantal micro-organismen toeneemt, zal dit zich vertalen in hogere ATP-waardes.

Het ATP-gehalte verschilt tussen alle soorten micro-organismen en kan ook binnen één soort variëren, afhankelijk van de metabole activiteit van het micro-organisme.

2.2.3 Onderzoeksvraag microbiologie

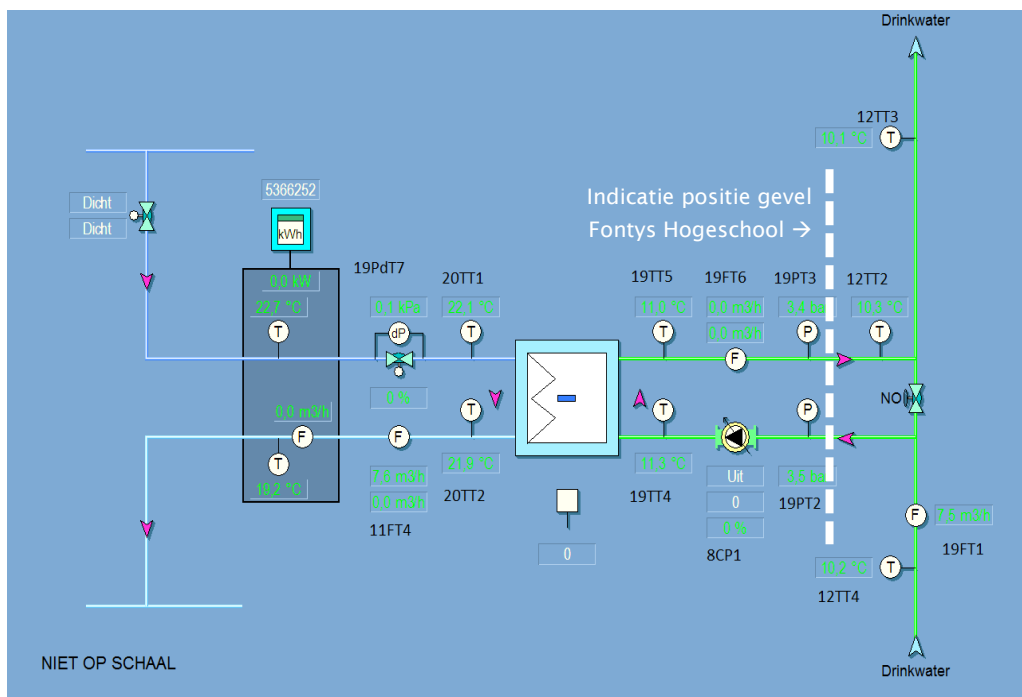
De microbiologische analyses in Tilburg zijn uitgevoerd om na te gaan of een warmtewisselaar die op drinkwater draait, veilig is voor de volksgezondheid op het gebied van de microbiologie of dat er microbiologische risico's aan verbonden zijn. De hogere temperatuur die lokaal wordt behaald, het grote contactoppervlak tussen water en biofilm op de warmtewisselaarplaten en de lagere stroomsnelheid kunnen mogelijk leiden tot groei van opportunistische pathogene micro-organismen. De temperatuur kan, zoals eerder besproken, verhoogd zijn door energie- en dus warmteafgifte aan het water of door stilstand van het water in de aan- en afvoerende leidingen als de warmtewisselaar niet is ingeschakeld.

Hiervoor is het vóórkomen van een aantal micro-organismen (*Legionella pneumophila*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Stenotrophomonas maltophilia*, *Aspergillus fumigatus*, *Acanthamoeba spp*, *Legionella spp.*, *Aeromonas spp*, KG22 en ATP) in water en biofilm voor, na en in een warmtewisselaar in het Tilburgse drinkwaternet gemeten.

3 Methoden

3.1 Metingen TED-installatie en controle van aangeleverde gegevens

De TED-installatie bij Fontys Hogeschool wordt gemonitord door verschillende stroomsnelheids-, temperatuur- en druksensoren die met een interval van 8 of 15 minuten data opslaan. Een overzicht van de meetpunten bij de TED-installatie zijn weergegeven in Figuur 3-1. In deze figuur is de primaire zijde (drinkwater) rechts weergegeven (groene lijnen) terwijl de secundaire zijde links is weergegeven (blauwe lijnen).



Figuur 3-1 Overzicht van de meetpunten van de TED-installatie o.b.v. 'dashboard' Hydreco.

Sensoren waar een 'T' in staat zijn temperatuursensoren, druksensoren zijn met een 'P' aangegeven en stroomsnelheidssensoren zijn aangegeven met een 'F'.

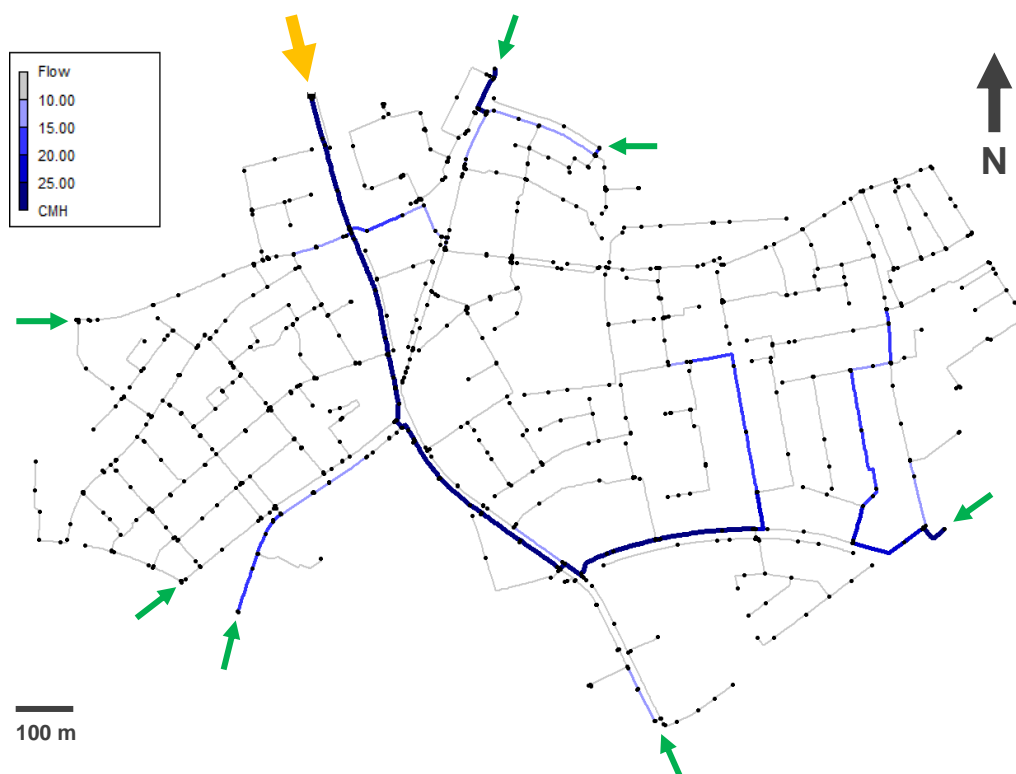
Voor de datacontrole is in eerste instantie gebruik gemaakt van visualisatie van de data waarbij de data in een grafiek is gezet om eventuele uitschieters visueel (handmatig) te identificeren. Deze zijn nader bekeken om te onderzoeken of het een foutmeting betreft of dat er iets anders aan de hand is. Ook zijn verschillende sensoren met elkaar vergeleken om erachter te komen of een meting wel logisch is ('consistency check'); de gemeten uitgangstemperatuur van de warmtewisselaar (primaire zijde) dient bijvoorbeeld hoger te zijn dan de gemeten ingangstemperatuur (primaire zijde) wanneer de TED-installatie in gebruik is.

De temperatuursensor die buiten het gebouw staat maar nog wel in de bypass van de TED-installatie (12TT2 in Figuur 3-1) is gebruikt om (a) een schatting te maken van de bodemtemperatuur en (b) de temperatuur te bepalen waarmee het water de TED-installatie verlaat. De bepaling van de bodemtemperatuur is bij benadering mogelijk

doordat het water ter plaatse van meter 12TT2 stilstaat wanneer de TED-installatie niet in bedrijf is. Gedurende deze stagnante periode zal de temperatuur van het drinkwater (uiteindelijk) dezelfde temperatuur aannemen als de bodem. De sensor is ook ver genoeg verwijderd van de hoofdleiding om invloed van drinkwatertemperatuur uit deze leiding te voorkomen.

3.2 Hydraulisch model Tilburg

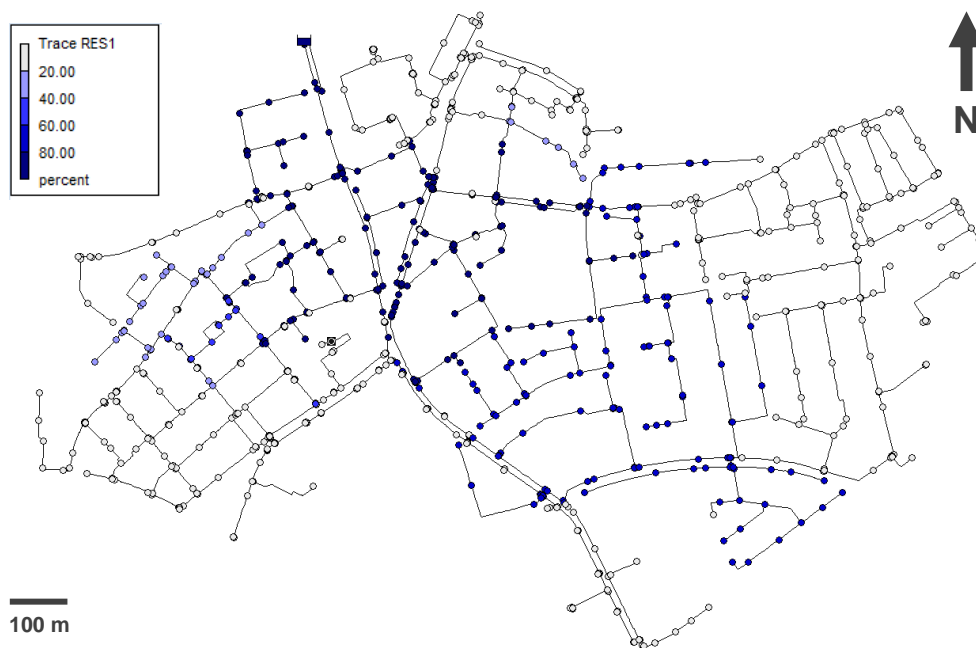
Om de te verwachten temperatuurverandering benedenstrooms van de TED-installatie te kunnen modelleren is allereerst een hydraulisch model benodigd. Brabant Water heeft hiervoor een hydraulisch EPANET model aan KWR geleverd voor het gehele leveringsgebied van Tilburg. Om dit model geschikt te maken voor een temperatuurberekening heeft KWR een uitsnede gemaakt uit dit model (Figuur 3-2).



Figuur 3-2 Hydraulisch EPANET model van Tilburg (uitsnede invloedsgedied TED-installatie Fontys). De kleuren en lijndiktes geven de gemodelleerde volumestromen weer in m^3/h op het maximum moment van de dag (21:00 uur) op een maximum dag. De oranje pijl geeft de locatie van de TED-installatie weer. Dit is tevens de locatie met de grootste inkomende volumestroom. De kleine groene pijlen geven de overige locaties weer waar verbindingen zijn met de rest van het leidingnet.

Deze uitsnede is bepaald op basis van een hydraulische modellering met tracing. Bij tracing wordt een hydraulisch resultaat van het leidingnetmodel berekend inclusief de herkomst van het water vanuit een aangewezen locatie (in dit geval de TED-installatie) in het gebied waar (in enige mate, tijdens het maximum verbruiksmoment) drinkwater gevonden wordt met als herkomst de leiding waarop de TED-installatie aangesloten is (Figuur 3-3). In dit gebied bevinden zich 573 aansluitingen naar woningen en utiliteitsgebouwen. Om de uitsnede hydraulisch correct te laten functioneren zijn inflows opgelegd ter plaatse waar de uitsnede in werkelijkheid verbonden is met de rest van het leveringsgebied Tilburg (oranje en groene pijlen in Figuur 3-2). De grootte en

variatie (patroon) van deze inflows zijn bepaald op basis van simulaties met het leidingnetmodel van het gehele leveringsgebied van Tilburg.

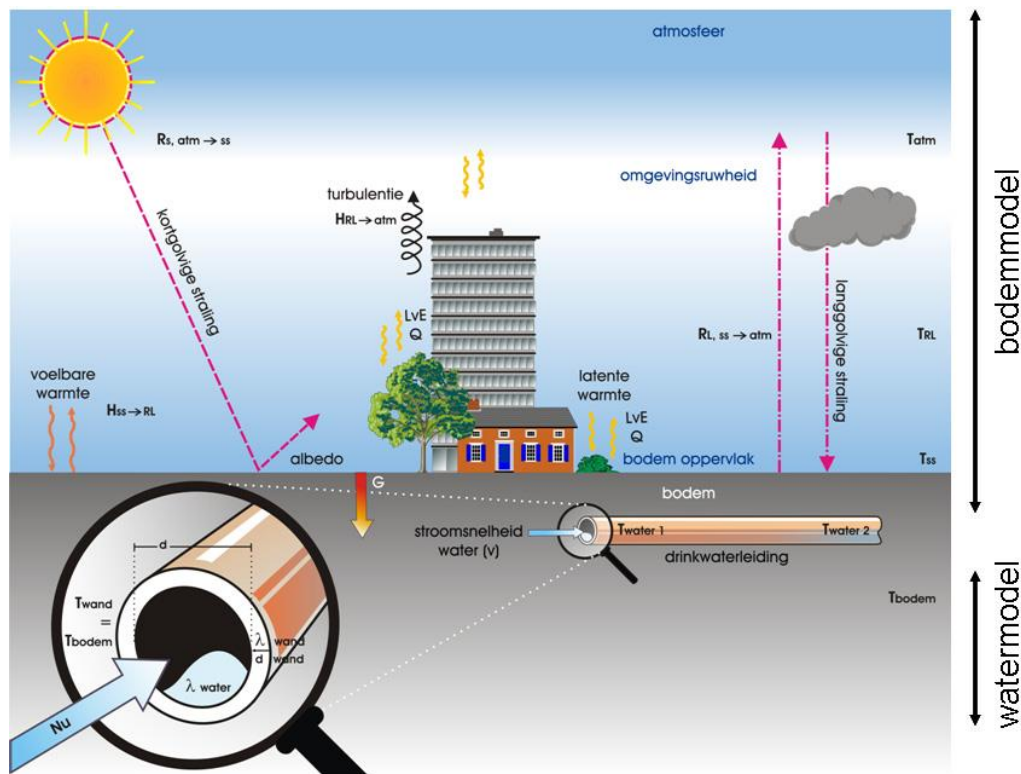


Figuur 3-3 Hydraulisch EPANET model van Tilburg (uitsnede invloedsgebied TED-installatie Fontys). De kleuren geven de herkomst (% drinkwater dat langs Fontys Hogeschool stroomt) van het drinkwater weer op alle knopen in het model op het maximum moment van de dag op een maximum dag (21 uur). Hoe donkerder, hoe groter de fractie drinkwater afkomstig van de voedende leiding waarop ook de TED-installatie aangesloten is.

De tracerstudie geeft op zichzelf al een beeld van de reikwijdte van het drinkwater dat de TED-installatie passeert. In Figuur 3-3 is te zien dat dit drinkwater met name in de gebieden ten westen en zuidoosten van de TED-installatie terecht komt. Dit is een gebied van ongeveer 1000 m in noord-zuid richting en 1500 m in oost-west richting, gemeten vanaf de locatie van de TED-installatie. Ten noorden en zuiden van de uitsnede bevinden zich transportleidingen (respectievelijk $\varnothing 500$ en $\varnothing 400$ mm) waar vanuit het gebied binnen de uitsnede voorzien wordt. Hoewel de $\varnothing 200$ mm leiding langs Fontys Hogeschool (oranje pijl in Figuur 3-2) de grootste volumestroom levert aan het gebied binnen de uitsnede zijn er dus ook volumestromen uit zuidelijke richting die de propagatie van de temperatuurverandering (in zuidelijke richting) zullen mitigeren.

3.3 Model voor temperatuur in drinkwaterleidingen

De temperatuur van het drinkwater is berekend met het temperatuurmodel dat binnen het BTO-programma is ontwikkeld (Figuur 3-4). Het temperatuurmodel bestaat uit een 'bodem' model en een 'water' model. Het bodemmodel beschrijft de opwarming van de bodem die de drinkwaterleiding omringt, afhankelijk van weersomstandigheden en bodemeigenschappen en diepteligging. Het watertemperatuurmodel beschrijft de opwarming van het water op verschillende locaties in het distributienet afhankelijk van de temperatuur van de buitenwand van de leiding, de leidingeigenschappen, zoals leidingmateriaal en wanddikte en de volumestroom van het water.



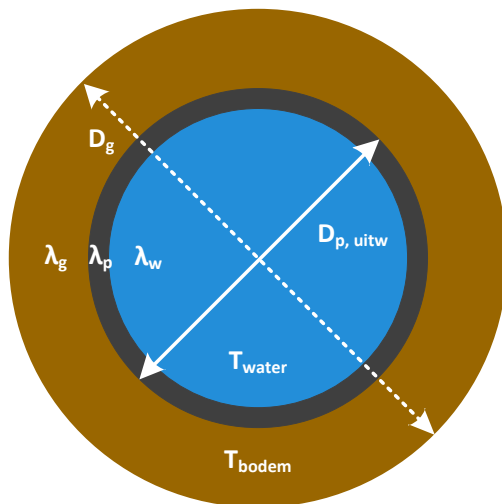
Figuur 3-4 Schematische weergave van bodem- en watertemperatuurmodel voor de berekening van de temperatuur in het drinkwaternet.

Het watertemperatuurmodel is uitgebreid beschreven in Blokker en Pieterse-Quirijns (2013), Blokker en Pieterse-Quirijns (2012) en Blokker *et al.* (2014). Om in het watertemperatuurmodel specifieke leidingeigenschappen mee te nemen die effect hebben op de warmtedoorgifte (materiaal, wanddikte) en eenvoudig meerdere scenario's te kunnen vergelijken is het model in 2016 uitgebreid (Moerman en Agudelo-Vera, 2016).

Het oorspronkelijke watertemperatuurmodel uit Blokker en Pieterse-Quirijns (2013) gaat uit van de aanname dat er geen invloed is van de drinkwatertemperatuur op de omliggende bodem. Voor leidingen met kleine diameters en lage stroomsnelheden (en dus lange verblijftijden) is deze aanname valide. Voor grotere diameters kan gelden dat deze aanname een onderschatting geeft van de reikwijdte van de temperatuurverandering ter plaatse van de TED-installatie. Om deze onderschatting te voorkomen is het temperatuurmodel dat toegepast is voor deze studie uitgebreid met een extra warmteweerstand (Figuur 3-5; volgende pagina). Deze weerstand is aangenomen gelijk te zijn aan 1,1 tot 1,5 maal de leidingdiameter. De dikte d_g van deze weerstand is daarmee gedefinieerd als:

$$d_g = \frac{D_g - D_{p,uitw}}{2}$$

Bovenstaande leidt tot weerstanddiktes zoals opgenomen in Tabel 3-1 (volgende pagina).



Figuur 3-5 Uitbreiding model uit Blokker en Pieterse-Quirijns (2013) met een derde warmteweerstand rondom de leidingdoorsnede met dikte d_g (gelijk aan $(D_g - D_{p, uitw}) / 2$) en warmtegeleidingscoëfficiënt λ_g .

Tabel 3-1 Resultaat voor weerstanddikte voor verschillende uitwendige leidingdiameters als gevolg van gekozen diameterfactoren.

| Factor | Ø63 | Ø110 | Ø200 |
|----------------|-------|-------|-------|
| 1,1 x diameter | 3 mm | 6 mm | 10 mm |
| 1,5 x diameter | 16 mm | 28 mm | 25 mm |

N.B. Een van de oorspronkelijke doelen van het project was het watertemperatuurmodel (en dan specifiek de dikte d_g uit Figuur 3-5) voor deze studie te kalibreren op basis van (a) de temperatuurmeting ter plaatse van de aftakking (meetpunt 12TT2 in Figuur 3-1) en (b) een temperatuurmeting op groter afstand (enkele honderden meters) benedenstrooms van de aftakking. Tijdens de realisatie van de TED-installatie is besloten om de temperatuurmeting benedenstrooms (b) niet te realiseren. Om zonder de kalibratie van het temperatuurmodel ten minste een beeld te krijgen van de onzekerheid in het watertemperatuurmodel is door middel van een onzekerheidsanalyse de invloed van onzekerheid van (met name) de parameter d_g berekend.

Voor de berekeningen met het watertemperatuurmodel zijn de parameters en aannamen uit Tabel 3-2 gehanteerd.

Tabel 3-2 Gehanteerde waarden voor modelparameters in het watertemperatuurmodel.

| Parameter | Omschrijving | Eenheid | Waarde(n) | Type |
|---------------------|--|---------|---------------|-------------------------------------|
| λ_p | Thermische geleidbaarheid leiding | W/m.K | Zie Bijlage I | Literatuurwaarden |
| λ_{bodem} | Thermische geleidbaarheid van de bodem | W/m.K | 1,2 | Literatuurwaarde |
| $D_g / D_{p, uitw}$ | Dikte van de bodemlaag die invloed uitoefent | - | 1,1 - 1,5 | Schatting afh. van gekozen scenario |

| Parameter | Omschrijving | Eenheid | Waarde(n) | Type |
|--------------------|-------------------|---------|-----------|------------------------------------|
| T_{bodem} | Temperatuur bodem | °C | 17 | Schatting o.b.v. meting (zie §3.1) |

Voor het bepalen van de reikwijdte van de temperatuurverandering dient een vergelijking gemaakt te worden met de situatie dat de TED-installatie niet in bedrijf is. Voor dit nulscenario is het uitgangspunt dat overal (nagenoeg) de bodemtemperatuur bereikt is en dat er geen invloed is van de TED-installatie. Voor het model is aangenomen dat op alle voedingspunten van het model het drinkwater de bodemtemperatuur aangenomen heeft en dat deze gelijk is aan 17°C op een warme zomerse dag (geschat op basis van metingen van sensor 12TT2, dit wordt verder beschreven in hoofdstuk 4). Voor het grote voedingspunt nabij de TED-installatie is, op basis van metingen (zie §4.1), een lagere waarde aangenomen (15°C). Op deze manier ontstaan (voor de gegeven variatie van d_g ; zie Tabel 3-2) vier scenario's (Tabel 3-3).

