

KWR 2015.091 | December 2015

Effecten van temperatuur op bruinwaterrisico

Effecten van temperatuur op bruinwaterrisico

KWR | December 2015
KWR 2015.091

Opdrachtnummer
400911/001/010

Projectmanager
dr.ir. E.J. (Ilse) Pieterse-Quirijns

Opdrachtgever
DPWE-bedrijven

Kwaliteitsborger(s)
dr.ir. J.H.G. (Jan) Vreeburg

Auteur(s)
dr.ir. E.J.M. (Mirjam) Blokker en ing. P.G. (Peter) Schaap
(PWN)

Verzonden aan
DPWE-bedrijven

Jaar van publicatie
2015

Meer informatie
Mirjam Blokker
T +31 30 606 9533
E Mirjam.Blokker@kwrwater.nl

PO Box 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

KWR Watercycle
Research
Institute

KWR | December 2015 © 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	3
1.1	Aanleiding	3
1.2	Doel	4
1.3	Leeswijzer	4
2	Oplegnotitie van 30 juni 2015 aan DPWE- stuurgroep	5
2.1	Inleiding	5
2.2	Doel van het project	5
2.3	Resultaten fase 1 van het DPWE-project	6
2.4	Hypothese en aanbevelingen voor metingen (fase 2 en 3)	8
3	Artikel voor CCWI 2015 in Leicester	10

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Water en energie is een belangrijk en actueel thema. Doordat de bodemtemperatuur de drinkwatertemperatuur aan de tap tot op hoge mate bepaalt, kan ogenschijnlijk zomaar thermische energie aan het drinkwater worden onttrokken. Koude die in de winter uit drinkwater gewonnen wordt kan in de zomer ingezet worden voor koeling. Andersom kan in de zomer gewonnen warmte in de winter ingezet worden als laagwaardige warmtebron. Het effect op het energieverbruik van huishoudens t.b.v. het verwarmen van het tapwater is nihil. Het kan echter wel consequenties hebben voor de waterkwaliteit.

De invloed van de temperatuur op waterkwaliteit van het drinkwater wordt vaak direct gekoppeld aan de microbiologische waterkwaliteit. De risico's hiervan op waterkwaliteit en volksgezondheid zijn ook groot. Tot nu toe is in de BTO en DPWE onderzoeken, die naar de relatie tussen temperatuur en microbiële ontwikkeling en groei kijken, altijd gebruik gemaakt van een model voor een fictief micro-organisme. Hierdoor was het altijd mogelijk om een kwalitatieve uitspraak te doen over de te verwachten invloed van de temperatuursverandering op microbiële nagroei. In het BTO van 2015 is een projectvoorstel ingediend om de kennis tussen temperatuur en microbiële ontwikkeling (waterfase en biofilm) te ontwikkelen en vast te leggen in een model, zodat in de toekomst meer kwantitatieve uitspraken gedaan kunnen worden. Dat betekent dat op dit moment alleen nog maar een kwalitatieve of relatieve uitspraak gedaan kan worden over het effect van temperatuurverhoging op de microbiële waterkwaliteit.

Uit meetdata van PWN van de troebelheid in het distributienet van meerdere jaren blijkt dat naast de microbiële waterkwaliteit, temperatuur ook invloed heeft op de kans op het optreden van bruinwaterklachten. De meetdata geven duidelijk een verband aan tussen de verandering van troebelheid en de verandering van de temperatuur (onafhankelijk van de watervraag). Bij de toepassing van duurzame vormen van energie, zoals warmtetoevoeging- en onttrekking aan drinkwater, kan de langere periode van temperatuurveranderingen aanleiding zijn tot meer bruinwaterklachten, voornamelijk in de winter. Deze klachten treden dan bovendien op bij temperaturen, die geen effect hebben op de microbiële waterkwaliteit. Deze klachten zijn natuurlijk meer esthetisch van aard, maar bij klimaatveranderingen en het toepassen van duurzame vormen van energie is het belangrijk om een zo volledig mogelijk beeld te hebben van de consequenties.

Dit project is erop gericht om een relatie vast te stellen tussen temperatuur en troebelheid in het leidingnet en het mechanisme daarachter te begrijpen. Hierdoor is het voor de bedrijven duidelijk of, wanneer en in welke mate ze problemen kunnen verwachten. Bovendien kan de kwantitatieve onderbouwing helpen om goede maatregelen te nemen. Deze maatregelen zullen ook een resultaat zijn van dit project.

Samen met de opbrengst van het BTO 2015-2017, krijgen de bedrijven dan een volledig beeld van de invloed van temperatuur op de waterkwaliteit, zowel microbiologisch als op het gebied van bruinwaterklachten. Hiermee kunnen dan de effecten van warmtetoevoeging- en onttrekking op waterkwaliteit in kaart worden gebracht.

1.2 Doel

Het onderzoek naar de relatie tussen temperatuur en bruinwaterrisico vindt plaats in drie fasen. In de eerste fase wordt een vooronderzoek gedaan of meerdere bedrijven (naast PWN) een verband tussen temperatuur en troebelheid vinden. Daarnaast wordt in deze fase een hypothese opgesteld naar het onderliggende mechanisme. In de tweede fase worden metingen uitgevoerd en in fase 3 wordt de relatie tussen temperatuur en bruinwaterrisico opgesteld op basis van literatuur en meetgegevens. Met de relatie worden de effecten vervolgens gekwantificeerd en maatregelen beschreven.

Dit rapport beschrijft de resultaten van de eerste fase, waarin wordt onderzocht of bij meerdere bedrijven een verband gevonden kan worden tussen temperatuur en bruinwaterklachten. Bovendien wordt een hypothese opgesteld voor het onderliggende mechanisme.

1.3 Leeswijzer

De resultaten van de eerste fase zijn gerapporteerd in de vorm van een oplegnotitie en een congresartikel. Omdat de oplegnotitie extra informatie bevat is ervoor gekozen om beide producten in een rapport te bundelen, zodat de informatie rond fase 1 van dit project bij elkaar blijft.

De oplegnotitie aan de stuurgroep van de DPWE-bedrijven is weergegeven in hoofdstuk 2. Het artikel dat gepresenteerd of op het CCWI 2015 in Leicester is opgenomen in hoofdstuk 3.

2 Oplegnotitie van 30 juni 2015 aan DPWE-stuurgroep

2.1 Inleiding

Deze memo is bedoeld als oplegnotitie bij het eindproduct van dit DPWE project, te weten een congresartikel voor CCWI 2015, te Leicester. Tijdens het congres (1-3 september 2015) zal ook een presentatie worden gegeven; we hopen hier ook op enige feedback van de internationale wetenschappelijke gemeenschap, herkennen zij de invloed van temperatuur. In deze memo herhalen we eerst de aanleiding voor het onderzoek en eindigen met de conclusies en aanbevelingen

2.2 Doel van het project

Water en energie is een belangrijk en actueel thema. Doordat de bodemtemperatuur de drinkwatertemperatuur aan de tap tot op hoge mate bepaalt, kan thermische energie aan het drinkwater worden onttrokken ogenschijnlijk zonder consequenties. Koude die in de winter uit drinkwater gewonnen wordt (waardoor het drinkwater dus lokaal opwarmt) kan in de zomer ingezet worden voor koeling van gebouwen. Andersom kan in de zomer gewonnen warmte (waardoor het drinkwater dus lokaal afkoelt) in de winter ingezet worden als laagwaardige warmtebron. De lokale temperatuurverandering heeft nauwelijks effect op de temperatuur aan de tap. Het effect op het energieverbruik van huishoudens t.b.v. het verwarmen van het tapwater is dus ok nihil. Mogelijk heeft lokale opwarming wel consequenties voor de waterkwaliteit.

De invloed van de temperatuur op drinkwaterkwaliteit wordt vaak direct gekoppeld aan de microbiologische waterkwaliteit (en dus de volksgezondheid). Tot nu toe is in de BTO en DPWE onderzoeken, die naar de relatie tussen temperatuur en microbiële ontwikkeling en groei kijken, altijd gebruik gemaakt van een model voor een fictief micro-organisme. Hierdoor was het mogelijk om een kwalitatieve uitspraak te doen over de te verwachten invloed van de temperatuursverandering op microbiële nagroei. In het BTO van 2015 is een project gestart om de kennis tussen temperatuur en microbiële ontwikkeling (waterfase en biofilm) te ontwikkelen en vast te leggen in een model, zodat in de toekomst meer kwantitatieve uitspraken gedaan kunnen worden. Dat betekent dat op dit moment alleen nog maar een kwalitatieve of relatieve uitspraak gedaan kan worden over het effect van temperatuurverhoging op de microbiële waterkwaliteit.