Tabel 3-3 Scenario's voor watertemperatuurmodel. De waarden voor T_{bodem} en ΔT_{TED} zijn inschatting o.b.v. gemeten waarden. Dit is nader toegelicht in §4.1.

| Scenario | $D_g / D_{p, \text{uitw}}$ | Installatie | $T_{\text{TED, uitgaand}} [^{\circ}\text{C}]$ | $T_{\text{bodem}} [^{\circ}\text{C}]$ |
|----------|----------------------------|----------------|---|---------------------------------------|
| A-0 | 1,1 | Buiten bedrijf | 14 | 17 |
| A-1 | 1,1 | In bedrijf | 12 | 17 |
| B-0 | 1,5 | Buiten bedrijf | 14 | 17 |
| B-1 | 1,5 | In bedrijf | 12 | 17 |

De scenario's uit Tabel 3-3 leiden tot twee uitkomsten voor de variatie in de bodemfactor 1,1 – 1,5 ($D_g / D_{p, \text{uitw}}$) waarbij steeds het scenario met de TED-installatie in bedrijf ('x-1' in Tabel 3-3) vergeleken wordt met het bijbehorende nulscenario ('x-0' in Tabel 3-3) waarbij de TED-installatie niet in bedrijf is. De uitgaande temperatuur wordt bepaald door de mengverhouding tussen de volumestroom die, via de bypass, langs de TED-installatie gevoerd is (primaire zijde) en de volumestroom die niet langs de bypass gevoerd is. Deze mengverhouding wordt gestuurd door de benedenstroomse drinkwatervraag en het vermogen van de opvoerpomp in de bypass. De pomp wordt gestuurd op basis van het temperatuurverschil tussen de ingaande en uitgaande stromen op de bypass en is gemaximeerd op een volumestroom van 20 m³/h. De maximale ΔT die daarbij benedenstrooms van de TED-installatie gerealiseerd wordt bedraagt 2°C. Dit is terug te zien in de metingen (zie hoofdstuk 4).

3.4 Onzekerheidsanalyse watertemperatuurmodel

Om het effect van (eventuele) onzekerheid van de bodemparameters uit het watertemperatuurmodel op de uitkomsten van dit model inzichtelijk te maken is een onzekerheidsanalyse uitgevoerd. Voor deze analyse is gebruik gemaakt van een vereenvoudigde situatie ten opzichte van het hydraulische model zoals weergegeven in Figuur 3-2 en Figuur 3-3. Uitgegaan is van een volumestroom over een Ø200 mm PVC leiding (diameter voedende leiding ter plaatse van aftakking naar TED-installatie) met een lengte van 1000 m. Deze lengte is ongeveer gelijk aan reikwijdte van het drinkwater dat de TED-installatie passeert (Figuur 3-3). Voor het temperatuurverschil tussen water en bodem wordt uitgegaan van het maximaal optredende verschil (scenario's A-1 en B-1 uit Tabel 3-3). Vervolgens zijn de volgende stappen doorlopen:

1. Parameters waarvan de onzekerheid meegenomen wordt in de berekening worden beschouwd als een stochastische waarde met een uniforme kansdichtheidsverdeling.
2. Per stochastische variabele wordt een onzekerheidsmarge aangenomen (Tabel 3-4).
3. Op basis van de aangenomen onzekerheidsmarge (2) wordt voor de stochastische waarden een sampling uitgevoerd met behulp van de zogenaamde Latin Hypercube Sampling techniek (Sin *et al.*, 2009; Solon *et al.*, 2015). Deze methode zorgt ervoor dat de willekeurig gekozen getallen de verscheidenheid van de parameter weergeven.
4. Het watertemperatuurmodel wordt een groot aantal keren doorgerekend met de onder (3) gesampled waarden voor de bodemparameters (λ_g en d_g).
5. Met behulp van alle uitkomsten wordt de spreiding in modeluitkomst bepaald, die uitgedrukt wordt in een onder- en bovengrens (95%-betrouwbaarheidsinterval).

Om een goede representatie te hebben van de onzekerheid, is gekozen om 250 samples te nemen en dus 250 simulaties uit te voeren.

Tabel 3-4 De verschillende parameters en Inputs in het model met de onzekerheid. De onzekerheid voor de te variëren bodemparameters is uniform verdeeld.

| Parameter | Omschrijving | Waarde | Eenheid | Onzekerheid |
|-------------|--|-----------------|-------------------|-------------|
| λ_p | Thermische geleidbaarheid van de pijp | 0,16 | W/m.K | - |
| λ_g | Thermische geleidbaarheid van de bodem | 1,2 | W/m.K | 50% |
| D | Interne diameter van leiding | 190,2 | mm | - |
| Q | Volumestroom | 37,6 / 12,3 / 4 | m ³ /h | - |
| t | Wanddikte PVC leiding | 4,9 | mm | - |
| d_g | Dikte van de bodemlaag die invloed uitoefent | 0,05 | m | 0,01-0,10 m |
| T_{water} | Min. temperatuur van het drinkwater na TED-installatie | 11 | K | - |
| T_{bodem} | Temperatuur van de bodem | 17 | K | - |

In de onzekerheidsanalyse is uitgegaan van een vereenvoudigde situatie (drinkwater door één leiding van a naar b, zonder menging met water uit andere richtingen). Hierdoor is het niet mogelijk om de onzekerheidsanalyse in te zetten voor een daadwerkelijke kalibratie van het watertemperatuurmodel (dat de gehele hydrauliek in de uitsnede (Figuur 3-2) beschrijft). De onzekerheidsanalyse geeft wel een beeld van de variatie van de uitkomsten van het watertemperatuurmodel als gevolg van onbekende variaties in de bodemparameters.

3.5 Monitoring water en biofilm warmtewisselaar

3.5.1 Monstername water en biofilm

Het water en de biofilm in het leidingnet voor en na de warmtewisselaar zijn drie keer in de zomer van 2017 en drie keer in de winter van 2017 – 2018 bemonsterd. In februari 2017 is ook de biofilm van een aantal platen van de warmtewisselaar bemonsterd. In de zomer wordt er warmte uit het drinkwater gehaald waarbij het water afkoelt. In de winter wordt er mogelijk warmte aan het drinkwater afgegeven, als er een overschot aan warmte uit de warme bel van het WKO-systeem is opgepompt. Als er geen energievraag of energieoverschot is, staat het water mogelijk langere tijd stil in de aan- en afvoerende leidingen van de warmtewisselaar en in de warmtewisselaar zelf. Er zijn daarom twee opties in de winter: de drinkwatertemperatuur blijft gelijk (als er geen overschot aan warmte is, maar het water wel blijft stromen), of het wordt opgewarmd (als er wel een warmteoverschot is of als het water langere tijd stil staat).

In de zomer en winter is gedurende drie maanden ongeveer 1x per maand het water en de biofilm in de aan- en afvoerende drinkwaterleiding bemonsterd en geanalyseerd. Het monsternameschema is weergegeven in Tabel 3-5.

Tabel 3-5. Monstername voor microbiologische analyse van de warmtewisselaars in Tilburg. De water- en biofilmmonsters zijn in enkelvoud bemonsterd en geanalyseerd.

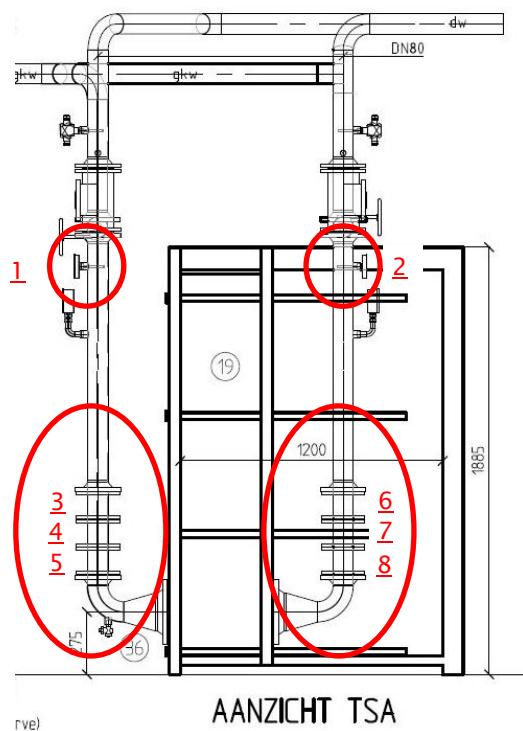
| | Water | Biofilm |
|-------------------|-------------------------------|--|
| 3 juli 2017 | Voor en na de warmtewisselaar | Voor en na de warmtewisselaar |
| 14 augustus 2017 | | |
| 11 september 2017 | | |
| 4 december 2017 | | |
| 15 januari 2018 | | |
| 19 februari 2018 | | Voor, na en van de platen van de warmtewisselaar |

Bij elke monstername is de volgende volgorde in ruimte en tijd aangehouden:

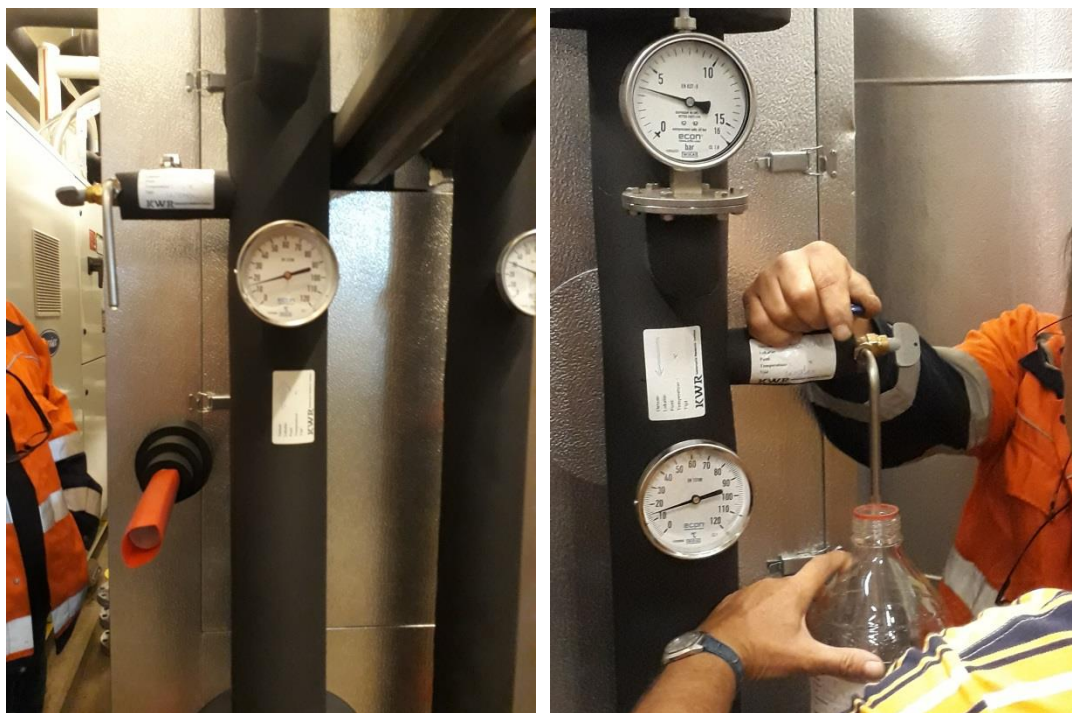
1. Uitgaande drinkwater (Figuur 3-6, Figuur 3-7)
2. Inkomende drinkwater (Figuur 3-6, Figuur 3-7)
3. Leidingsegmenten voor bemonstering biofilm (Figuur 3-6, Figuur 3-8, Figuur 3-9)

Na bemonstering van het drinkwater is het TSA-systeem tijdelijk uitgezet om de leidingsegmenten uit te kunnen nemen. De leidingsegmenten zijn uitgenomen in de stroomrichting. In juli en december 2017 zijn de segmenten 3 en 8 uitgenomen, in augustus 2017 en januari 2018 de segmenten 4 en 7 en in september 2017 en februari 2018 de segmenten 5 en 6. Voor de uitname zijn de segmenten geïsoleerd door middel van de aanwezige afsluiters. Na de uitname van de segmenten is een nieuw, schoon segment teruggeplaatst. Deze segmenten zijn in een beschermende verpakking geleverd om te waarborgen dat ze tijdens transport en/of opslag niet met pathogenen en fecale indicatoren besmet zijn (Figuur 3-10). De segmenten zijn voor plaatsing ondergedompeld in een chlooroplossing, kort gedroogd aan de lucht en daarna in het systeem geplaatst. De afsluiters zijn geopend, na ontluchting van de TSA is deze weer in gebruik genomen.

Gedurende de hele monsternamprocedure waren Hydreco en Brabant Water aanwezig om te helpen met de bemonstering, de bediening van de TSA en om te controleren of er hygiënisch is gewerkt en de drinkwaterleiding direct vrij mag worden gegeven en in gebruik mag worden genomen. Dit was bij alle monsternames het geval. Na in gebruik name is het uitgaande drinkwater bemonsterd door Brabant Water om vast te stellen dat de fecale indicatoren *E. coli* en *enterococce*n inderdaad niet werden aangetroffen.



Figuur 3-6. Schematisch overzicht van de drinkwaterzijde van de warmtewisselaar in Tilburg. Aangegeven zijn: watertappunt ingaand (1) en uitgaand (2) water (zie ook Figuur 3-7); uitneembare leidingsegmenten ingaand (3, 4, 5) en uitgaand (6, 7, 8).



Figuur 3-7. Watertappunten ingaand (links) en uitgaand (rechts) drinkwater van de warmtewisselaar.



Figuur 3-8. Uitneembare leidingsegmenten voor bemonstering van de biofilm. Links is de pakking nog aanwezig, rechts is deze verwijderd en zijn twee van de drie segmenten zichtbaar. Het derde segment bevindt zich onder de onderste, zwarte pakking.



Figuur 3-9. Uitneembare segmenten in de drinkwaterleiding bij de warmtewisselaar. Links de segmenten aan de ingaande kant van de warmtewisselaar. Rechts de segmenten aan de uitgaande kant van de warmtewisselaar.



Figuur 3-10. Nieuwe, uitneembare leidingsegmenten voordat deze in de leiding worden teruggeplaatst. Het plastic afdek materiaal en de lijmresten worden verwijderd, waarna het

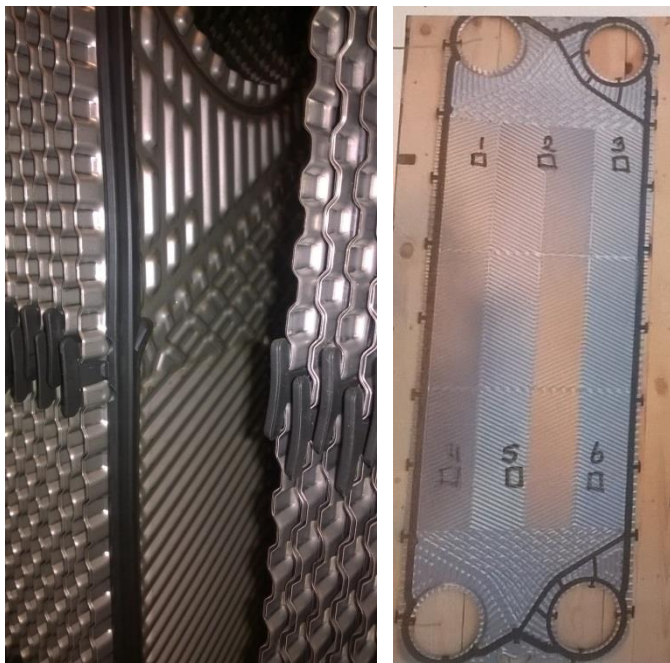
segment wordt ondergedompeld in een chlooroplossing. Vervolgens wordt het segment ingebouwd in de leidingen.

3.5.2 Monsternamen biofilm van warmtewisselaarplaten

Op 19 februari 2018 is naast het drinkwater en de leidingsegmenten ook de biofilm op de platen van de warmtewisselaar bemonsterd. Hiervoor is de bescherming van de warmtewisselaar verwijderd en de warmtewisselaar open gemaakt waardoor de individuele platen bereikbaar zijn (Figuur 3-11). Alle platen zijn losgehaald en de (niet-duidelijk zichtbare) biofilm is op drie verschillende platen (plaat 10 vanaf de ingaande en uitgaande kant en een plaat in het midden) aan de bovenkant en onderkant bemonsterd zoals weergegeven in Figuur 3-11 en Figuur 3-12. Bovenaan en onderaan de plaat zijn elk drie vakjes geswabt met een steriel wattenstaafje, de wattenstaafjes van de drie vakjes zijn gepooled voor verdere analyse en opgewerkt zoals de andere biofilmmonsters.



Figuur 3-11. De warmtewisselaar zonder de beschermende kast. De individuele platen zijn zichtbaar.



Figuur 3-12. Bemonstering van de biofilm van een warmtewisselaarplaat. Links: De warmtewisselaar plaat waarop geen duidelijke biofilm zichtbaar is. rechts: voorbeeld van een Warmtewisselaarplaat zoals aangeleverd door Alfa laval met daarop een schematisch overzicht van

hoe de bemonstering van de biofilm is uitgevoerd. Per monster is de biofilm van drie stukjes van de plaat verzameld: nummers 1, 2 en 3 zijn gepooled (bovenin plaat) en nummers 4, 5 en 6 gepooled (onderin plaat). Van deze plaat zijn ook kleine stukjes van 25 cm² geknipt voor gebruik in de BPP-test.

3.5.3 Microbiologische analyses

In Tabel 3-6 is een overzicht gegeven van de microbiologisch en chemische analyses die zijn uitgevoerd op de water- en biofilmmonsters.

Tabel 3-6. Uitgevoerde microbiologische analyses. Van elke analyse is aangegeven wat de detectielimiet is in water. De detectielimiet in de biofilm verschilt per experiment.

| Microbiologische parameter | Analyse-methode | Detectiegrens |
|-------------------------------------|-----------------|--|
| KG22 | Kweek | 1 kve/ml |
| <i>Aeromonas</i> | Kweek | 1 kve/100 ml |
| <i>Legionella spp.</i> | Kweek | 1 kve/100 ml |
| <i>Pseudomonas aeruginosa</i> | Kweek | 1 kve/100 ml |
| <i>Aspergillus fumigatus</i> | qPCR | Afhankelijk van rendement van de opwerking |
| <i>Pseudomonas aeruginosa</i> | qPCR | Afhankelijk van rendement van de opwerking |
| <i>Legionella pneumophila</i> | qPCR | Afhankelijk van rendement van de opwerking |
| <i>Stenotrophomonas maltophilia</i> | qPCR | Afhankelijk van rendement van de opwerking |
| <i>Acanthamoeba spp.</i> | qPCR | Afhankelijk van rendement van de opwerking |
| ATP | Enzymdetectie | 1 ng ATP/l |
| Chemische parameter | | Detectiegrens |
| Ammonium (NH ₄) | | 0,03 mg/l |

Het aantal kweekbare bacteriën bij 22°C (KG22) is bepaald conform NEN-EN-ISO 6222 en KWR protocol LMB-032. Hiervoor is 1 ml monster geïncubeerd op Plate Count Agar (PCA) bij 22°C gedurende 68 uur.

Het aantal *Aeromonas* bacteriën in het water en de biofilm is bepaald conform NEN-ISO 6263 en LMB-022. Hiervoor is 100 ml water gefiltreerd en geïncubeerd op Ampicilline Dextrine Agar (ADA)-medium voor 24 uur bij 30°C.

Legionella bacteriën zijn aangetoond volgens NEN-ISO 6265 en LMB-027. Hiervoor is 250 ml of 100 ml watermonster gefiltreerd en geïncubeerd op Buffered Charcoal Yeast Extract agar (BCYE) bij 36°C gedurende 7 dagen.

Het aantal *Pseudomonas aeruginosa* bacteriën is bepaald conform NEN-ISO 16266 en LMB-038. Van het watermonster is 100 ml gefiltreerd en geïncubeerd op *Pseudomonas* agar base (CN-agar) gedurende 44 uur bij 36°C. Het aantal kolonies is geteld na 22 en 44 uur.

De aantallen genkopieën van *P. aeruginosa*, *A. fumigatus*, *L. pneumophila*, *S. maltophilia* en *Acanthamoeba spp.* zijn bepaald door middel van kwantitatieve PCR (qPCR). Hiervoor is 1000-2000 ml water gefiltreerd en is het filter met daarop de micro-

organismen opgeslagen in de vriezer. Aan het eind van de monsternameserie is het DNA van alle water- en biofilmmonsters tegelijk geïsoleerd met behulp van de Power Biofilm Kit volgens protocol LMB-069. Het opgewerkte DNA is gebruikt in de qPCR. Hierin worden specifieke stukjes DNA van de micro-organismen vermenigvuldigd en wordt de concentratie bepaald. Voor elk micro-organisme is een eigen combinatie van primers ontwikkeld, zoals beschreven in protocol LMB-065 (*L. pneumophila*, *A. fumigatus*, *P. aeruginosa*) en LMB-068 (*Acanthamoeba spp.*, *S. maltophilia*).

De ATP-bepaling is gebaseerd op een enzymreactie van luciferine met luciferase die alleen plaats vindt in de aanwezigheid van ATP. Het hierbij geproduceerde licht (in Relatieve Licht Eenheden) wordt omgerekend naar de concentratie ng ATP in het watermonster. ATP is bepaald conform NEN-EN 16421:2014.

De ammonium-bepaling is uitgevoerd volgens KWR protocol LAM-036. De ammoniumionen in een watermonster reageren met het natriumhypochloriet en natriumsalicylaat waarbij een groen gekleurde verbinding wordt gevormd. De mate waarin dit gebeurt wordt in een spectrofotometer bij 660 nm bepaald. De detectiegrens is 0,03 mg N/l.

3.5.4 Watertemperatuur voor en na de warmtewisselaar

De temperatuurgegevens van de sensors RK2-2-19TT5 (uittrede TSA) en RK2-2-19TT4 (intrede TSA) zijn gebruikt voor dit rapport.

De meeste microbiologische monsternames zijn uitgevoerd op maandag. Gedurende het weekend is er echter niet tot nauwelijks warmtevraag uit de hogeschool met als gevolg dat het water stilstaat. Tijdens de eerste drie metingen was niet bekend dat de warmtewisselaar gespoeld wordt bij langdurige stilstand en dat het water in het weekend stil stond. Als gevolg hiervan is in de zomer de spoeling relatief kort voor de monstername uitgevoerd. Idealiter wordt het water echter bemonsterd als de temperatuur hoog is en de verblijftijd in het systeem relatief lang waardoor microbiologische groei plaats zou kunnen vinden. Vanaf december 2017 is geprobeerd hier rekening mee te houden door het automatische spoelprogramma tijdelijk uit te zetten voorafgaand en ten tijde van de monstername.

3.6 Biomassa Productie Potentie (BPP)

Met de Biomassa Productie Potentie (BPP)-methode wordt de biofilmvormingspotentie van materialen in drinkwater bepaald. Als van een materiaal veel groeibevorderende stoffen vrijkomen in drinkwater, zal er meer biomassa kunnen groeien dan wanneer een materiaal geen groeibevorderende stoffen afstaat. De BPP-analyse is uitgevoerd zoals beschreven in LMB-006 en NEN-EN16421. Materiaal van de warmtewisselaarplaten (roestvrijstaal [RVS-316] en de kunststof pakking EPDM [ethyleen-propyleen-dieenmonomer rubber]) is getest zoals deze in de warmtewisselaar in Tilburg worden gebruikt. Door de producent van de warmtewisselaar, Alfa Laval, is een nieuwe plaat aangeleverd welke normaal gesproken rechtstreeks in de warmtewisselaar wordt gebruikt (Figuur 3-12). Van het RVS-316 en EPDM zijn kleine stukjes geknipt van ongeveer 25 cm². Deze worden toegevoegd aan een AOC-vrije fles met 900 ml drinkwater van het laboratorium van KWR (ps. Tull en 't Waal, Vitens) en een ent van rivierwater. De flessen worden geïncubeerd bij 30°C gedurende 16 weken. Op dag 56 (8 weken), dag 84 (12 weken) en dag 112 (16 weken) is het ATP-gehalte in water en biofilm, als maat voor biomassa, bepaald. Met deze waarden wordt de BPP-waarde in pg ATP/cm² berekend. Van elk materiaal is de test in tweevoud ingezet. Deze test wordt vaak uitgevoerd om de groeibevorderende eigenschappen van leidingmaterialen voor

gebruik in het distributienet in kaart te brengen. Een materiaal wordt goedgekeurd als de BPP-waarde lager is dan de wettelijke grens van 1000 pg/cm². Deze grenswaarde heeft echter geen wettelijke basis en het wordt aanbevolen om materialen met een hogere BPP-waarde niet in het distributienet toe te passen (van der Wielen en Bereschenko, 2016).

Glazen plaatjes en kleine stukjes PVC-p slang worden gebruikt als negatieve, respectievelijk positieve, controles. De BPP-waarde van glas moet kleiner zijn dan 100 pg ATP/cm², de BPP-waarde van PVC-p moet groter zijn dan 10.000 pg ATP/cm².

4 Resultaten reikwijdte temperatuurverandering

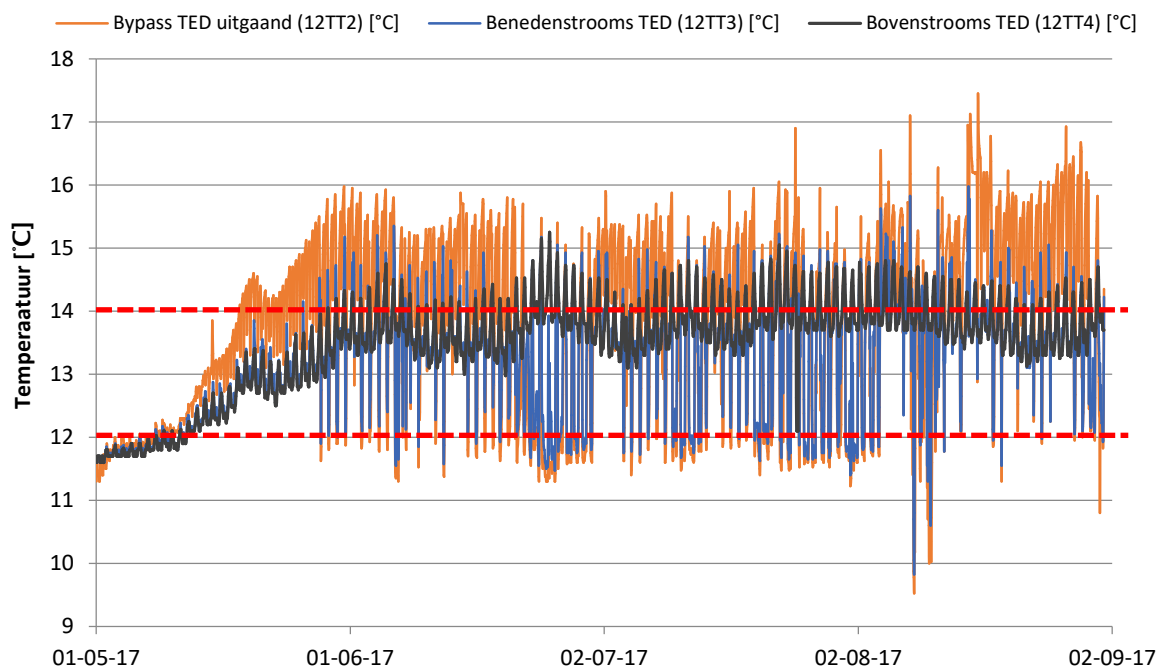
4.1 Reikwijdte temperatuurverandering

4.1.1 Interpretatie metingen temperaturen en volumestroom

De resultaten van de metingen uitgevoerd aan de TED-installatie in Tilburg zijn gebruikt voor het schatten van de invoerparameters voor het watertemperatuurmodel (§3.3) en de bijbehorende onzekerheidsanalyse (§3.4). De maximale reikwijdte van de temperatuurverandering treedt op bij maximalisering van:

- de temperatuurverandering benedenstrooms van de TED-installatie (gemeten door sensor 12TT3) en;
- de volumestroom ten gevolge van de actuele drinkwatervraag benedenstrooms van de TED-installatie. Bij de maximale volumestroom in het leidingnet zijn de verblijftijden minimaal, waardoor de invloed van de bodem op het drinkwater in de leiding (voor het dempen van de temperatuurverandering) ook minimaal is.

In Figuur 4-1 zijn de data van de sensoren 12TT2, 12TT3 en 12TT4 (zie Figuur 3-1) weergegeven voor de periode tussen 1 mei 2017 en 1 september 2017.

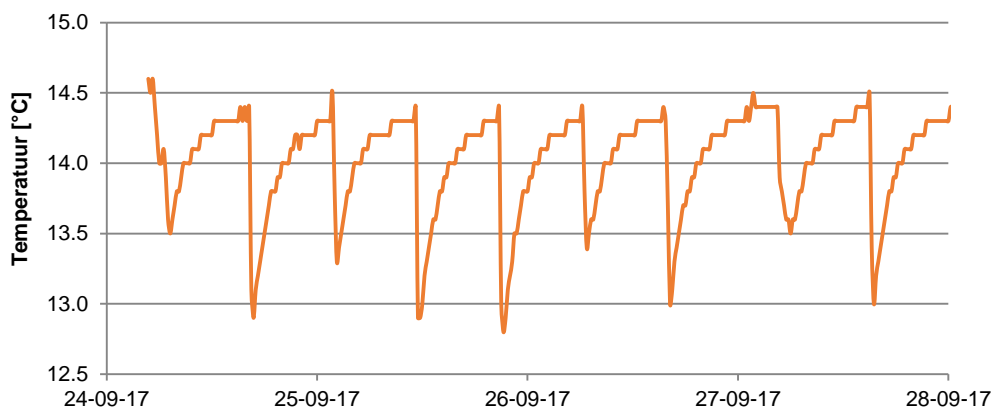


Figuur 4-1 Temperatuurmetingen rondom de TED-installatie vanaf 1 mei 2017 t/m 1 september 2017. De weergegeven waarden de uurgemiddelde waarden o.b.v. een meetfrequentie van 15 minuten.

In Figuur 4-1 is goed te zien dat de temperatuur van het aangevoerde water (12TT4) een stijgende lijn vertoont tot ongeveer 1 juni en daarna redelijk constant blijft op een temperatuur van gemiddeld ongeveer 14°C. Uit de metingen van sensor 12TT3 (benedenstrooms van de TED-installatie) is goed te zien dat de TED-installatie eind mei in bedrijf komt. Wanneer de TED-installatie in bedrijf is ontstaat er gedurende het zomerseizoen een maximale ΔT van ongeveer 12 - 14 = -2°C (dit is de bandbreedte tussen de twee rode lijnen in Figuur 4-1).

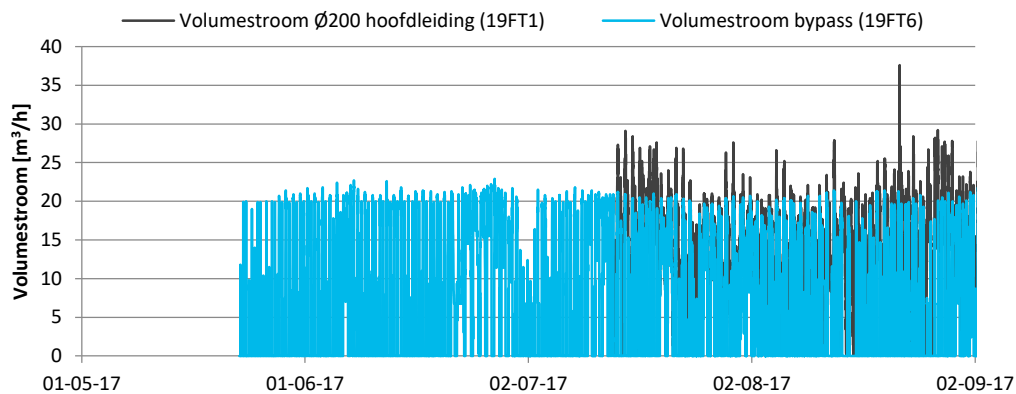
Uit de kwartiermetingen (niet weergegeven in dit rapport) volgt dat er uitschieters zijn naar 11°C. Op dergelijke momenten is er kortstondig sprake van een ΔT groter dan -2°C benedenstrooms van de TED-installatie (afhankelijk van de aanvoertemperatuur (12TT4) -3°C tot -4°C). Deze uitschieters worden veroorzaakt door de passage van koude 'bellen', oftewel: leidingvolumes die in de warmtewisselaar afgekoeld zijn door de secundaire zijde (WKO systeem) tijdens het niet in bedrijf zijn van de TED-installatie (primaire zijde is dan stagnant). Deze verklaring kan afgeleid worden uit het feit dat 11°C gelijk is aan de temperatuur van de koude bron van de WKO installatie van Fontys. Vanwege het geringe volume van deze 'koudebellen' zijn deze uitschieters niet representatief voor het temperatuurverschil dat langere tijd opgelegd wordt benedenstrooms van de TED-installatie.

In Figuur 4-1 is ook te zien dat sensor 12TT3 benedenstrooms van de TED-installatie regelmatig temperaturen meet die fors hoger liggen dan de meting van 12TT4 (met name in de tweede helft van augustus). Dit effect wordt veroorzaakt door opgewarmd stilstaand drinkwater dat tijdens de periodieke 8-uursspoeling uit de bypassleiding gespoeld wordt. Het effect op de temperatuur van het stilstaande drinkwater in de uitgaande bypassleiding (12TT2) is goed te zien wanneer ingezoomd wordt op de data in een periode wanneer de TED-installatie niet in bedrijf is; zie Figuur 4-2.



Figuur 4-2 Temperatuur van drinkwater eind september 2017 in de uitgaande bypassleiding, gemeten door sensor 12TT2.

Wanneer de opwarming van de leiding, zoals geïllustreerd in Figuur 4-2, geëxtrapoleerd wordt kan een schatting gemaakt worden van de bodemtemperatuur ter plaatse van Fontys Hogeschool. Voor de periode waarin de TED-installatie in bedrijf was (zomer 2017) wordt deze geschat op 17°C.



Figuur 4-3 Volumestroommetingen rondom de TED-installatie vanaf 1 mei 2017 t/m 1 september 2017. De volumestroommetingen zijn niet voor de gehele meetperiode beschikbaar gesteld.

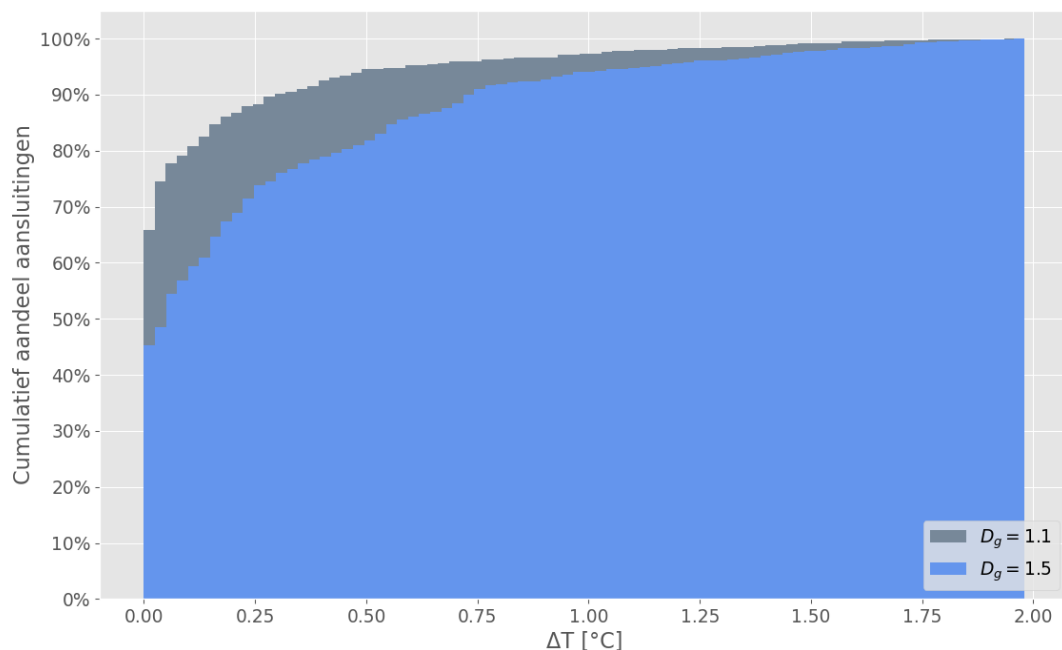
De volumestromen zoals gemeten in de voedende leiding (sensor 19FT1, Figuur 3-1) en de bypass vanaf de TED-installatie (sensor 19FT6, Figuur 3-1) zijn weergegeven in Figuur 4-3.

De maximale volumestroom in de Ø200 secundaire leiding ter plaatse van Fontys Hogeschool bedroeg (conform Figuur 4-3) 37,6 m³/uur (22 augustus 2017). Dit is fors lager dan de maxima die volgens het hydraulisch EPANET model optreden op dezelfde locatie. De waarde van 37,6 m³/h kan volgens de uitkomsten van het hydraulisch EPANET model grofweg beschouwd worden als een gemiddelde waarde in plaats van een maximum. Om deze reden is ervoor gekozen om de bepaling van de reikwijdte van de temperatuursverandering niet uit te voeren bij de maximale volumestromen op basis van het hydraulisch model (zie §3.2; deze volumestromen treden op rond 21:00 uur op een criteriumdag), maar op een minimum en gemiddelde volumestroom conform het hydraulisch model. De gemiddelde waarde uit het hydraulisch model komt ongeveer overeen met de maximum gemeten waarde in de praktijk. Bovengenoemde minimum en maximum volumestromen treden respectievelijk op om 5:00 uur in de morgen en 15:00 uur in de middag (op een criteriumdag conform het aangeleverde hydraulische EPANET model).

4.1.2 Reikwijdte temperatuurverandering bij lage volumestroom

Zoals aangegeven in §3.3 heeft de volumestroom (als gevolg van de benedenstroomse drinkwatervraag) ter plaatse Fontys Hogeschool veel invloed op de reikwijdte van de opgelegde temperatuurverlaging. In deze paragraaf wordt beschreven wat de verwachte effecten op de reikwijdte zijn bij een relatief lage volumestroom (~10 m³/h) ter plaatse van Fontys Hogeschool. Dergelijke volumestromen treden volgens het aangeleverde hydraulische model op 2:00 en 5:00 's nachts.

In Figuur 4-4 is een cumulatief histogram weergegeven van de gemodelleerde temperatuurverandering om 5:00 's morgens (criteriumdag) voor de 573 aansluitingen die in het potentiële invloedsgebied van de TED-installatie liggen. De onder- en bovengrens worden bepaald door variatie in de leiding-bodem-factor (zie §3.3).

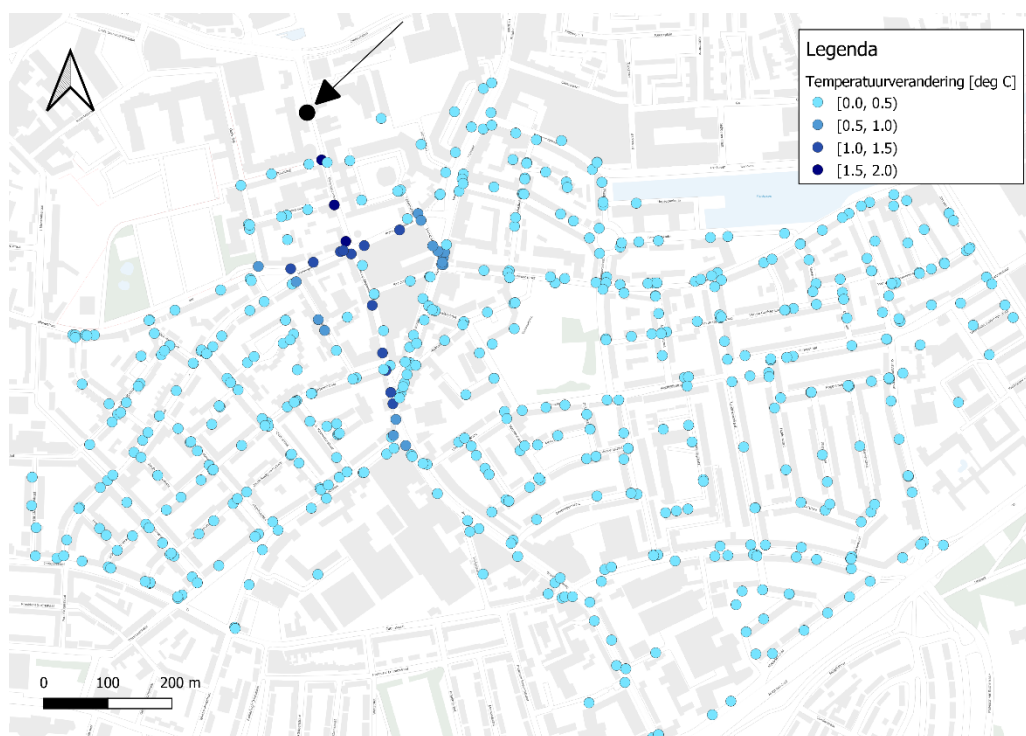


Figuur 4-4 Cumulatieve verdeling van aantal aansluitingen in relatie tot gemodelleerde (absolute) temperatuurverandering 's nachts (5:00 uur) op een criteriumdag ter plaatse van de aansluitingen. D_g is de leiding-bodem-factor.

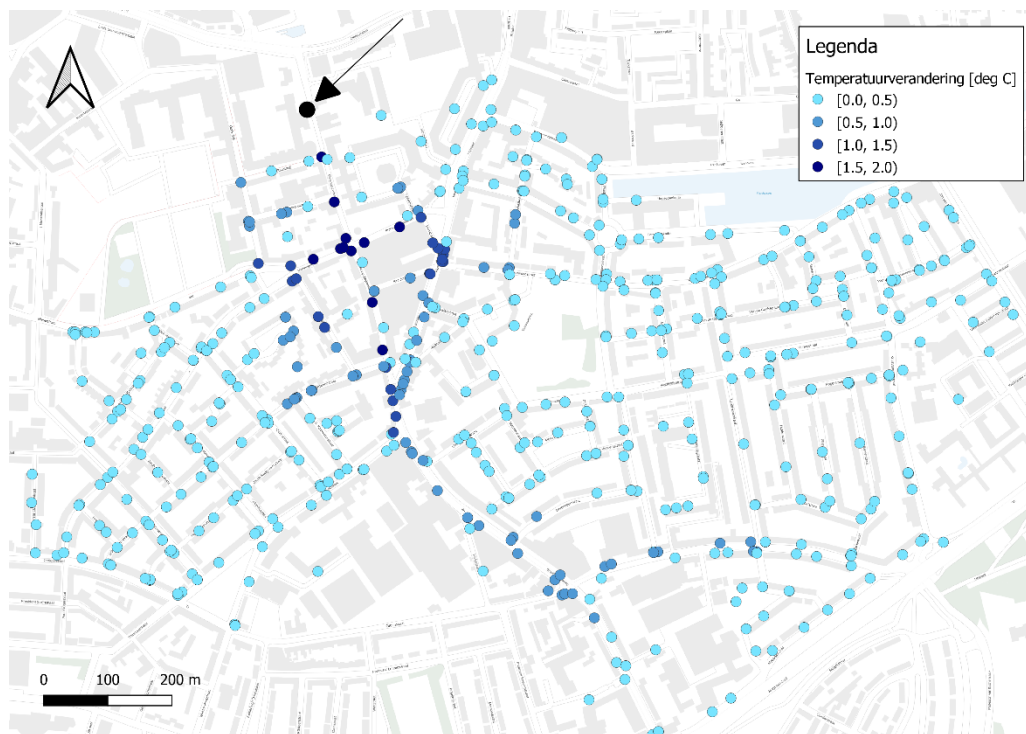
Uitgaande van een temperatuurverandering van -2°C ter plaatse van de TED-installatie resteert (afhankelijk van de invloed van de leiding op de bodem) bij 5 – 10% van de klanten in het potentiële invloedsgebied een temperatuurverandering $< -1^{\circ}\text{C}$ ($>50\%$ van de oorspronkelijke afwijking). Het aandeel aansluitingen met een temperatuurverandering $-1,5$ tot $-2,0^{\circ}\text{C}$ bedraagt slechts 1-2%.

De figuren op pagina 35 geven de verwachte temperatuurverandering weer voor alle 573 aansluitingen in het potentiële invloedsgebied. De uitkomsten laten een relatie zien met de oorsprong van het drinkwater (tracerstudie; Figuur 3-3).

De figuren op pagina 35 laten zien dat met name in een gebied rondom de TED-installatie (ongeveer tot 400 m in noord-zuid richting en 300 m in oost-west richting) een sterke invloed zichtbaar is op de verbruikspunten ('service points'). In werkelijkheid zijn dit de locaties waar de verbinding (=aansluitleiding) tussen het distributienet en de (collectieve) drinkwaterinstallatie ligt. Het temperatuurverschil waarmee het water daadwerkelijk aan zal komen bij de warmtapwaterbereider van de betreffende klant zal kleiner zijn dan weergegeven in de figuren op pagina 33 en 35, omdat hier nog aansluitleiding (meestal PE $\varnothing 25$ mm) en een drinkwaterinstallatie tussen zit. Hier wordt in de discussie verder op ingegaan.