Uit meetdata van PWN van de troebelheid in het distributienet van meerdere jaren blijkt dat naast de microbiële waterkwaliteit, temperatuur ook invloed heeft op de kans op het bruinwaterrisico. De meetdata geven duidelijk een verband aan tussen de verhoging van de deeltjesaccumulatie bij hogere temperaturen (onafhankelijk van de watervraag). Bij de toepassing van duurzame vormen van energie, zoals koude-onttrekking / warmtetoevoeging aan het drinkwater, kan de langere periode van hogere temperaturen leiden tot meer bruinwaterklachten, voornamelijk in de winter. Deze klachten treden dan bovendien op bij temperaturen, die geen effect hebben op de microbiële waterkwaliteit. Deze klachten zijn natuurlijk meer esthetisch van aard, maar bij klimaatveranderingen en het toepassen van

duurzame vormen van energie is het belangrijk om een zo volledig mogelijk beeld te hebben van de consequenties.

Het DPWE project is erop gericht om een relatie vast te stellen tussen temperatuur en troebelheid in het leidingnet en het mechanisme daarachter te begrijpen. Hierdoor is het voor de bedrijven duidelijk of, wanneer en in welke mate ze problemen kunnen verwachten. Bovendien kan de kwantitatieve onderbouwing helpen om goede maatregelen te nemen. Deze maatregelen zullen ook een resultaat zijn van dit project. Samen met de opbrengst van het BTO 2015-2017, krijgen de bedrijven dan een volledig beeld van de invloed van temperatuur op de waterkwaliteit, zowel microbiologisch als op het gebied van bruinwaterklachten. Hiermee kunnen dan de effecten van warmtetoevoeging- en onttrekking op waterkwaliteit in kaart worden gebracht.

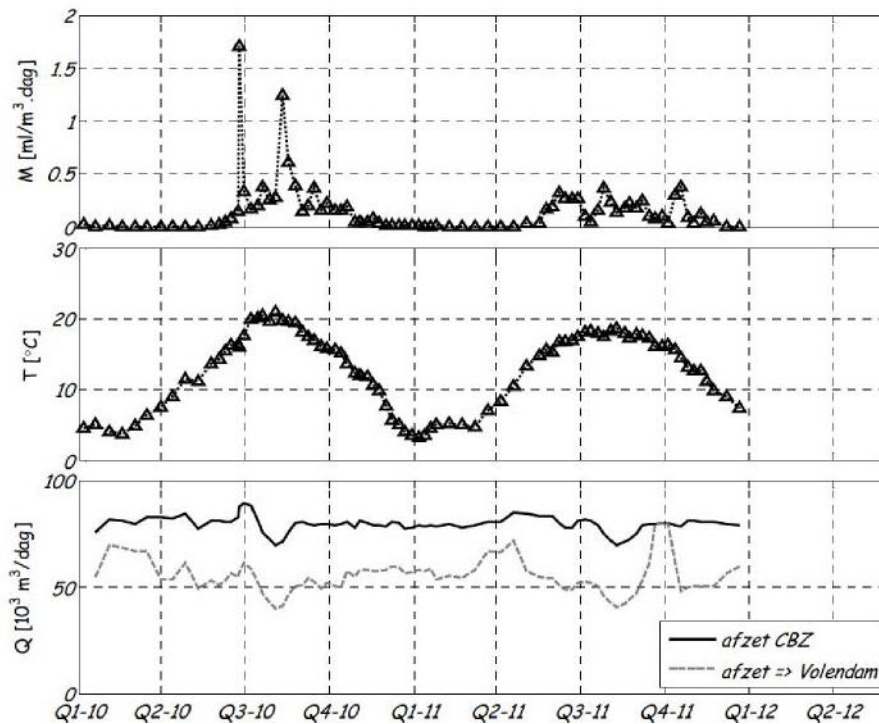
Het onderzoek naar de relatie tussen temperatuur en bruinwaterrisico vindt plaats in twee fasen. In de eerste fase wordt een vooronderzoek gedaan of meerdere bedrijven (naast PWN) een verband tussen temperatuur en troebelheid vinden. Daarnaast wordt in deze fase een hypothese opgesteld naar het onderliggende mechanisme. In de tweede fase wordt de relatie tussen temperatuur en bruinwaterrisico opgesteld op basis van literatuur en meetgegevens. Met de relatie worden de effecten vervolgens gekwantificeerd en maatregelen beschreven.

2.3 Resultaten fase 1 van het DPWE-project

De eerste fase is nu afgerond. De conclusie is dat niet alle soort data zich leent om de relatie tussen troebelheid en temperatuur vast te stellen. De data die Evides en Waternet hebben aangeleverd zijn niet of beperkt geschikt om te concluderen of temperatuur wel of niet van invloed is op het bruinwaterrisico; Dunea bleek geen data te hebben die potentieel meer informatie zou opleveren. De data van PWN, op verschillende plekken en verschillende manieren gemeten in transport- en distributienet, waren wel geschikt.