Figuur 4-5 Reikwijdte temperatuurverandering 's nachts (5:00 uur) op een criteriumdag bij en een maximale temperatuurverandering gelijk aan -2°C en een leiding-bodem-factor (D_g) van 1,1. De zwarte stip bovenaan de kaart is de positie van de TED-installatie.

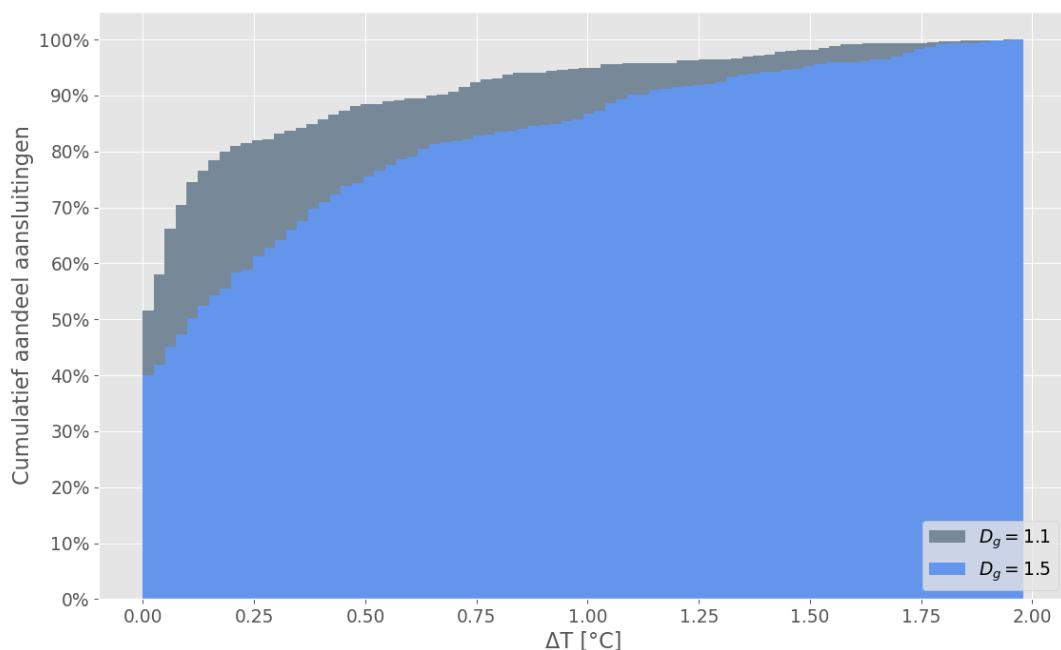


Figuur 4-6 Reikwijdte temperatuurverandering 's nachts (5:00 uur) op een criteriumdag bij en een maximale temperatuurverandering gelijk aan -2°C en een leiding-bodem-factor (D_g) van 1,5. De zwarte stip bovenaan de kaart is de positie van de TED-installatie.

4.1.3 Reikwijdte temperatuurverandering bij hoge volumestroom

Zoals aangegeven in §3.3 heeft de volumestroom (als gevolg van de benedenstroomse drinkwatervraag) ter plaatse Fontys Hogeschool veel invloed op de reikwijdte van de opgelegde temperatuurverlaging. In deze paragraaf wordt beschreven wat de verwachte effecten op de reikwijdte zijn bij een relatief lage volumestroom ($\sim 35 \text{ m}^3/\text{h}$) ter plaatse van Fontys Hogeschool. Dergelijke volumestromen treden volgens het aangeleverde hydraulische model op tijdens een criteriumdag 's middags (ongeveer 15:00 uur). Onder de noemer 'hoge volumestroom' is in het hydraulisch model voor dit tijdstip gekozen omdat deze volumestroom ordegrrootte overeenkomt met de in de zomerperiode van 2017 gemeten maximum volumestroom (zie §4.1.1).

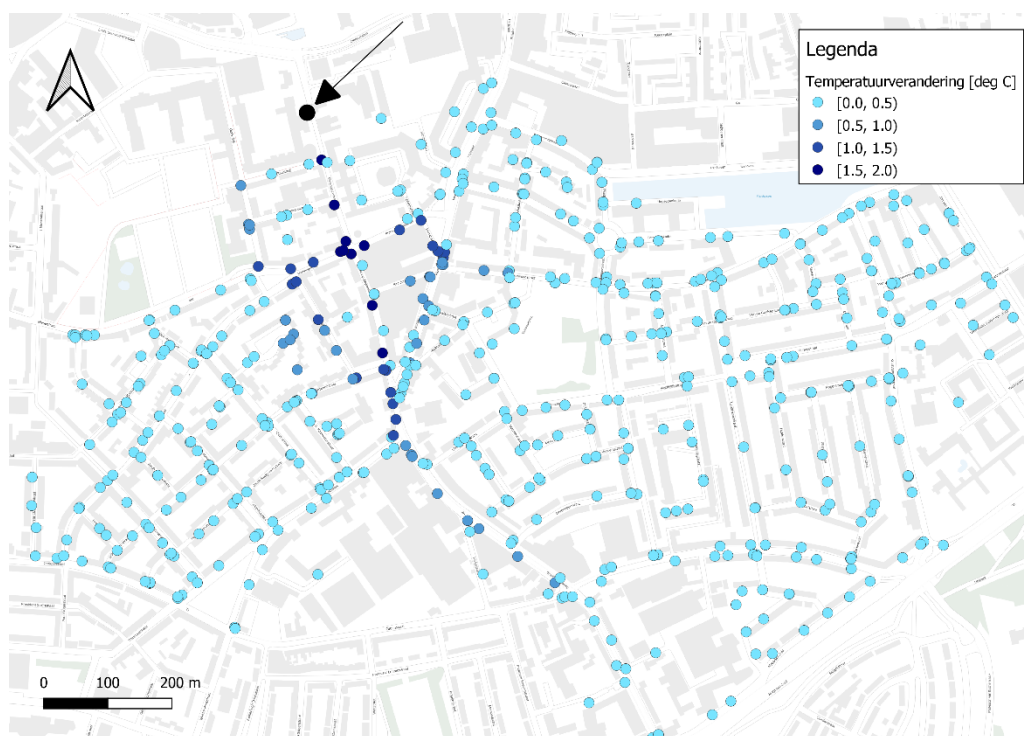
In Figuur 4-7 is een cumulatief histogram weergegeven van de gemodelleerde temperatuurverandering om 5:00 's morgens (criteriumdag) voor de 573 aansluitingen die in het potentiële invloedsgebied van de TED-installatie liggen. De onder- en bovengrens worden bepaald door variatie in de leiding-bodem-factor (zie §3.3).



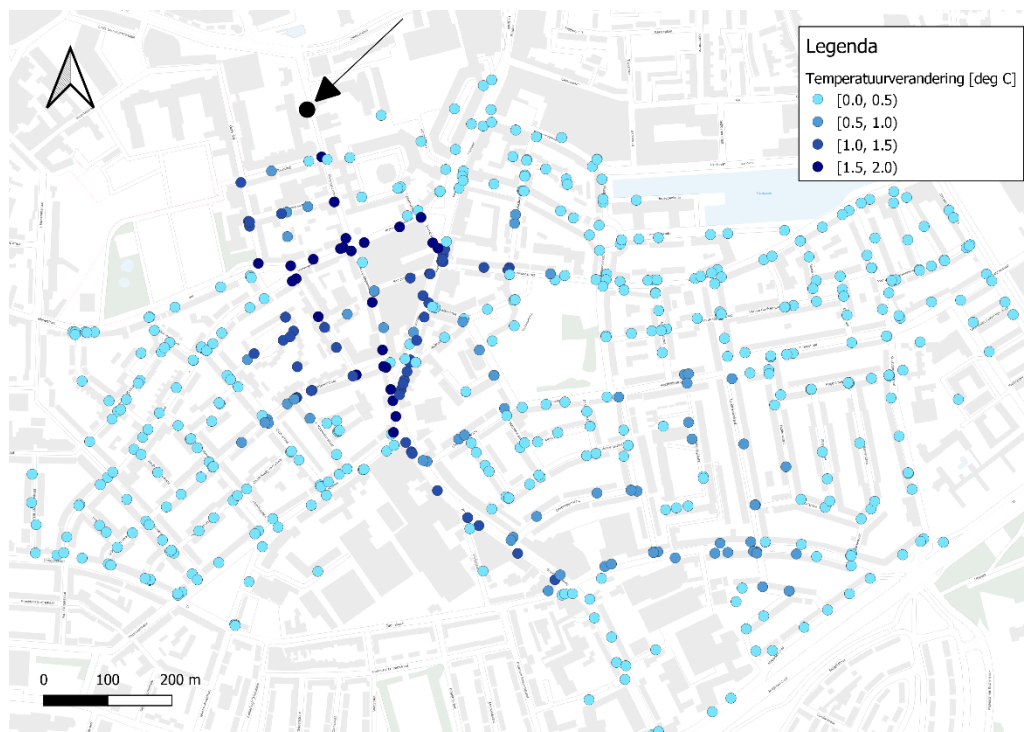
Figuur 4-7 Cumulatieve verdeling van aantal aansluitingen in relatie tot gemodelleerde (absolute) temperatuurverandering 's middags (15:00 uur) op een criteriumdag ter plaatse van de aansluitingen. D_g is de leiding-bodem-factor.

Uitgaande van een temperatuurverandering van -2°C ter plaatse van de TED-installatie resteert (afhankelijk van de invloed van de leiding op de bodem) bij 5 - 15% van de klanten in het potentiële invloedsgebied een temperatuurverandering $< -1^\circ\text{C}$ ($>50\%$ van de oorspronkelijke afwijking). Het aandeel aansluitingen met een temperatuurverandering $-1,5$ tot $-2,0^\circ\text{C}$ bedraagt 2-5%.

De figuren op pagina 35 geven de verwachte temperatuurverandering weer voor alle 573 aansluitingen in het potentiële invloedsgebied. De uitkomsten laten een relatie zien met de oorsprong van het drinkwater (tracerstudie; Figuur 3-3).



Figuur 4-8 Reikwijdte temperatuurverandering 's middags (15:00 uur) op een criteriumdag bij en een maximale temperatuurverandering gelijk aan -2°C en een leiding-bodem-factor (D_g) van 1,1. De zwarte stip bovenaan de kaart is de positie van de TED-installatie.

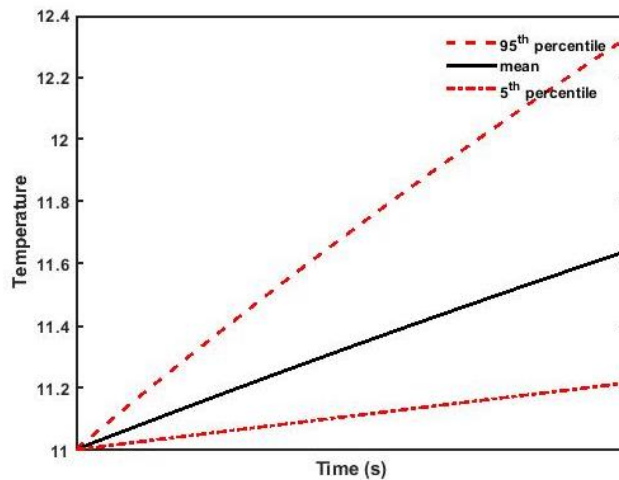


Figuur 4-9 Reikwijdte temperatuurverandering 's middags (15:00 uur) op een criteriumdag bij en een maximale temperatuurverandering gelijk aan -2°C en een leiding-bodem-factor (D_g) van 1,5. De zwarte stip bovenaan de kaart is de positie van de TED-installatie.

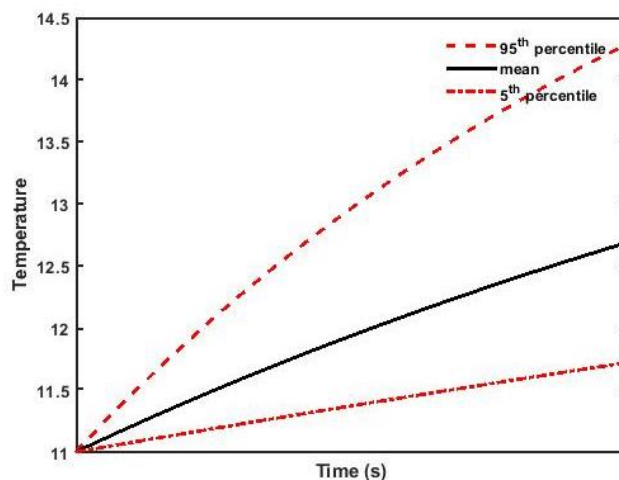
4.2 Onzekerheidsanalyse watertemperatuurmodel

Voor de onzekerheidsanalyse zijn met een Monte Carlo analyse een veelvoud aan simulaties met het watertemperatuurmodel uitgevoerd voor een vereenvoudigde hydraulische situatie (volumestroom van a naar b over een afstand van 1000 m). De bodemparameters (Tabel 3-4) zijn daarbij gevarieerd. Deze Monte Carlo analyse is uitgevoerd voor drie volumestromen: 37,6 m³/h, 12,3 m³/h en 4 m³/h. Deze volumestromen zijn afgeleid van respectievelijk (1) de maximale volumestroom die gedurende de meetperiode in de Ø200 leiding ter hoogte van Fontys Hogeschool gemeten is (Figuur 4-1), (2) de gemiddelde volumestroom op basis van de gemeten waarden (factor 3 kleiner dan max. volumestroom) en (3) een indicatieve waarde voor een lage volumestroom tijdens de nacht (factor 3 kleiner dan gemiddelde volumestroom).

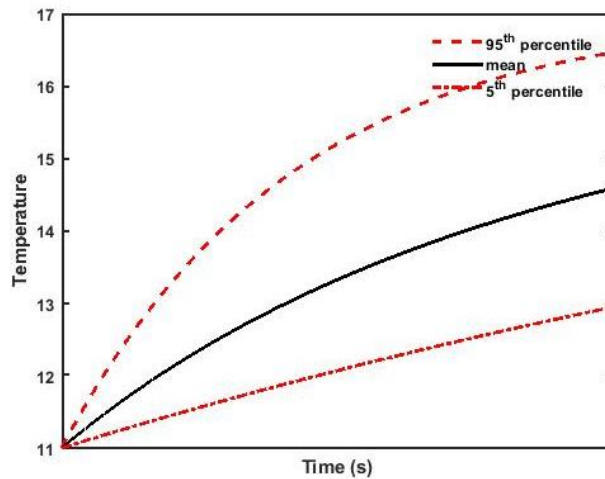
De uitkomsten van de onzekerheidsanalyses voor de drie volumestromen 37,6 m³/h, 12,3 m³/h en 4 m³/h zijn zichtbaar in respectievelijk Figuur 4-10, Figuur 4-11, Figuur 4-12. De simulatietijd voor elke analyse komt overeen met de tijd die het water er over doet om 1000 m leiding te doorstromen bij de gegeven volumestroom.



Figuur 4-10 Gemiddelde, 5- en 95-percentiel van 250 simulaties bij een volumestroom van 37,6 m³/h.



Figuur 4-11 Gemiddelde, 5- en 95-percentiel van 250 simulaties bij een volumestroom van 12,3 m³/h.



Figuur 4-12 Gemiddelde, 5- en 95-percentiel van 250 simulaties bij een volumestroom van 4 m³/h.

De resultaten van de onzekerheidsanalyse brengen, ten aanzien van het watertemperatuurmodel, twee belangrijke dingen in beeld:

- Zoals eerder in dit rapport toegelicht heeft de volumestroom (en, gegeven de diameter, de verblijftijd) veel invloed op de mate waarin de bodemtemperatuur bereikt wordt. Bij een hoge volumestroom (Figuur 4-10) is de temperatuur, na afkoeling van het water in de TED-installatie, (gemiddeld gezien voor alle doorgerekende scenario's) slechts met ongeveer een halve graad gestegen. Bij een lage volumestroom (Figuur 4-12) is na 1000 m nagenoeg de temperatuur bereikt waarmee het water oorspronkelijk aankwam bij Fontys Hogeschool (15°C) (Figuur 4-1), een verschil van 4°C met de situatie bij een hoge volumestroom (Figuur 4-10).
- De variatie die uit de verschillende figuren volgt (5- tot 95-percentiel) laat zien dat de bodemparameters (warmtegeleidingscoëfficiënt λ_g van de bodem en de dikte d_g van de extra thermische weerstand in het model, zie §3.3) een belangrijke invloed hebben op de uitkomsten van het model. Het is daarom van belang om rekening te houden met een mogelijke spreiding van uitkomsten (zoals ook gedaan is, zie de beschrijving van de uitkomsten van het watertemperatuurmodel in §4.1).

5 Resultaten effect microbiologie

5.1 Biomassa productie potentie van het materiaal in de warmtewisselaar

De gemeten BPP-waarden van het geteste materiaal staan in Tabel 5-1. De BPP-waarden van de controles glas en PVC-P voldoen aan de voorwaarden van de test: de BPP-waarde van glas is lager dan 100 pg ATP/cm², die van PVC-P is hoger dan 10.000 pg ATP/cm².

De BPP-waarde van de biofilm op RVS-316 is vergelijkbaar laag met die van glas. Er wordt geen biofilm gevormd op RVS-316, de BPP-waarde is 0 pg ATP/cm². In aanwezigheid van EPDM is er meer ATP aanwezig in de biofilm wat leidt tot een hogere BPP-waarde: 1925 pg ATP/cm² (Tabel 5-1). Uit RVS komen dus zoals te verwachten geen stoffen vrij die door micro-organismen gebruikt kunnen worden om te groeien en biomassa te produceren. Uit EPDM komen wel groeibevorderende stoffen vrij, de BPP-waarde is hoger dan die mag zijn voor (leiding)materialen die in het drinkwaterdistributienet gebruikt mogen worden (1000 pg/cm²).

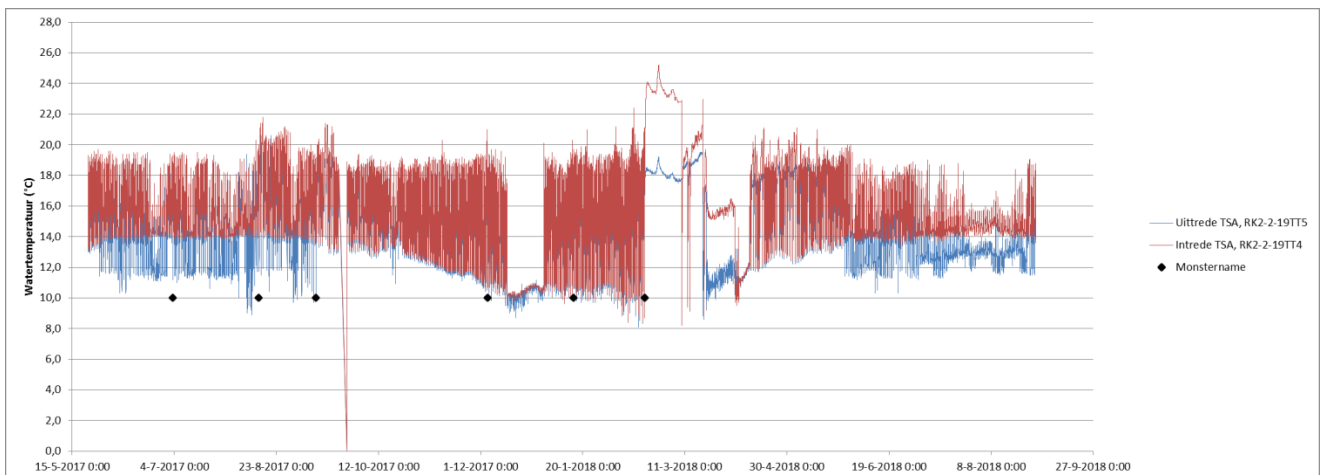
Tabel 5-1. De BiomassaProductiePotentie (BPP) van het materiaal van de warmtewisselaar, RVS-316 en EPDM. Gegeven is de gemiddelde ATP concentratie in de biofilm op het materiaal. Deze getallen zijn gecorrigeerd voor de waarde van glas (met SD).

| | BPP (pg/cm ²) | SD (pg/cm ²) |
|---------|---------------------------|--------------------------|
| Glas | 52,0 | 18,6 |
| PVC-P | 13345,7 | 2485,1 |
| RVS-316 | 0,0 | 21,1 |
| EPDM | 1924,5 | 311,1 |

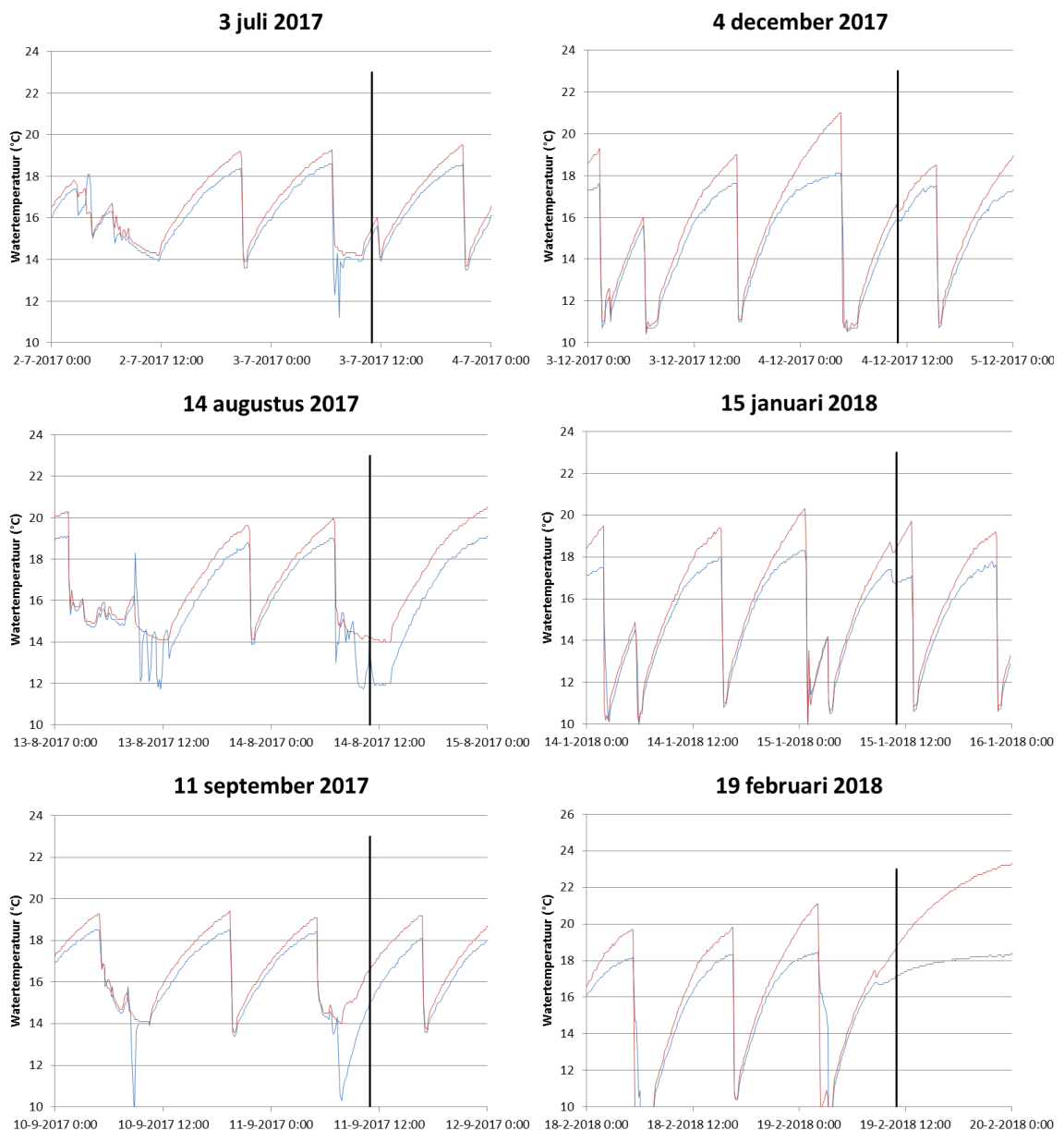
5.2 Microbiologische monitoring van de warmtewisselaar

5.2.1 Watertemperatuur tijdens microbiologische monitoring

De watertemperatuur van het ingaande en uitgaande water van de warmtewisselaar varieert, maar is in de zomer ongeveer 14 tot 19°C (ingaande) en 11 tot 18°C (uitgaande water) (Figuur 5-1). Met name het ingaande water kan in de maanden augustus en september boven de 19°C uitkomen en er worden watertemperaturen van 20 - 21°C gemeten. In de winter zijn de verschillen groter naarmate de winter verder vordert: 10 tot 19°C voor zowel het ingaande als uitgaande water. In de winterperiode wordt er niet of nauwelijks warmte gewonnen uit het water waardoor het water in de warmtewisselaar lang stilstaat. Als gevolg hiervan warmt het water op. Dit is duidelijk te zien in de grafieken van december 2017, januari en februari 2018 (Figuur 5-2). Als maatregel tegen te sterke opwarming en te lange stilstand van het water, wordt het water in het systeem daarom periodiek verversed door het systeem door te spoelen met drinkwater uit de leiding die buiten het terrein van de hogeschool ligt. Dit gebeurt elke 9 tot 12 uur. Op het moment van monsternamen verschillen de temperaturen van het in- en uitgaande water van de warmtewisselaar weinig van elkaar (Figuur 5-1, Figuur 5-2).



Figuur 5-1. Watertemperatuur van het ingaande (rood) en uitgaande (blauw) water van de warmtewisselaar. De zwarte ruiten geven het moment de monsternamen weer.



Figuur 5-2. Temperatuurvariatie rondom het moment van monsternam. De zwarte lijn geeft het moment van monsternam weer. rood: temperatuur van het ingaande water, blauw: temperatuur van het uitgaande water.

5.2.2 Microbiologische analyse van water en biofilm van de warmtewisselaar

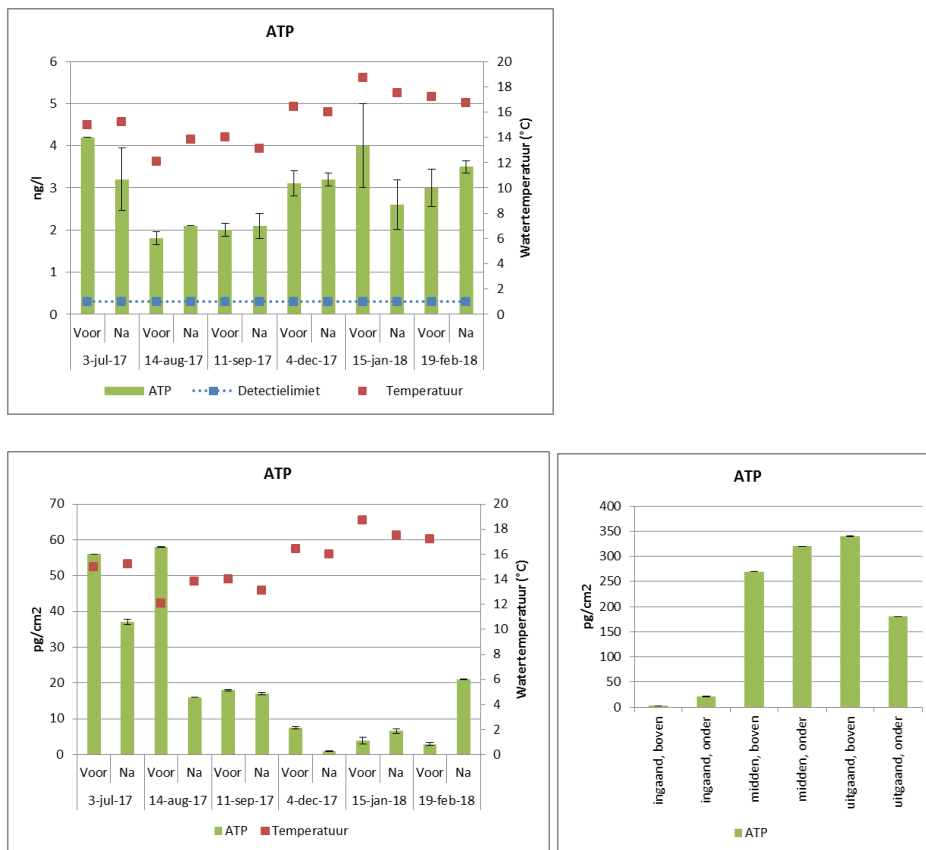
De resultaten van de microbiologische analyses op het water kunnen vergeleken worden met een referentiewaarden die bekend zijn van vele metingen aan het Nederlandse drinkwaterdistributienet. Voor de biofilm analyses zijn echter slechts weinig referentiewaarden bekend, dergelijke waarden zijn grotendeels afkomstig uit eerder onderzoek naar warmtewisselaars in Hoozevee en Culemborg (van Bel *et al.*, 2017). De resultaten van de microbiologische monitoring zijn weergegeven per soort micro-organisme en per monstertype (water, biofilm op leidingsegment, biofilm op plaat). In de grafieken is de detectielimiet van de meetmethoden weergegeven (blauw) en de watertemperatuur op het moment van bemonsteren (rood).

Het ATP-gehalte in het drinkwater ligt tussen de 1,8 en 4,2 ng/l (Figuur 5-3), wat normale waarden zijn voor Nederlands drinkwater bereid uit grondwater (van der Wielen en van der Kooij, 2010). Het ATP-gehalte in de biofilm van de aan-en afvoerende leidingen is vrij laag (1 - 58 pg/cm²) vergeleken met de afvoerende leiding in Hoogeveen. In de biofilm op de platen van Tilburg is het ATP-gehalte hoger, met een maximum van 340 pg/cm². Deze waarden zijn vergelijkbaar met ATP-gehalten die op leidingmaterialen zoals PVC-C worden aangetroffen (ongeveer 100 pg/cm²). De ATP-gehalten zijn wel fors lager dan in de warmtewisselaar van Hoogeveen (1 x10⁴ - 4,2x10⁴ pg/cm²), deze warmtewisselaar was echter al langer in bedrijf (3 à 4 jaar) (van Bel *et al.*, 2017). De warmtewisselaar in Tilburg is in juli 2016 opgestart en de biofilm op de warmtewisselaarplaten is na 17 maanden bemonsterd. Over het algemeen is de biofilm in een nieuwe leiding na 6 maanden relatief stabiel, zolang de omstandigheden (bijvoorbeeld het soort en hoeveelheid nutriënten en de stroomsnelheid) niet sterk veranderen. Op het moment van monsternamen is er dus waarschijnlijk een stabiele biofilm aanwezig. Er vindt in de Tilburgse warmtewisselaar geen sterke biofilmvorming plaats vergeleken met Hoogeveen. De warmtewisselaar van Hoogeveen is langer in bedrijf dan Tilburg, maar het is onwaarschijnlijk dat dit de grote verschillen veroorzaakt.

Het ATP-gehalte van de biofilm is in de zomer hoger dan in de winter. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat de 'zomersegmenten' vanaf de opstart van de warmtewisselaar in de warmtewisselaar hebben gezeten tot ze 12-14 maanden later werden uitgenomen voor de bemonstering. De 'wintersegmenten' zijn geplaatst tijdens de bemonstering en vervanging van de 'zomersegmenten' en zijn daarom ongeveer 6 maanden in de warmtewisselaar aanwezig geweest. Dit is voldoende tijd om een stabiele biofilm te vormen, maar mogelijk is deze minder dik en actief dan wanneer deze periode langer was geweest.

Het ATP-gehalte in de leidingsegmenten is bij de meeste monsternamemomenten hoger voor de warmtewisselaar dan daarna. Mogelijk hangt dit samen met de watertemperatuur, aangezien die over het algemeen hoger is voor de warmtewisselaar dan daarna (Figuur 5-1). Op de platen van de warmtewisselaar is meer ATP, en dus biofilm, aanwezig dan op de leidingsegmenten. Uit de BPP-test blijkt dat het RVS waaruit de warmtewisselaarplaten zijn gemaakt geen groeibevorderende stoffen afgeeft (Tabel 5-1). De biofilmgroei die op de leidingen en warmtewisselaarplaten plaats vindt, wordt daarom zeer waarschijnlijk veroorzaakt door groeibevorderende stoffen die zich in het drinkwater bevinden. De sterkere biofilmgroei op de platen, vergeleken met de leidingen, wordt waarschijnlijk veroorzaakt door een lagere stroomsnelheid in de warmtewisselaar, een groter oppervlakte en het profiel van de platen waardoor mogelijk lokaal weinig stroming is en biofilmvorming wordt versterkt. Daarnaast is het mogelijk dat er, ondanks dat de BPP-waarde van het EPDM rubber niet significant hoger is dan de norm, groeibevorderende stoffen uit het omringende EPDM rubber lekken die door bacteriën in het drinkwater als voedingsbron worden gebruikt. Er is ook een duidelijk verschil in biofilmvorming tussen de plaat aan de ingaande kant van de warmtewisselaar (3-21 pg/cm²), en de andere platen (180 - 340 pg/cm²). Er is geen duidelijke reden voor het verschil in ATP-gehalte tussen de platen. Het ingaande water is over het algemeen warmer dan het uitgaande water, waardoor eerder het omgekeerde beeld zou worden verwacht.

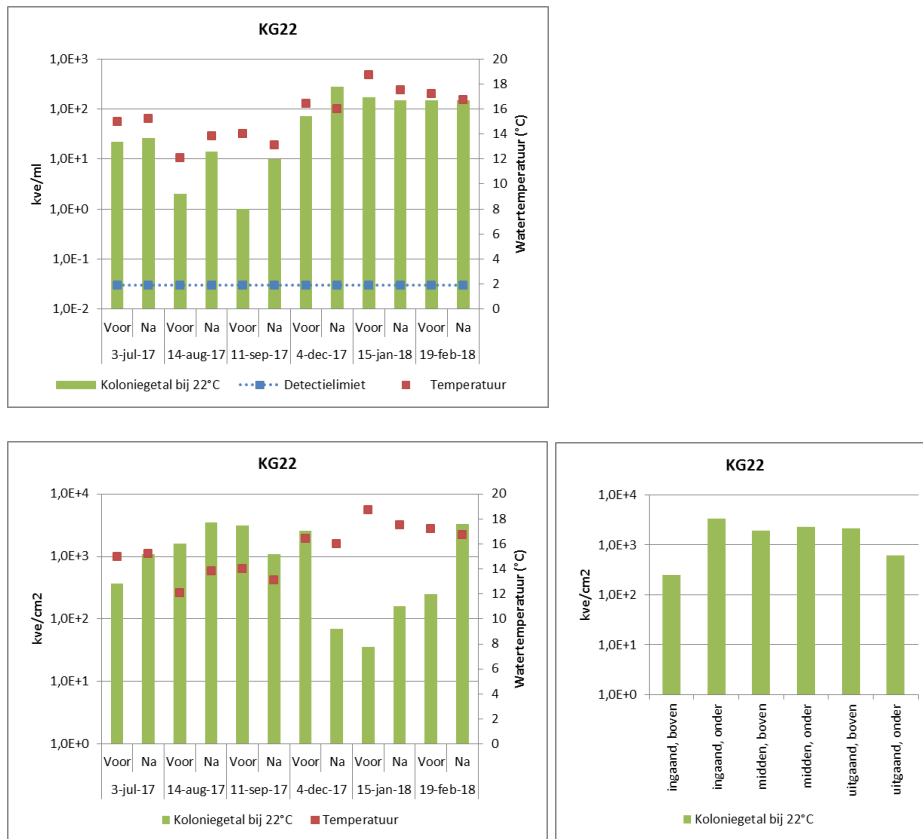
Aangezien het ATP-gehalte in de leidingsegmenten na de warmtewisselaar meestal (maar niet altijd) lager is dan voor de warmtewisselaar, suggereert dit dat de bacteriën in de biofilm op de platen niet in grote getale los laten en de biofilm na de warmtewisselaar 'versterken'.



Figuur 5-3. ATP in het water (linksboven) en de biofilm (linksonder) voor en na de warmtewisselaar, en in de biofilm op de warmtewisselaarplaten (rechtsonder) in Tilburg. De watertemperatuur tijdens monsternamen en de detectiegrens in water zijn gegeven. De detectiegrens in de biofilm is niet gegeven omdat in alle monsters ATP in de biofilm is aangetroffen.

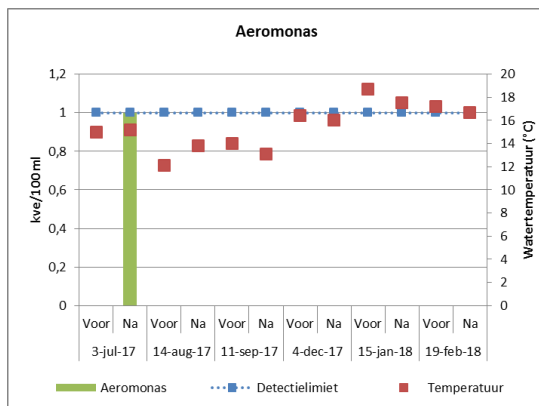
Bacteriën behorend tot koloniegetal 22°C (KG22) komen in het water voor in aantallen tussen de 1 en 280 kve/ml (Figuur 5-4). In de winter zijn de getallen in het water hoger, maar in de biofilm lager, dan in de zomer. Zoals hierboven beschreven worden de lagere aantallen in de biofilm van de 'wintersegmenten' waarschijnlijk veroorzaakt doordat deze korter in contact hebben gestaan met water dan de 'zomersegmenten'.

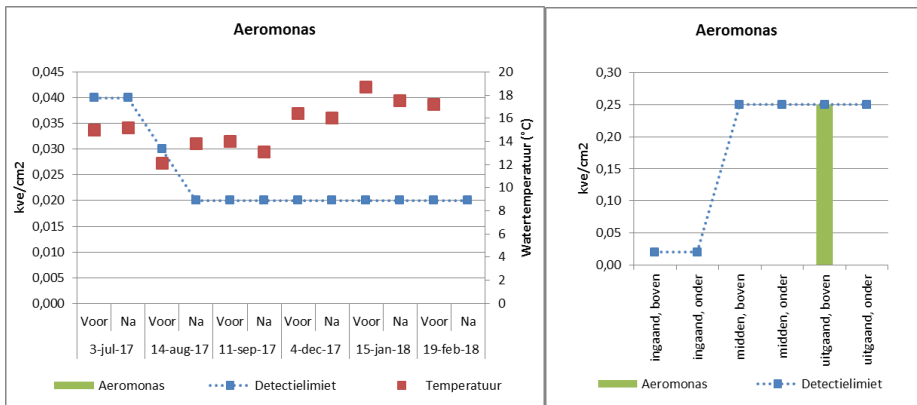
De getallen in de biofilm op de warmtewisselaarplaten komen overeen met die op de leidingsegmenten ($2 \times 10^2 - 3 \times 10^3$ kve/cm²). Er lijkt geen effect van de warmtewisselaar zichtbaar te zijn op de KG22-aantallen in de biofilm van de warmtewisselaarplaten. De warmtewisselaar lijkt soms het koloniegetal in het water en de biofilm op de leidingsegmenten licht te verhogen: bij vier van de zes watermonsters worden na de warmtewisselaar hogere aantallen aangetroffen (juli, augustus, september, december 2017) en ook in de biofilm op de leidingsegmenten worden na de warmtewisselaar in vier van de zes biofilmmonsters hogere aantallen aangetroffen (juli, augustus 2017, januari, februari 2018). Bij de andere twee monsternames is het koloniegetal na de warmtewisselaar lager. Gemiddeld is de watertemperatuur na de warmtewisselaar lager dan voor de warmtewisselaar (Figuur 5-1), het is dus niet waarschijnlijk dat de watertemperatuur hier een rol in speelt.



Figuur 5-4. KG22 bacteriën in het water (linksboven) en de biofilm (linksonder) voor en na de warmtewisselaar, en in de biofilm op de warmtewisselaarplaten (rechtsonder) in Tilburg. De watertemperatuur tijdens monsternamen en de detectiegrens in water en biofilm zijn gegeven. De detectiegrens in de biofilm is niet gegeven omdat in alle monsters KG22 in de biofilm is aangetroffen.

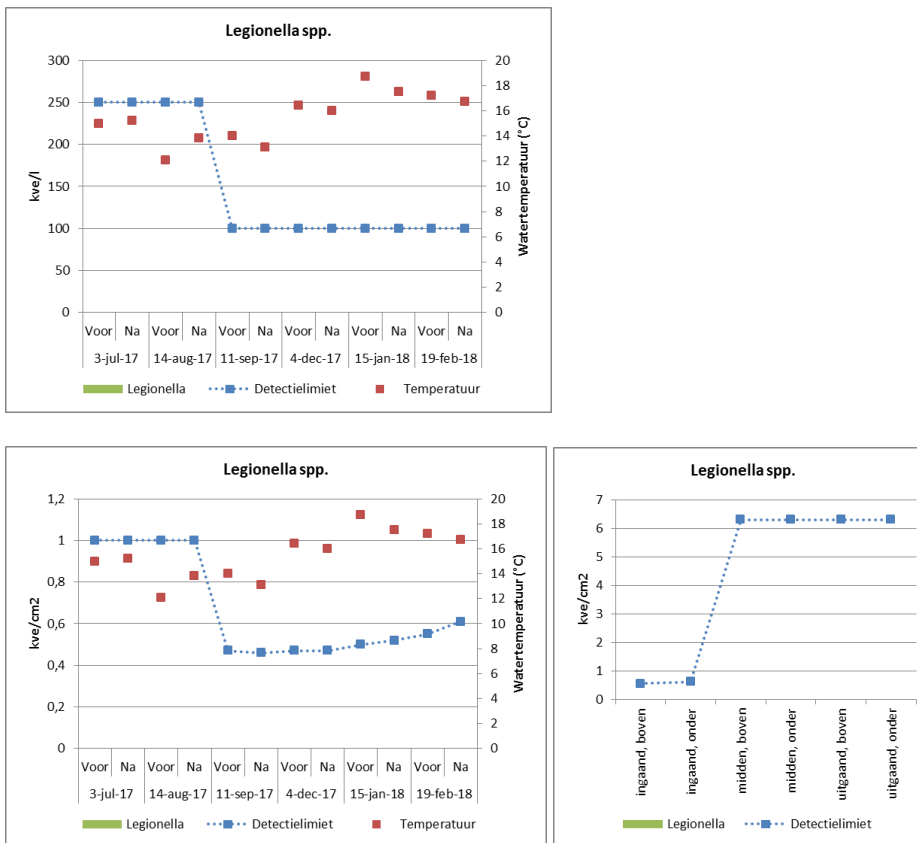
Aeromonas bacteriën zijn slechts één keer aangetroffen in het drinkwater (3 juli 2017, na de warmtewisselaar). Daarnaast zijn ze één keer aangetroffen in de biofilm op de warmtewisselaarplaten. Mede omdat *Aeromonas* zo sporadisch voorkomt, is geen effect zichtbaar van de watertemperatuur op het voorkomen van *Aeromonas* (Figuur 5-5).





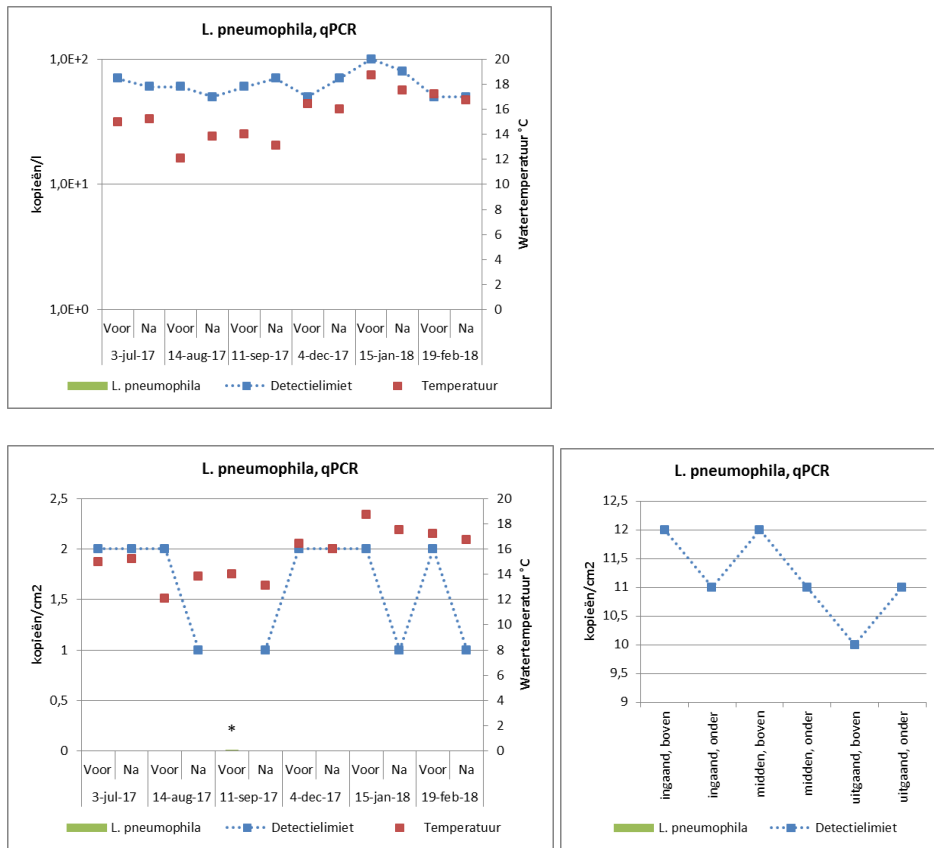
Figuur 5-5. *Aeromonas* bacteriën in het water (linksboven) en de biofilm (linksonder) voor en na de warmtewisselaar, en in de biofilm op de warmtewisselaarplaten (rechtsonder) in Tilburg. De watertemperatuur tijdens monsternamen en de detectiegrens in water en biofilm zijn gegeven.

Kweekbare *Legionella spp.* bacteriën zijn niet aangetroffen in het drinkwater en de biofilm (Figuur 5-6).



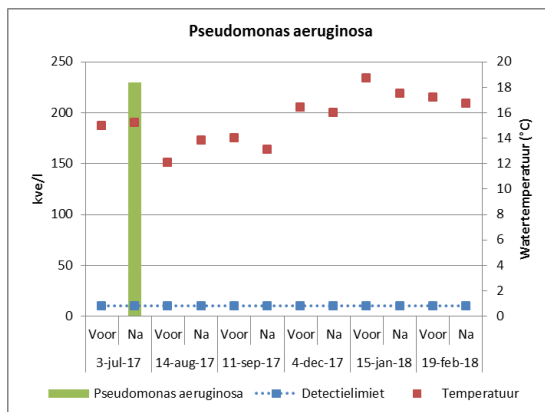
Figuur 5-6. *Legionella spp.*, bepaald met kweek, in het water (linksboven) en de biofilm (linksonder) voor en na de warmtewisselaar, en in de biofilm op de warmtewisselaarplaten (rechtsonder) in Tilburg. De watertemperatuur tijdens monsternamen en de detectiegrens in water en biofilm zijn gegeven. De detectiegrens in de biofilm is alleen gegeven als er geen *L. pneumophila* in de biofilm is aangetroffen.

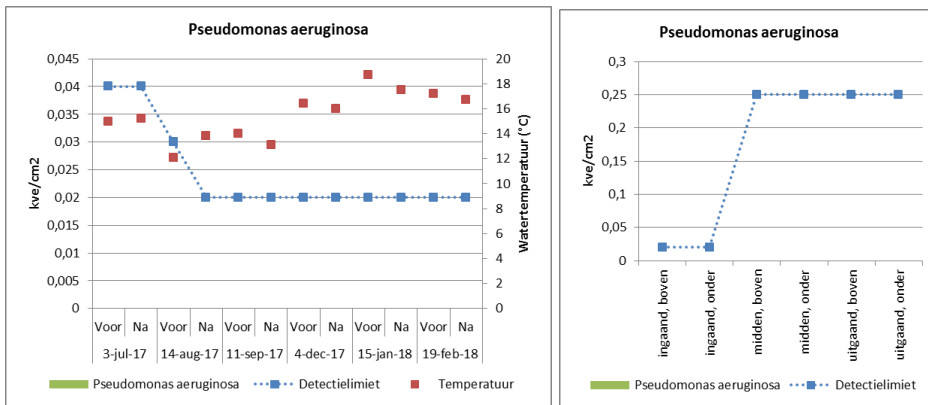
Er is geen DNA van *L. pneumophila* aangetroffen in het water (Figuur 5-7).



Figuur 5-7. *L. pneumophila*, bepaald met qPCR, in het water (linksboven) en de biofilm (linksonder) voor en na de warmtewisselaar, en in de biofilm op de warmtewisselaarplaten (rechtsonder) in Tilburg. De watertemperatuur tijdens monsternamen en de detectiegrens in water en biofilm zijn gegeven. De detectiegrens in de biofilm is alleen gegeven als er geen *L. pneumophila* in de biofilm is aangetroffen. *: Geen gegevens beschikbaar.

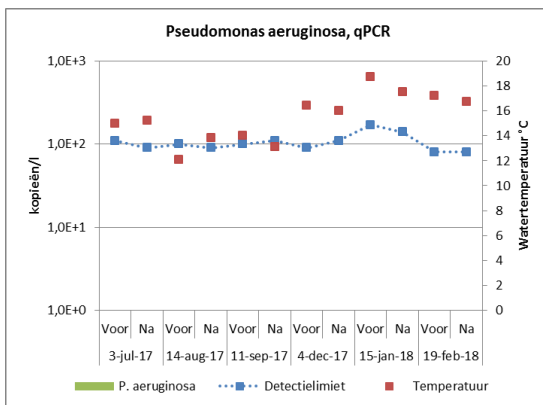
P. aeruginosa is één keer aangetroffen in het water (3 juli 2017, na de warmtewisselaar). *P. aeruginosa* komt normaal gesproken in 5-10% van de Nederlandse drinkwatermonsters voor, zodat het aantreffen van *P. aeruginosa* in één van de 12 monsters kon worden verwacht. Aangezien *P. aeruginosa* verder niet wordt aangetroffen in het water of de biofilm is er geen uitspraak te doen over een verband met de watertemperatuur of de warmtewisselaar.

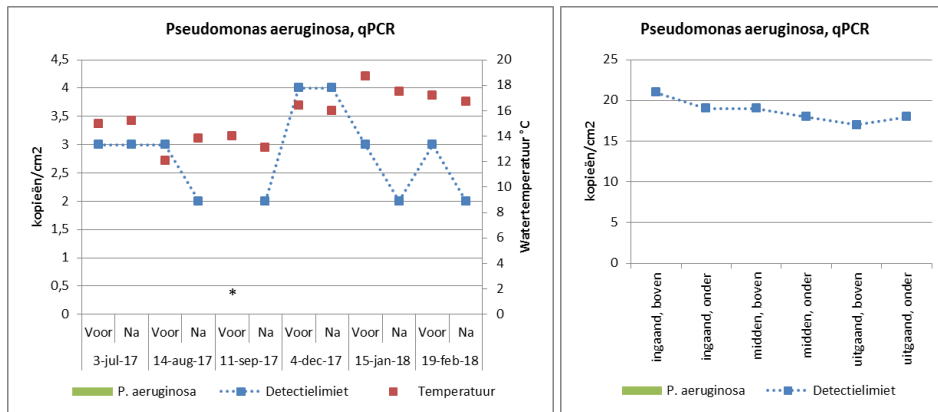




Figuur 5-8. *P. aeruginosa*, bepaald met kweek, in het water (linksboven) en de biofilm (linksonder) voor en na de warmtewisselaar, en in de biofilm op de warmtewisselaarplaten (rechtsonder) in Tilburg. De watertemperatuur tijdens monsternamen en de detectiegrenzen in water en biofilm zijn gegeven. De detectiegrenzen in de biofilm is alleen gegeven als er geen *P. aeruginosa* in de biofilm is aangetroffen.

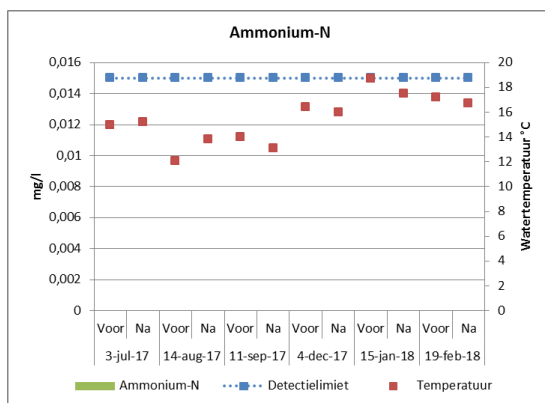
Er is geen DNA van *P. aeruginosa* aangetroffen in het water en de biofilm (Figuur 5-9). Dit terwijl met de kweek een 230 kve/l *P. aeruginosa* bacteriën werd gemeten. De detectiegrenzen van de qPCR methode ligt op ongeveer 1 bacterie per getest volume. Voor de qPCR is omgerekend 100 ml drinkwater getest, waarin het DNA van 23 kve *P. aeruginosa* bacteriën aanwezig zouden moeten zijn. Het is onduidelijk waarom deze niet zijn gedetecteerd met de qPCR methode. Een mogelijkheid is dat, ondanks de bevestigingstesten die onderdeel zijn van de kweekmethode, de gekweekte bacteriën geen *P. aeruginosa* bacteriën zijn, maar wel als zodanig zijn getypeerd en geteld. Dit zou verklaren waarom ze niet gedetecteerd zijn met de qPCR.

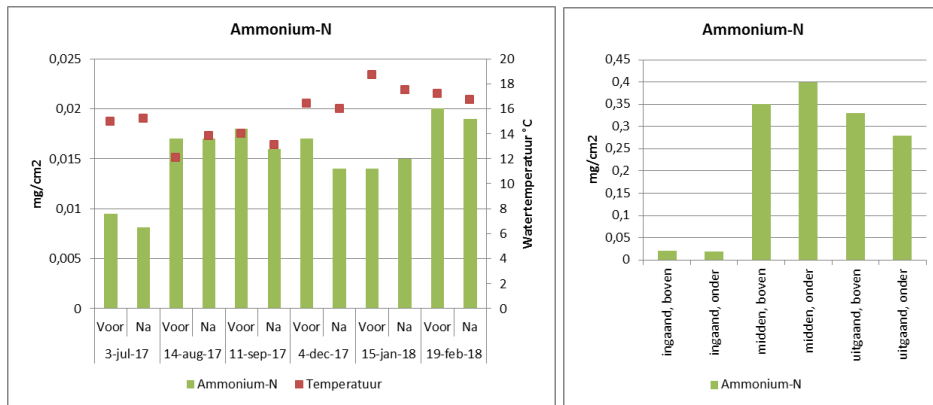




Figuur 5-9. *Pseudomonas aeruginosa*, bepaald met qPCR, in het water (linksboven) en de biofilm (linksonder) voor en na de warmtewisselaar, en in de biofilm op de warmtewisselaarplaten (rechtsonder) in Tilburg. De watertemperatuur tijdens monsternamen en de detectiegrenzen in water en biofilm zijn gegeven. De detectiegrenzen in de biofilm is alleen gegeven als er geen *P. aeruginosa* in de biofilm is aangetroffen. *: Geen gegevens beschikbaar.

De ammoniumconcentratie in het water is lager dan de detectiegrens van 0,015 mg/l (Figuur 5-10). In de biofilm is wel ammonium aanwezig, deze concentraties zijn vergelijkbaar met of lager dan concentraties die in eerder onderzoek in de warmtewisselaar van Hoogeveen zijn gemeten (0,4 - 0,65 µg NH₄-N/cm²) (van Bel *et al.*, 2017). Met deze methode is echter niet met zekerheid te zeggen of het gemeten ammonium afkomstig is uit micro-organismen die zich in de biofilm bevinden, de ammonium vrij voorkomt in de biofilm of dat het gaat om ammonium dat tijdens de opwerking van de biofilm vrijkomt. Het sterke verschil in ammoniumgehalte tussen de biofilm op de ingaande plaat en twee andere platen, komt overeen met het verschil in biofilmvorming zoals gemeten met ATP. Dit suggereert dat het gemeten ATP voornamelijk afkomstig is uit de micro-organismen in de biofilm. Dit kan echter niet met zekerheid worden gezegd, omdat een dikkere biofilm met meer ATP en micro-organismen mogelijk ook meer vrij voorkomend ammonium bevat.



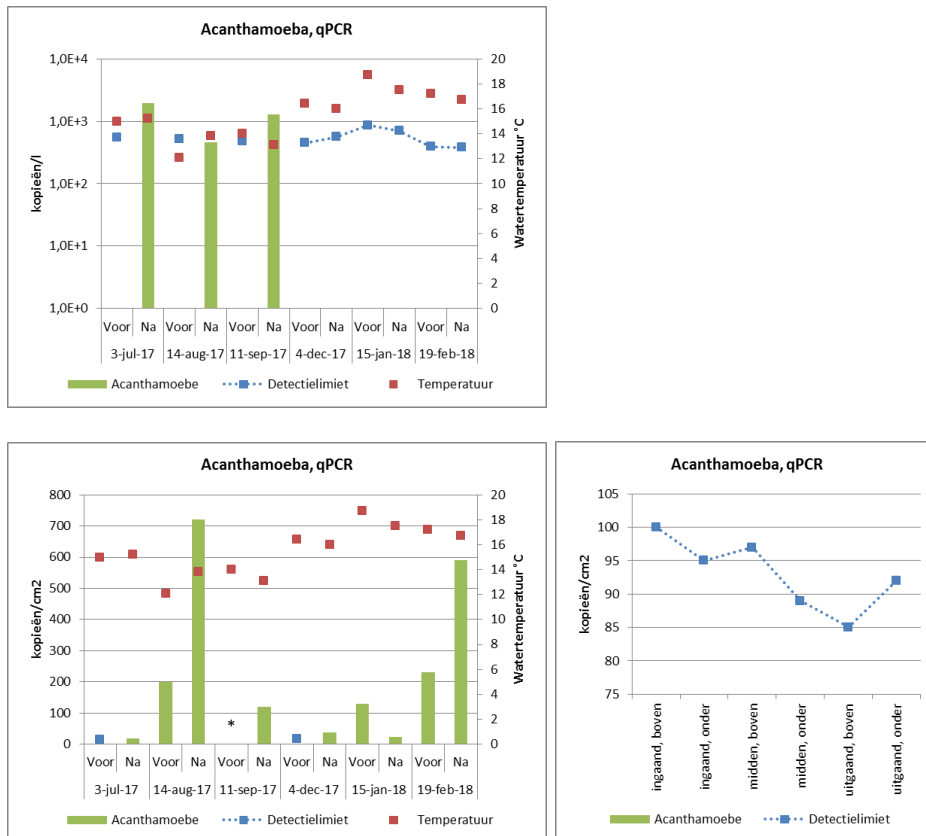


Figuur 5-10. Ammonium-concentratie (in mg N-NH₄) in het water (linksboven) en de biofilm (linksonder) voor en na de warmtewisselaar, en in de biofilm op de warmtewisselaarplaten (rechtsonder) in Tilburg. De watertemperatuur tijdens monsternamen en de detectiegrens in water en biofilm zijn gegeven. De detectiegrens in de biofilm hangt sterk af van het bemonsterde oppervlakte biofilm en is hier niet gegeven.

Met qPCR is *Acanthamoeba* drie keer aangetroffen in het water na de warmtewisselaar (3 juli, 14 augustus en 11 september 2017; Figuur 5-11). In de winterperiode was *Acanthamoeba* niet detecteerbaar. *Acanthamoeba* wordt normaal gesproken niet of nauwelijks aangetroffen in het Nederlandse drinkwater, het is daarom bijzonder dat *Acanthamoeba* regelmatig in het water wordt aangetroffen (Valster *et al.*, 2009; van Bel *et al.*, 2017; van der Wielen en van der Kooij, 2011; van der Wielen en van der Kooij, 2009; van der Wielen en van der Kooij, 2013).

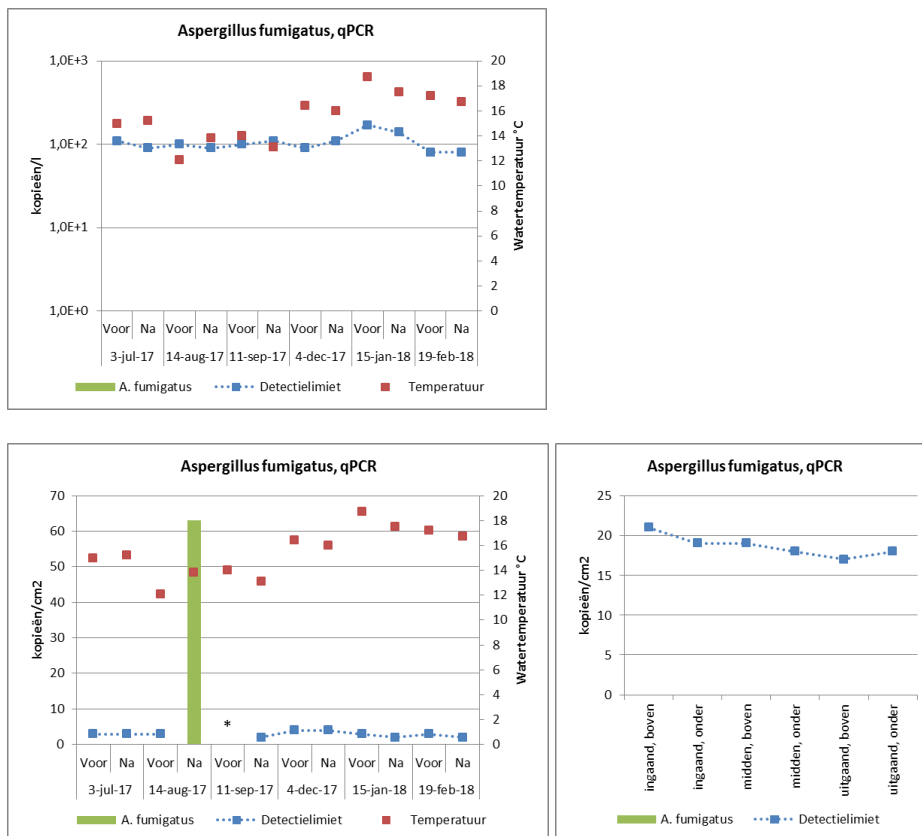
Daarnaast is *Acanthamoeba* in bijna elk biofilmmonster van de aan-en afvoerende leidingen aangetroffen, maar niet in de biofilm van de warmtewisselaarplaten. De biofilm op de leidingen na de warmtewisselaar bevat tijdens alle monsternames meer *Acanthamoeba* dan de leidingen voor de warmtewisselaar. De warmtewisselaar lijkt dus te beïnvloeden. Het is echter opmerkelijk dat *Acanthamoeba* niet aantoonbaar aanwezig is in de biofilm van de platen van de warmtewisselaar. De warmtewisselaar lijkt dus geen verontreinigingsbron waarmee het de benedenstrooms gelegen leidingen kan besmetten. Parameters om de biofilm te karakteriseren geven geen eenduidig beeld dat de biofilm na de warmtewisselaar dikker is of meer bacteriën bevat: KG22 is hoger maar het ATP-gehalte is lager voor de warmtewisselaar vergeleken met daarna. Dit lijkt daarom niet de verschillen in *Acanthamoeba* te verklaren.

Mogelijk speelt de watertemperatuur een rol bij de kolonisatie en eventuele groei van *Acanthamoeba* omdat de watertemperatuur regelmatig boven de 15°C uit komt. Maar het lijkt onwaarschijnlijk dat het verschil in aantreffen van *Acanthamoeba* tussen voor en na warmtewisselaar wordt veroorzaakt door de watertemperatuur, aangezien de verschillen beperkt zijn. Daarnaast is er nog te weinig kennis over groei van *Acanthamoeba* bij deze lage temperaturen.



Figuur 5-11. *Acanthamoeba*, bepaald met qpcr, in het water (linksboven) en de biofilm (linksonder) voor en na de warmtewisselaar, en in de biofilm op de warmtewisselaarplaten (rechtsonder) in Tilburg. De watertemperatuur tijdens monsternamen en de detectiegrenzen in water en biofilm zijn gegeven. De detectiegrenzen in de biofilm zijn alleen gegeven als er geen *Acanthamoeba* in de biofilm is aangetroffen. *: Geen gegevens beschikbaar.

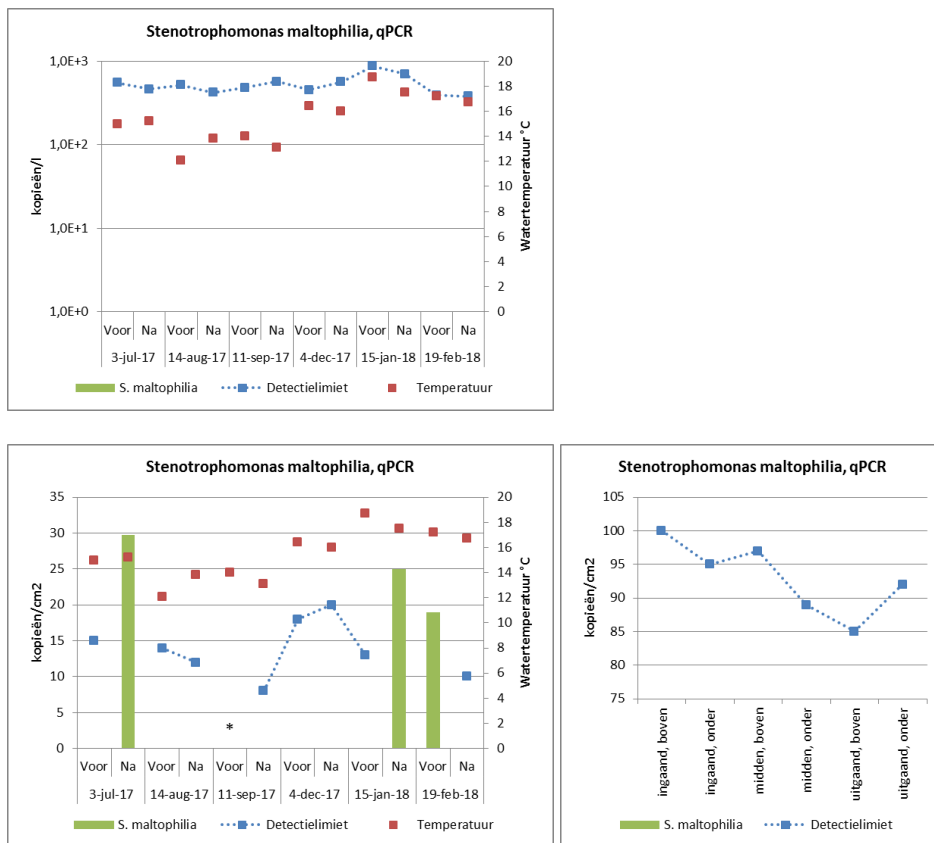
Het DNA van *A. fumigatus* is niet aangetroffen in het water en de biofilm op de platen van de warmtewisselaar. In de biofilm van de afvoerende leiding is *A. fumigatus* eenmaal aangetroffen (14 augustus 2017, Figuur 5-12). *A. fumigatus* komt normaal gesproken in 5-10% van de Nederlandse drinkwatermonsters voor, zodat het aantreffen van *A. fumigatus* in één van de 12 monsters kon worden verwacht. Aangezien *A. fumigatus* verder niet wordt aangetroffen in het water of de biofilm lijkt er geen verband te zijn met de watertemperatuur of de warmtewisselaar.



Figuur 5-12. *A. FUMIGATUS*, bepaald met qPCR, in het water (linksboven) en de biofilm (linksonder) voor en na de warmtewisselaar, en in de biofilm op de warmtewisselaarplaten (rechtsonder) in Tilburg. De watertemperatuur tijdens monsternamen en de detectiegrens in water en biofilm zijn gegeven. * Geen gegevens beschikbaar.

Het DNA van *S. maltophilia* is enkele keren aangetroffen in de biofilm van de leidingsegmenten, maar niet in het water en de biofilm op de warmtewisselaar platen (Figuur 5-13). *S. maltophilia* komt in 5-10% van Nederlandse drinkwatermonsters voor, maar over het voorkomen in de biofilm van het distributienet is geen informatie beschikbaar (Hofman en van der Wielen, 2015; van der Wielen en van der Kooij, 2013). Wel heeft eerder onderzoek aan een warmtewisselaar in Hoogeveen laten zien dat *S. maltophilia* in de biofilm van de warmtewisselaar aanwezig is.

Het voorkomen van *S. maltophilia* lijkt niet afwijkend te zijn van de normale situatie. Echter, door het sporadische voorkomen is geen conclusie te trekken over een eventuele relatie tussen het voorkomen van *S. maltophilia*, de temperatuur of de warmtewisselaar zelf.



Figuur 5-13. *S. maltophilia*, bepaald met qpcr, in het water (linksboven) en de biofilm (linksonder) voor en na de warmtewisselaar, en in de biofilm op de warmtewisselaarplaten (rechtsonder) in Tilburg. De watertemperatuur tijdens monsternamen en de detectiegrens in water en biofilm zijn gegeven. De detectiegrens in de biofilm is alleen gegeven als er geen *S. maltophilia* in de biofilm is aangetroffen. *: Geen gegevens beschikbaar.

6 Discussie

6.1 Reikwijdte temperatuurverandering

6.1.1 Hydraulica en drinkwatervraag

De hydraulica benedenstrooms van de TED-installatie kan beschouwd worden als de belangrijkste parameter voor de reikwijdte van de temperatuurverandering; wanneer er nauwelijks sprake is van doorstroming (bijvoorbeeld midden in de nacht) zal de reikwijdte van de temperatuurverandering klein zijn. Wanneer de volumestroom benedenstrooms van de TED-installatie hoog is, is de kans groot dat er voor locaties benedenstrooms van de TED-installatie merkbaar sprake is van een temperatuurverschil. De TED-installatie is in de zomer in gebruik om warmte uit het leidingnet toe te voegen aan de WKO van Fontys Hogeschool. De zomerperiode is ook de periode waarin (buiten de vakantieperiode) de hoogste volumestromen op kunnen treden omdat de drinkwatervraag dan maximaal is. Vanwege het feit dat hoge volumestromen en het in bedrijf zijn van de TED-installatie in dezelfde periode vallen (en om rekening te houden met de 'worst case') is bij de modelberekeningen uitgegaan van het maximum uur (21.00 uur) op de maximum dag. Het verschil tussen het maximum uur en het gemiddelde op de maximum dag is ongeveer een factor 2 ($65 \text{ m}^3/\text{h}$ versus $35 \text{ m}^3/\text{h}$). Uit volumestroommetingen op de voedende leiding ter plaatse van de TED-installatie volgen echter lagere waarden, namelijk een maximum van $37,6 \text{ m}^3/\text{h}$ en een gemiddelde waarde van $12,3 \text{ m}^3/\text{h}$. In geval de gemeten waarden als representatief beschouwd kunnen worden zal de reikwijdte van de (door de TED-installatie geïnitieerde) temperatuurverandering dus kleiner zijn dan berekend met het watertemperatuurmodel (op basis van de watervraag conform het door Brabant Water aangeleverde hydraulische model).

In de praktijk hebben, naast de drinkwatervraag, afsluiters ook een grote invloed op volumestromen in een drinkwaternet

6.1.2 Invloed en onzekerheid bodemparameters

Het watertemperatuurmodel is voor deze studie – ten opzichte van het oorspronkelijke model; Blokker en Pieterse-Quirijns (2013) – uitgebreid voor de mogelijke invloed van de temperatuur van het water in de leiding op de bodem, waardoor de demping van de door de TED-installatie geïnitieerde temperatuurverandering vertraagd zal worden. Om deze invloed mee te nemen is een extra weerstand rondom de leiding gemodelleerd. De parameters die hierbij geschat dienen te worden zijn de warmtegeleidingscoëfficiënt van de bodem en de dikte van de gemodelleerde warmteverstand. Eén van de oorspronkelijke ideeën voor deze studie was een kalibratie van het watertemperatuurmodel op deze parameters door gebruik te maken van metingen. De data die beschikbaar zijn maken het echter niet mogelijk om deze kalibratie uit te voeren. Daarom is gekozen voor een onzekerheidsanalyse op een vereenvoudigd model (leiding van a naar b) met vergelijkbare parameters (leidingdiameter, wanddikte, etc.) als de leiding ter plaatse van de TED-installatie. Deze onzekerheidsanalyse geeft een beeld van de spreiding van de uitkomsten na een verblijftijd conform de maximum gemeten volumestroom van $37,6 \text{ m}^3/\text{h}$. De spreiding in uitkomsten zijn niet één op één te vertalen naar de uitkomsten van het watertemperatuurmodel; hiervoor dient de Monte Carlo methode uit de onzekerheidsanalyse integraal met het

watertemperatuurmodel uitgevoerd te worden. Een dergelijke probabilistische hydraulische simulatie is op moment van schrijven echter nog niet beschikbaar.

6.1.3 Mitigerende invloed aansluitleiding en drinkwaterinstallatie

De locaties waarvoor in deze studie het resterende temperatuurverschil bepaald is betreffen zogenaamde 'service points'. Dit zijn de locaties waar in werkelijkheid de verbinding (=aansluitleiding) tussen het distributienet en de drinkwaterinstallatie ligt. De mate waarin de klant nadeel ondervindt van het resterende temperatuurverschil, zoals dit gemodelleerd is voor de locatie in de straat vóór de woning, is afhankelijk van het temperatuurverschil waarmee het water daadwerkelijk aan zal komen bij de apparaten van de betreffende klant die het water verwarmen (warmtapwaterbereider, wasmachine, vaatwasser). Dit temperatuurverschil is afhankelijk van de temperatuurverandering die op zal treden op het traject dat het drinkwater aflegt tussen het service point (de dienstkraan) en de warmtapwaterbereider. Dit traject wordt gevormd door (1) de aansluitleiding (traject dienstkraan - watermeter) en (2) de (collectieve) drinkwaterinstallatie (traject watermeter - warmtapwaterbereider). Op basis van bevindingen uit onderzoek naar temperatuurveranderingen van drinkwater in drinkwaterinstallaties is het de verwachting dat de daadwerkelijk meetbare resterende temperatuurverschillen klein zullen zijn door verdere opwarming van het drinkwater in de (collectieve) drinkwaterinstallatie (Moerman *et al.*, 2014; Zlatanovic *et al.*, 2017). Het feit dat voor deze opwarming warmte onttrokken wordt aan het desbetreffende gebouw is in dit geval niet nadelig, omdat gebouwwarmte in de zomer voldoende beschikbaar is en er niet gestookt hoeft te worden.

6.1.4 Tijdstip van watergebruik

De mate waarin een klant nadeel ondervindt van een kunstmatig lagere drinkwatertemperatuur hangt af van het doel waarmee drinkwater (met een lagere temperatuur) gebruikt wordt. De klant ondervindt nadeel wanneer het drinkwater (voor het gebruiksdoel) opgewarmd moet worden door de warmtapwaterbereider, de wasmachine of de vaatwasser. Het doel waarmee drinkwater gebruikt wordt is sterk gecorreleerd aan het gebruiksmoment: douchen wordt bijvoorbeeld meestal 's morgens gedaan, de vaat wassen 's avonds. De avondpiek op een maximumdag (zoals gebruikt in deze studie) wordt met name veroorzaakt doordat veel mensen hun tuin sproeien. Voor een toepassing zoals het sproeien van tuinen maakt het niet uit of het water iets warmer of kouder is. In de beoordeling van de uitkomsten van de reikwijdte van een kunstmatige temperatuurverandering in het drinkwaternet dient rekening gehouden te worden met dit aspect.

6.1.5 Effect van in- en uitschakeling TED-installatie op lokaal evenwicht bodemtemperatuur

In de modelstudie naar de reikwijdte van de temperatuurverandering is gebruik gemaakt van het watertemperatuurmodel dat door KWR ontwikkeld is. In dit model wordt een stationaire bodemtemperatuur buiten de drinkwaterleiding aangenomen. Op de tijdschaal van het watertemperatuurmodel (uren) is dit een valide aanname. Het in- en uitschakelen van de TED-installatie zal mogelijk een instationair effect hebben op de variatie van de bodemtemperatuur rondom de drinkwaterleiding benedenstrooms van de TED-installatie. Een dergelijk effect is niet meegenomen in het huidige temperatuurmodel.

6.1.6 Detailniveau modellering

Zoals aangegeven in §3.3 kunnen lokale variaties in de bodem of de leiding meegenomen worden in de huidige versie van het watertemperatuurmodel. Voor deze

studie is deze lokale variatie alleen voor de leidingen verdisconteerd, omdat hiervoor vaststaat welk materiaal toegepast is en (in redelijke mate) vaststaat welke warmtegeleidingscoëfficiënt hierbij hoort. In het model kunnen ook bodemvariaties meegenomen worden. Hiervoor zijn wel lokale gegevens nodig van bijvoorbeeld de bodemtemperatuur en warmtegeleiding. Omdat dergelijke detailinformatie over de bodem voor het studiegebied niet beschikbaar was is gekozen voor vaste waarden voor de bodemtemperatuur en de warmtegeleidingscoëfficiënt van de bodem.

6.1.7 Beoordeling van uitkomsten

De resultaten van deze studie laten zien wat de verwachte reikwijdte van de temperatuurverandering is in termen van (a) resterend temperatuurverschil en (b) het aantal aansluitingen dat te maken heeft met een zeker resterend temperatuurverschil. Op basis van de huidige literatuur, praktijkervaring met TED en deze studie kan echter niet beoordeeld worden of de mate waarin er sprake is van een resterend temperatuurverschil wel of niet als acceptabel beschouwd moet worden.

6.2 Effect op microbiologische parameters

6.2.1 Groei van micro-organismen en opportunistische pathogenen in water en biofilm

De samenstelling van de microbiële populatie van het drinkwater en de biofilm wordt bepaald door verschillende factoren, waaronder het type en de hoeveelheid nutriënten, de pH, watertemperatuur en de aanwezigheid of aanvoer van bepaalde micro-organismen. Deze factoren beïnvloeden onder andere of opportunistische pathogenen kunnen groeien in het water en de biofilm. Temperatuur en nutriënten zijn hierin twee belangrijke parameters.

6.2.1.1 Temperatuur

Groei van micro-organismen is temperatuurafhankelijk en elk micro-organisme heeft een eigen minimumtemperatuur waarboven groei kan plaatsvinden. Deze minimumtemperatuur wordt meestal bepaald onder optimale omstandigheden door bacteriën te laten groeien in een rijk medium zonder competitie van andere micro-organismen. In de praktijksituatie zijn de condities echter minder optimaal door lagere concentraties voedingsstoffen en de aanwezigheid van de autochtone microbiële flora waarmee het specifieke micro-organisme moet concurreren voor voedsel. De minimumtemperatuur voor groei is daardoor in de praktijk meestal hoger. Een voorbeeld hiervan is *L. pneumophila* die vanaf 30°C kan groeien in afwezigheid van competitie, maar pas vanaf 34,5°C kan groeien als ook andere *Legionella* stammen aanwezig zijn (van der Kooij *et al.*, 2009). Voor de andere opportunistische pathogenen wordt aangehouden dat groei onder optimale condities pas vanaf 15°C (*S. maltophilia*, *A. fumigatus*) of vanaf 10°C (*P. aeruginosa*), plaats kan vinden (van Bel, 2017; van der Wielen, 2014b). Ondanks dat het water in de warmtewisselaar vaak minimaal 15°C is, worden de meeste opportunistische pathogenen nauwelijks aangetroffen en lijkt er dus geen sprake te zijn van kolonisatie door deze organismen van de biofilm en/of groei. Echter, de temperatuur van de wand van de warmtewisselaar kan afwijken (hoger of lager) dan de temperatuur van het uitgaande water. In de warmtewisselaar zijn grote aantallen andere micro-organismen in het drinkwater en de biofilm aanwezig waarmee de opportunistische pathogenen moeten concurreren. Het aantreffen van zo weinig opportunistische pathogenen doet vermoeden dat de opportunistische pathogenen of niet aanwezig zijn in het aanvoerende water, of bij de hier gemeten (uitgaande water) of heersende (wand van de warmtewisselaar) temperaturen de concurrentiestrijd verliezen en het daardoor lastig is om zich te vestigen en te groeien. Als de wand van de

warmtewisselaar een hogere temperatuur heeft dan het uitgaande water, zou hier groei van opportunistische pathogenen plaats kunnen vinden. Aanvullend onderzoek kan uitwijzen of groei van opportunistische pathogenen, in concurrentie met de aanwezige autochtone microbiële flora en bij lagere concentraties nutriënten, daadwerkelijk plaats kan vinden bij temperaturen tussen de 15 en 20°C, of de temperaturen die op de wand van de warmtewisselaar heersen.

6.2.2 Nutriënten en kolonisatie van de biofilm

Nutriënten voor micro-organismen kunnen aanwezig zijn in het drinkwater (AOC), of vrijkomen uit materialen die in contact staan met het drinkwater. Van de opportunistische pathogenen is alleen van *L. pneumophila* bekend dat het zich niet kan vermeerderen in water met een AOC-concentratie lager dan 1 µg AOC/l (van der Kooij en Veenendaal, 2011) en waarvan de materialen een BPP-waarde hebben lager dan 400 pg ATP/cm² (van der Kooij, 2007). Van de andere opportunistische pathogenen zijn deze waarden niet bekend.

In internationale literatuur wordt gesuggereerd dat in aanwezigheid van een stabiele biofilm andere, ongewenste, micro-organismen de biofilm niet kunnen koloniseren. Materiaal zonder een stabiele biofilm kan mogelijk wel gekoloniseerd worden, bijvoorbeeld door opportunistische pathogenen (Wang *et al.*, 2013). Dit is mogelijk het geval bij de warmtewisselaar in Tilburg. Voor de installatie van de warmtewisselaar zijn nieuwe leidingen aangelegd, waarin nog geen biofilm aanwezig is. Het aantal opportunistische micro-organismen is echter laag in Nederlands drinkwater (van der Wielen en van der Kooij, 2013), waardoor de aanvoer in principe beperkt is. Als er wel een bron van een opportunistisch pathogeen geïntroduceerd wordt, of al aanwezig is, zou deze de opgroeiende biofilm kunnen koloniseren en onder de juiste condities kan er mogelijk groei optreden. Daarom is het belangrijk om gedurende langere periode te monitoren of opportunistische pathogenen kunnen gaan groeien door mogelijk veranderde, en gunstigere, omstandigheden.

De relatief lage BPP-waarde van het EPDM (vergeleken met andere soorten EPDM) dat in de warmtewisselaar platen van Tilburg wordt gebruikt is gunstig omdat hierdoor zo weinig mogelijk groeibevorderende stoffen in het water vrij komen en eventuele groei van opportunistische pathogenen niet of zeer beperkt wordt bevorderd.

Uit eerder onderzoek is gebleken dat PVC-P en EPDM wel, maar RVS nauwelijks, de groei van *P. aeruginosa* bevordert (van der Wielen en Bereschenko, 2016). Nagenoeg alle geteste materialen bevorderden in dat onderzoek wel in beperkte mate de groei van *A. fumigatus* die zich langdurig in de biofilm lijkt te kunnen vestigen. Dit werd bepaald in een BPP-test, bij 30°C, waarbij deze micro-organismen individueel aan het water zijn gedoseerd. Groei van *P. aeruginosa* en *A. fumigatus* op EPDM vond voornamelijk plaats als er nog geen of weinig biofilm op het materiaal is gevormd. Zodra er grotere aantallen micro-organismen en een biofilm aanwezig waren, leek *P. aeruginosa* de concurrentie te verliezen. Een mogelijke verklaring is dat *P. aeruginosa* vermoedelijk een hogere affiniteit voor de aanwezige afbreekbare stoffen heeft maar een lagere groeisnelheid. Hierdoor duurt het even voordat de andere micro-organismen in hoge aantallen aanwezig zijn en (succesvol) met *P. aeruginosa* kunnen concurreren. Het EPDM-materiaal van de warmtewisselaar kan dus een potentiële voedingsbron voor sommige opportunistische pathogenen zijn. Het water-EPDM contactoppervlak in de warmtewisselaar is echter beperkt, daarnaast is de temperatuur lager dan in de besproken BPP-test en was de BPP-waarde niet significant hoger dan de norm voor leidingmaterialen waardoor het risico op groei van opportunistische pathogenen

waarschijnlijk klein is. Aanvullende testen zouden uit kunnen wijzen of bovengenoemde opportunistische pathogenen kunnen groeien bij temperaturen tussen de 15 en 20°C, zoals in de warmtewisselaar, of bij de temperaturen die op de wand van de warmtewisselaar heersen, in aanwezigheid van het daarin gebruikte EPDM en RVS.

6.2.3 Mogelijke risico's van *Acanthamoeba* in drinkwater

Acanthamoeba is de enige opportunistische pathogeen die vaker is aangetroffen in het water en de biofilm voor en na de warmtewisselaar dan wat normaal in het Nederlandse drinkwater wordt gemeten.

De optimale groeitemperatuur van *Acanthamoeba* ligt rond de 30°C, maar literatuur laat zien dat de *Acanthamoeba* ook bij lagere temperaturen kan groeien. Bij 18°C groeien patiëntenstammen van *Acanthamoeba* met ongeveer 1% per uur in medium. Bij 21°C is de groei 2,5% en de maximale groei wordt bereikt bij 32°C (11% groei per uur, komt overeen met een verdubbelingstijd van ongeveer 7 uur) (Jensen *et al.*, 1970; Nielsen *et al.*, 2014). Hierbij is gebruikt gemaakt van rijk medium met veel voedingsstoffen, in tegenstelling tot een arm medium met weinig voedingsstoffen zoals het drinkwater in Tilburg. De groei die in de literatuur is bepaald, geldt dus onder optimale omstandigheden. Daarnaast is er in deze experimenten niet gekeken naar groei van *Acanthamoeba* in een biofilm of in aanwezigheid van concurrerende micro-organismen. *Acanthamoeba* zou dus in staat kunnen zijn om te groeien bij de watertemperaturen die voor en na de warmtewisselaar worden gemeten. Echter, vanwege de relatief lage temperaturen, vergeleken met de optimale temperatuur en een veel lager gehalte aan voedingsstoffen zal de groei als deze al mogelijk is, vermoedelijk traag zijn. De aanwezigheid van *Acanthamoeba* in de biofilm, met mogelijk meer voedingsstoffen en blootstelling voor langere tijd aan de (soms) hogere temperaturen, kan mogelijk tot snellere groei leiden. Verder onderzoek is nodig om te bepalen of groei ook daadwerkelijk mogelijk is en plaats vindt onder condities zoals die in de warmtewisselaar aanwezig zijn.

Bijzonder is dat *Acanthamoeba* in zowel de biofilm van 'zomer-segmenten' als de 'winter-segmenten' aanwezig is, en dat binnen 6 tot 12 maanden *Acanthamoeba* de biofilm in de aan- en afvoerleiding kan koloniseren en daar mogelijk kan groeien. Dit suggereert dat er bovenstrooms van de warmtewisselaar een bron is van *Acanthamoeba* waarmee de leiding en de warmtewisselaar besmet worden. Een mogelijkheid is om de bovenstroomse leidingen schoon te maken en zo de bron te verwijderen. Er is echter geen informatie over waar deze bron zich bevindt, waardoor een schoonmaakactie (chloren of ice pigging) praktisch lastig uitvoerbaar is. Daarnaast is de water- en of biofilm temperatuur kennelijk hoog genoeg om de kolonisatie in stand te houden en mogelijk zelfs (beperkte) groei te laten plaats vinden. Het is echter niet met zekerheid te zeggen of groei ook daadwerkelijk plaats vindt of dat het alleen om handhaving gaat.

6.2.4 Microbiologische monitoring

Bij hogere watertemperaturen is er potentieel een groot risico op groei van opportunistische pathogenen. Een voorbeeld hiervan is een Canadees ziekenhuis waar door een warmtewisselaar de temperatuur varieerde tussen de 9 en 46°C, waardoor groei van *L. pneumophila* bevorderd werd. Bij een beperkte temperatuurstijging van het water waarbij de temperatuur onder de 15°C blijft, zoals in eerder onderzoek naar de warmtewisselaar in Hoogeveen en Culemborg (van Bel *et al.*, 2017), is het risico voor de volksgezondheid erg klein.

In die studie is toen aanbevolen om als grenswaarde 25°C aan te houden. Hierboven is een gedegen microbiologische analyse nodig om de veiligheid en volksgezondheid te garanderen. Deze waarde is echter niet gebaseerd op microbiologisch onderzoek, maar op de wettelijke parameter die stelt dat de drinkwatertemperatuur lager moet zijn dan 25°C. Uit het in dit rapport besproken onderzoek in Tilburg blijkt dat *Acanthamoeba* vaak wordt aangetroffen in de biofilm en het drinkwater bij een watertemperatuur tussen ongeveer 10°C en 20°C. Kennelijk kan bij deze hogere temperaturen kolonisatie en mogelijk groei van *Acanthamoeba* in de biofilm optreden. Aanvullend microbiologisch onderzoek onder gecontroleerde condities in het laboratorium is nodig om te bepalen wat de invloed is van temperatuur op groei van opportunistische pathogenen in water en de biofilm, zodat er gedegen argumentatie is om de grenswaarde vast te stellen.

7 Conclusies

7.1 Reikwijdte temperatuurverandering

De reikwijdte van de temperatuurverandering is berekend door gebruik te maken van een door Brabant Water aangeleverd hydraulisch EPANET-model van Tilburg en het door KWR ontwikkelde watertemperatuurmodel.

Op basis van de metingen die door Brabant Water ter plaatse van de TED-installatie uitgevoerd zijn is vastgesteld dat er sprake is van een maximale temperatuurverandering van -2°C ter plaatse van de TED-installatie. Deze temperatuurverandering is volgens het toegepaste temperatuurmodel bij een deel van de 573 aansluitingen in het potentiële invloedsgebied van de TED-installatie meetbaar. Bij de toepassing van dit model is uitgegaan van het drinkwaterverbruik op een criteriumdag op twee momenten: 5:00 uur 's morgens en 15:00 uur 's middags. Deze momenten representeren een verwacht minimum en maximum scenario voor de propagatie van de opgelegde temperatuurlagging. Bij 5-15% van de aansluitingen in het potentiële invloedsgebied resteert een temperatuurverandering $>1^{\circ}\text{C}$ ($>50\%$ van de oorspronkelijke afwijking). Bij 2-5% van de aansluitingen in het potentiële invloedsgebied resteert een temperatuurverandering $>1,5^{\circ}\text{C}$ ($>75\%$ van de oorspronkelijke afwijking).

Het invloed van de TED-installatie beslaat (uitgaande van een minimaal resterend temperatuurverschil van -1°C) een gebied tot maximaal 800 m ten zuiden van de locatie van Fontys Hogeschool. In de breedte beslaat dit gebied ongeveer 200 m aan beide zijden (oost-west) van Fontys Hogeschool.

Uit de studie blijkt dat de gemeten volumestromen in de $\varnothing 200$ PVC leiding ter plaatse van Fontys Hogeschool veel lager zijn dan de volumestromen die uit de berekening met het hydraulisch model van Brabant Water volgen. Dit betekent dat de reikwijdte (resterend temperatuurverschil in het potentiële invloedsgebied én het aantal aansluitingen dat daarbij betrokken is) in de praktijk meestal kleiner zal zijn dan berekend in deze studie¹.

Het temperatuurmodel waarmee de demping van de temperatuurverandering (die door de TED-installatie geïnitieerd is) berekend wordt bevat onzekere parameters die op basis van de uitgevoerde metingen niet gekalibreerd kunnen worden. De uitkomsten van de onzekerheidsanalyse laten zien dat de invloed van deze parameters significant is voor de uitkomsten van het model. In de uitkomsten van het model is rekening gehouden met deze onzekerheid.

De mate waarin de klanten (op locaties binnen het invloedsgebied van de temperatuurverandering) daadwerkelijk een andere temperatuur zouden kunnen meten ter plaatse van de warmtapwaterbereider is afhankelijk van de leidinglengte tussen het

¹ Wanneer de TED-installatie in vergelijkbare mate bedreven wordt als in de onderzochte meetperiode.

aansluitpunt (dienstkraan) en de warmtapwaterbereider, die bestaat uit de lengte van de aansluitleiding en de drinkwaterinstallatie² samen.

7.2 Effect op microbiologische parameters

De algemene conclusie is dat we in dit onderzoek in de warmtewisselaar en het water dat daar uit komt geen *Legionella* en *L. pneumophila*, zeer beperkt *P. aeruginosa*, *A. fumigatus* en *S. maltophilia* hebben aangetroffen. *Acanthamoeba* lijkt de biofilm voor, in en na de warmtewisselaar te kunnen koloniseren en daar ook mogelijk te kunnen groeien.

Door de regelmatige stilstand van het water in de warmtewisselaar warmt het water op tot 20-21 °C, wat mogelijk groei van (ongewenste) micro-organismen zou kunnen bevorderen.

De BPP-waarde van het RVS van de warmtewisselaar is laag. Uit EPDM komen wel groeibevorderende stoffen vrij, waarbij de BPP-waarde hoger is dan de wettelijke grens voor (leiding)materialen in het distributienet. Van materialen met een BPP-waarde boven deze grenswaarde wordt aanbevolen om ze niet in het distributienet te gebruiken.

Er is weinig biofilmvorming op de platen van de warmtewisselaar en op de aan- en afvoerende leidingen gedurende de periode en heersende condities in dit onderzoek.

Acanthamoeba is de enige opportunistische pathogeen die regelmatig in het water en de biofilm voor en na de warmtewisselaar wordt aangetroffen. Dit suggereert dat er bovenstrooms van de warmtewisselaar een bron is van *Acanthamoeba* waarmee de leiding en de warmtewisselaar besmet worden. Mogelijk speelt de watertemperatuur een rol bij de kolonisatie en eventuele groei van *Acanthamoeba* omdat de watertemperatuur regelmatig boven de 18 °C uit komt, de minimale groeitemperatuur van *Acanthamoeba*. Mogelijk is deze temperatuur hoog genoeg om kolonisatie van de biofilm mogelijk te maken en in stand te houden en zelfs (beperkte) groei te laten plaats vinden. Het lijkt onwaarschijnlijk dat het verschil in aantreffen van *Acanthamoeba* tussen voor en na warmtewisselaar wordt veroorzaakt door de watertemperatuur, aangezien de verschillen beperkt zijn. Het is niet met zekerheid te zeggen of groei ook daadwerkelijk plaats vindt of dat het alleen om handhaving gaat. Hiervoor is aanvullend onderzoek nodig.

² Zijnde de afstand tussen watermeter en warmtapwaterbereider, wasmachine of vaatwasser.

8 Aanbevelingen

8.1 Reikwijdte temperatuurverandering

Uit de studie volgt dat de reikwijdte van het temperatuureffect in grote mate afhankelijk is van met name de hydraulica rondom de TED-installatie. Dit gegeven leidt tot twee belangrijke aanbevelingen:

- De hydraulische patronen in een specifiek gebied zijn sterk afhankelijk van de watervraag in dat gebied. Dit maakt het lastig om de uitkomsten van deze studie toe te passen op een andere casus dan de casus TED-installatie bij Fontys, tenzij de hydraulica in beide casussen sterke overeenkomsten vertoont. Daarom wordt aanbevolen om voor toepassing van een eventuele volgende TED-installatie in het secundaire leidingnet het model uit deze studie toe te passen met daarin meegenomen de verbeteringen die in dit rapport beschreven zijn.
- Uit de studie volgt dat volumestroommetingen in de zomerperiode veel lagere waarden laten zien dan berekend door het hydraulisch model van Brabant Water. Dit wordt veroorzaakt door een overschatting van de drinkwatervraag benedenstreams van de TED-installatie. Het is daarom nuttig om in vervolgstudies aangaande dit onderwerp gebruik te maken van een meer gedetailleerde en betere vraagmodellering. Hiervoor kan gebruik gemaakt worden van Simdeum®, een model dat reeds door KWR ontwikkeld is en dat eerder voor dergelijke toepassingen gebruikt is (Blokker *et al.*, 2016).

Dit rapport beschrijft o.a. de reikwijdte van de temperatuurverandering (veroorzaakt door de inzet een TED-installatie). De reikwijdte is hier beschreven aan de hand van de locaties waar aansluitleidingen verbonden zijn met het distributienet ('service points'; locaties van dienstkranen). Om daadwerkelijk inzichtelijk te maken of een eventueel temperatuurverschil ter plaatse van een bepaald service point daadwerkelijk negatieve gevolgen heeft voor de klant wordt aanbevolen om:

- De invloed van de aansluitleiding en de (collectieve) drinkwaterinstallatie op de temperatuurverandering te bepalen. Dit kan middels reeds bestaande modellen (Moerman, 2013; Zlatanovic *et al.*, 2017).
- Na te gaan wat de kans is op gebruik van drinkwater waarbij opwarming van drinkwater beoogd wordt (toepassing voor warmtapwater, wasmachine of vaatwasser) en hoe deze kans samenhangt met het tijdstip van gebruik (dit kan door gebruik te maken van Simdeum®).
- Een temperatuurverandering die (op basis van bepaling met bovengenoemde modellen merkbaar is ter plaatse van warmtapwaterbereider, wasmachine of vaatwasser) uit te drukken in een kostenpost voor de klant.

Op moment van schrijven is er geen concreet beleid (en werkwijze voor toetsing) waarmee de inzet van TED vormgegeven kan worden. Het wordt aanbevolen om de uitkomsten van dit rapport te gebruiken om tot een verbeterd beleid voor de inzet van TED te komen.

In deze studie is gebruik gemaakt van een onzekerheidsanalyse (Monte Carlo) om een beeld te krijgen van het effect van de onzekerheid van bodemparameters op de

uitkomsten van het watertemperatuurmodel. Voor vervolgonderzoeken naar dit onderwerp wordt aanbevolen om deze Monte Carlo simulatie niet los te beschouwen maar deze te integreren in het watertemperatuurmodel, zodat de onzekerheid van bodemparameters verdisconteerd wordt in de uitkomsten van het watertemperatuurmodel.

8.2 Effect op microbiologische parameters

Indien er geen warmtevraag is vanuit de Hogeschool Tilburg, het drinkwater in de warmtewisselaar en de aan- en afvoerende leidingen vaker verversen om te voorkomen dat de temperatuur in de warmtewisselaar te hoog oploopt en zo mogelijk groei van ongewenste micro-organismen mogelijk maakt.

Omdat *Acanthamoeba* vrij constant in de biofilm aanwezig is, sommige opportunistische pathogenen sporadisch worden aangetroffen (al is dit niet vaker dan op grond van het algemeen voorkomen van deze bacteriën in drinkwater [5-10%] kan worden verwacht) en dat de temperatuur boven de minimale groeitemperatuur komt, is het mogelijk dat groei plaats zal vinden. Aanvullend onderzoek is nodig om de invloed van temperatuur op groei van *Acanthamoeba* en andere opportunistische pathogenen in kaart te brengen om daarmee de potentiële risico's in kaart te kunnen brengen en een beter onderbouwde grenswaarde voor de watertemperatuur te kunnen geven. Daarnaast is het opmerkelijk dat *Acanthamoeba* niet in de biofilm van de warmtewisselaar voorkomt, maar wel in de aan- en afvoerende leidingen. Aanvullend naar de oorzaken hiervan kan inzicht geven in de groeimechanismen van *Acanthamoeba* en of de bedrijfsvoering hier mogelijk op aangepast kan worden.

Behalve voor *L. pneumophila* (28°C) zijn er nog geen onderbouwde grenswaarden bekend waarboven opportunistische pathogenen mogelijk kunnen gaan groeien en problemen veroorzaken. Voorlopig wordt aanbevolen om boven de wettelijke grenswaarde van 25°C het water te monitoren en om naast het aanvullende onderzoek naar de temperatuurinvloed op de groei van opportunistische pathogenen ook maatregelen zoals vaker doorspoelen te testen.

Onderzoek gedurende langere periode onder de slechts mogelijke omstandigheden moet uitwijzen of de biofilmvorming toeneemt en groei van opportunistische pathogenen plaats kan vinden.

Literatuur

- Bloemendal, J. M., van Bel, N., Snip, L. J. P., van den Brand, T. P. H. en Heijnen, L., 2018, Verdieping Warmte en Koude uit Drinkwater, Rapport nr. BTO 2017.072, KWR, Nieuwegein, pp. 112.
- Blokker, E. J. M., Agudelo-Vera, C. M., Moerman, A., van Thienen, P. en Pieterse-Quirijns, E. J., 2016, Review of applications of SIMDEUM, a stochastic drinking water demand model with small temporal and spatial scale, in: *CCWI*, Amsterdam.
- Blokker, E. J. M., Horst, P., Moerman, A., Mol, S. en Wennekes, R., 2014, Haalbaarheid van maatregelen tegen ongewenste opwarming van drinkwater in het leidingnet - TKI Project Calorics, Rapport nr. KWR 2014.057, KWR, Nieuwegein, pp. 63.
- Blokker, E. J. M. en Pieterse-Quirijns, E. J., 2012, Scenariostudies voor beperken invloed klimaatveranderingen op temperatuur en kwaliteit drinkwater in het net, Rapport nr. KWR 2012.017, KWR, Nieuwegein, pp. 99.
- Blokker, E. J. M. en Pieterse-Quirijns, E. J., 2013, Modeling temperature in the drinking water distribution system, *JAWWA* **105**(1):E19-E28.
- Borchardt, M. A., Stemper, M. E. en Standridge, J. H., 2003, *Aeromonas* Isolates from Human Diarrheic Stool and Groundwater Compared by Pulsed-Field Gel Electrophoresis, *Emerging Infectious Disease journal* **9**(2):224.
- Gerba, C. P. en Gerba, P., 1998, Outbreaks caused by *Pseudomonas aeruginosa* associated with whirlpool spas, hot tubs, and swimming pools in: *Proceedings of the second annual chemistry symposium national spa and pool institute*
- Havelaar, A. H., Schets, F. M., Silfhout, A., Jansen, W. H., Wieten, G. en Kooij, D., 1992, Typing of *Aeromonas* strains from patients with diarrhoea and from drinking water, *Journal of Applied Bacteriology* **72**(5):435-444.
- Hofman, J. en van der Wielen, P., 2015, Warmte en Koude uit Drinkwater en Riolering - Risico's, Rapport nr. BTO 2015.002, KWR, Nieuwegein, pp. 29.
- Jensen, T., Barnes, W. G. en Meyers, D., 1970, Axenic cultivation of large populations of *Acanthamoeba castellanii* (JBM), *J Parasitol* **56**(5):904-6.
- Kilvington, S., Gray, T., Dart, J., Morlet, N., Beeching, J. R., Frazer, D. G. en Matheson, M., 2004, *Acanthamoeba keratitis*: the role of domestic tap water contamination in the United Kingdom, *Invest Ophthalmol Vis Sci* **45**(1):165-9.
- Kuiper, M. W., Wullings, B. A., Akkermans, A. D. L., Beumer, R. R. en van der Kooij, D., 2004, Intracellular Proliferation of *Legionella pneumophila* and *Hartmannella vermiformis* in Aquatic Biofilms Grown on Plasticized Polyvinyl Chloride, *Applied and Environmental Microbiology* **70**(11):6826.
- Learbuch, K., 2018, Variatie in biomassaproductiepotentie (BPP) van PE-materialen die door drinkwaterbedrijven worden gebruikt Rapport nr. BTO 2018.007, KWR, Nieuwegein, pp. 27.
- Mena, K. D. en Gerba, C. P., 2009, Risk Assessment of *Pseudomonas aeruginosa* in Water, in: *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology Vol 201* (D. M. Whitacre, ed.), Springer US, Boston, MA, pp. 71-115.
- Michel, R., Burghardt, H. en Bergmann, H., 1995, [*Acanthamoeba*, naturally intracellularly infected with *Pseudomonas aeruginosa*, after their isolation from a microbiologically

- contaminated drinking water system in a hospital], *Zentralbl Hyg Umweltmed* **196**(6):532-44.
- Moerman, A., 2013, Drinking water temperature modeling in domestic systems, KWR/ TU-Delft, Nieuwegein, pp. 84.
- Moerman, A. en Agudelo-Vera, C. A., 2016, Kwantificering energiepotentie drinkwaternet Dunea. Energie in het drinkwaternet van Dunea in kaart, Rapport nr. KWR 2016.096, KWR, Nieuwegein, pp. 28.
- Moerman, A., Blokker, E. J. M., Vreeburg, J. en van der Hoek, J. P., 2014, Drinking water temperature modelling in domestic systems, in: *16th Conference on Water Distribution System Analysis, WDSA*, Procedia Engineering, pp. 143-150.
- Moyer, N. P., Luccini, G. M., Holcomb, L. A., Hall, N. H. en Altwegg, M., 1992, Application of ribotyping for differentiating aeromonads isolated from clinical and environmental sources, *Applied and Environmental Microbiology* **58**(6):1940.
- Nielsen, M. K., Nielsen, K., Hjortdal, J. en Sorensen, U. B., 2014, Temperature limitation may explain the containment of the trophozoites in the cornea during *Acanthamoeba castellanii* keratitis, *Parasitol Res* **113**(12):4349-53.
- Paszko-Kolva, C., Yamamoto, H., Shahamat, M., Sawyer, T. K., Morris, G. en Colwell, R. R., 1991, Isolation of amoebae and *Pseudomonas* and *Legionella* spp. from eyewash stations, *Applied and Environmental Microbiology* **57**(1):163-167.
- Pinto, A. J., Schroeder, J., Lunn, M., Sloan, W. en Raskin, L., 2014, Spatial-Temporal Survey and Occupancy-Abundance Modeling To Predict Bacterial Community Dynamics in the Drinking Water Microbiome, *mBio* **5**(3).
- RIVM, 2018, Legionella, <https://www.rivm.nl/legionella>.
- Rogers, J., Dowsett, A. B., Dennis, P. J., Lee, J. V. en Keevil, C. W., 1994a, Influence of Plumbing Materials on Biofilm Formation and Growth of *Legionella pneumophila* in Potable Water Systems, *Applied and Environmental Microbiology* **60**(6):1842.
- Rogers, J., Dowsett, A. B., Dennis, P. J., Lee, J. V. en Keevil, C. W., 1994b, Influence of temperature and plumbing material selection on biofilm formation and growth of *Legionella pneumophila* in a model potable water system containing complex microbial flora, *Applied and Environmental Microbiology* **60**(5):1585.
- Rowbotham, T. J., 1980, Preliminary report on the pathogenicity of *Legionella pneumophila* for freshwater and soil amoebae, *Journal of Clinical Pathology* **33**(12):1179-1183.
- Sin, G., Gernaey, K. V. en Lantz, A. E., 2009, Good modeling practice for PAT applications: Propagation of input uncertainty and sensitivity analysis, *Biotechnology Progress* **25**(4):1043-1053.
- Solon, K., Flores-Alsina, X., Gernaey, K. en Jeppsson, U., 2015, Effects of influent fractionation, kinetics, stoichiometry and mass transfer on CH₄, H₂ and CO₂ production for (plant-wide) modeling of anaerobic digesters, pp. 870-877.
- Valster, R. M., Wullings, B. A., Bakker, G., Smidt, H. en van der Kooij, D., 2009, Free-living protozoa in two unchlorinated drinking water supplies, identified by phylogenetic analysis of 18S rRNA gene sequences, *Applied and Environmental Microbiology* **75**(14):4736-4746.
- van Bel, N., 2017, Literatuuronderzoek naar de invloed van temperatuur op groei van opportunistische pathogenen in drinkwater, Rapport nr. BTO 2017.024, KWR, Nieuwegein, pp. 23.
- van Bel, N., Bloemendal, M., van den Brand, T. P. H., Snip, I. en Heijnen, L., 2017, Verdieping Warmte en Koude uit Drinkwater, Rapport nr. BTO 2017.072, KWR, Nieuwegein.

- van der Kooij, D., Bakker, G. L., Italiaander, R., Veenendaal, H. R. en Wullings, B. A., 2017, Biofilm composition and threshold concentration for growth of *Legionella pneumophila* on surfaces exposed to flowing warm tap water without disinfectant, *Applied and Environmental Microbiology* 83(5):e02737-16.
- van der Kooij, D., Brouwer-Hanzens, A. J. en Veenendaal, H., 2009, Invloed van de watertemperatuur op de groei van *Legionella pneumophila* en *Legionella anisa* in biofilms, Rapport nr. KWR 09.056, KWR, Nieuwegein, pp. 44.
- van der Kooij, D. en Veenendaal, H. R., 2011, Bepaling en beoordeling van de legionellagroeiopotentie van drinkwater, Rapport nr. BTO 2011.037, KWR, Nieuwegein, pp. 109.
- van der Kooij, D., Veenendaal, H. R., Italiaander, R., van der Mark, E. J. en Dignum, M., 2018, Primary-colonizing betaproteobacteriales play a key role in growth of *Legionella pneumophila* in biofilms on surfaces exposed to drinking water treated by slow sand filtration, *Applied and Environmental Microbiology*.
- van der Wielen, P., 2014a, Effect van waterkwaliteit, seizoen, drinkwaterinstallatie en verblijftijd/afstand op opportunistische pathogenen in drinkwater, Rapport nr. BTO 2014.015, KWR, Nieuwegein, pp. 85.
- van der Wielen, P. en Bereschchenko, L., 2016, Rol van leidingmateriaal bij groei van micro-organismen en opportunistische pathogenen, Rapport nr. BTO 2016.022, KWR, Nieuwegein, pp. 56.
- van der Wielen, P. en van der Kooij, D., 2011, Opportunistisch ziekteverwekkende micro-organismen in drinkwater., Rapport nr. BTO 2011.035, KWR, Nieuwegein, pp. 70.
- van der Wielen, P. W. J. J. en van der Kooij, D., 2009, Literatuurstudie naar opportunistisch-ziekteverwekkende micro-organismen die zich in drinkwater kunnen vermeerderen, Rapport nr. BTO 2009.001 (s), KWR, Nieuwegein, pp. 82.
- van der Wielen, P. W. J. J. en van der Kooij, D., 2010, Effect of water composition, distance and season on the adenosine triphosphate concentration in unchlorinated drinking water in the Netherlands, *Water Research* 44(17):4860-4867.
- van der Wielen, P. W. J. J. en van der Kooij, D., 2013, Nontuberculous mycobacteria, fungi, and opportunistic pathogens in unchlorinated drinking water in the Netherlands, *Applied and Environmental Microbiology* 79(3):825-834.
- van der Wielen, W. J. J., 2014b, Rol van drinkwater, biofilm en temperatuur op groei van opportunistische pathogenen, Rapport nr. BTO 2014.217(s), KWR, Nieuwegein, pp. 37.
- Wang, H., Edwards, M. A., Falkinham, J. O., 3rd en Pruden, A., 2013, Probiotic approach to pathogen control in premise plumbing systems? A review, *Environ Sci Technol* 47(18):10117-28.
- Wullings, B., 2017, Genetische typering van drinkwaterstammen van opportunistische ziekteverwekkers, Rapport nr. BTO 2017.065, KWR, Nieuwegein.
- Zlatanovic, L., Moerman, A., van der Hoek, J. P., Vreeburg, J. H. G. en Blokker, E. J. M., 2017, Development and validation of a drinking water temperature model in domestic drinking water supply systems, *Urban Water Journal*.

Bijlage I Warmtegeleidings coëfficiënten leidingmaterialen

In onderstaande tabel zijn de warmtegeleidingscoëfficiënten weergegeven die in het watertemperatuurmodel (zoals beschreven in §3.3) gebruikt zijn. Deze waarden zijn onder meer ontleend aan Blokker en Pieterse-Quirijns (2012).

| Materiaal | Waarde [W/m.K] | Bron |
|--------------------|-------------------|---|
| AC | 0.43 | KWR 2012.017 |
| AHPE | 0.39 | KWR 2012.017 |
| AZPE | 0.39 | KWR 2012.017 |
| Beton | 1 | http://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d_429.html |
| CU | 401 | http://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d_429.html |
| Grijs gietijzer | 60 | KWR 2012.017 |
| GVK | 0.05 | http://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d_429.html |
| PE | 0.39 | KWR 2012.017 |
| Nodulair gietijzer | 34.6 | KWR 2012.017 |
| PVC | 0.16 | KWR 2012.017 |
| RVS | 16 | http://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d_429.html |
| ST | 43 | http://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d_429.html |