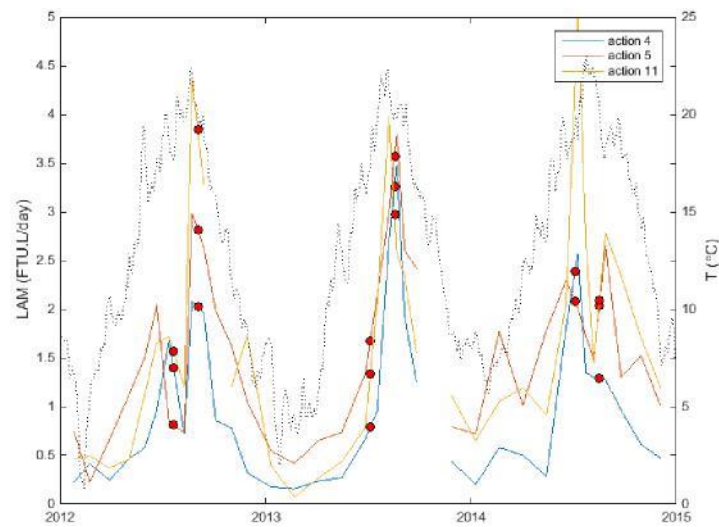
- 1) De troebelheid aan de tap (wettelijke monsternamen) wordt door veel meer zaken beïnvloed dan alleen door de temperatuur, en deze aspecten zijn niet bekend van de monsterlocaties. Een vaste locatie waar over langere tijd troebelheid en temperatuur worden gemeten zijn veel beter geschikt, omdat de overige parameters (zoals volumestroom, leidingmateriaal, diameter, etc.) dan min of meer vast liggen.
- 2) De metingen op het pompstation voldoen wel aan de eis van continue monitoring op een vaste locatie. Ze laten zien dat er op het pompstation nauwelijks een relatie is tussen troebelheid en temperatuur, maar dit wil nog niet zeggen dat er in het transport- of distributienet ook geen relatie is.
- 3) Waternet heeft wel data van twee meetlocaties aangeleverd in het net, maar de variatie in de troebelheid was daar zeer beperkt. Mogelijk dat een meting van het water onder in de leiding meer informatie geeft. Het kan ook zijn dat er op deze locaties echt geen temperatuurinvloed is op het bruinwaterrisico.
- 4) PWN heeft data aangeleverd van continue temperatuur- en troebelheidsmetingen via een steekklans op transportleidingen, data uit zakfilters en gemeten troebelheid tijdens hoogfrequentie spoelacties (iedere 3-6 weken) die wel een variatie in troebelheid laten zien.

De data van PWN wijst op een sterke relatie tussen variatie in troebelheid en de variatie in temperatuur. Eerder is al laten zien dat deze invloed niet (indirect) door de variatie in drinkwatervraag wordt veroorzaakt (en dus bijvoorbeeld meer bezinken tijdens lage verbruiken of meer opwerveling tijdens hoge verbruiken), zie ook Figuur 1.

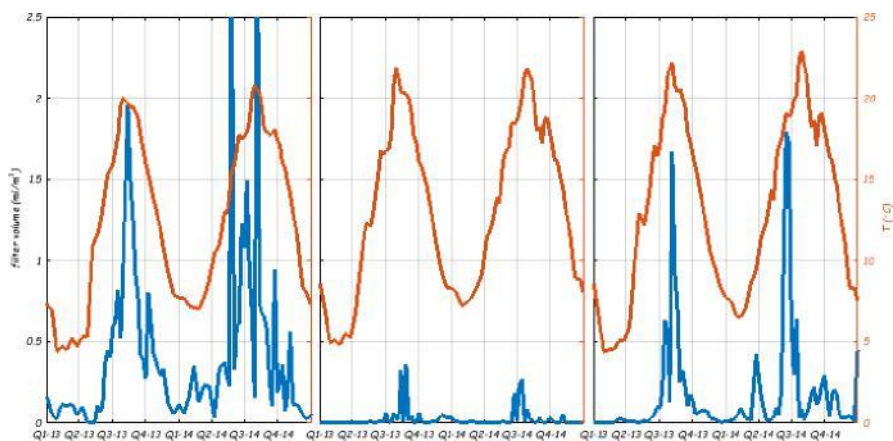


FIGUUR 1 DE MASSA EN TEMPERAATUUR VAN DE ZAKFILTERS IN VOLENDAM EN DE AFZET. TE ZIEN IS DAT TIJDENS DE HOOGSTE TEMPERATUREN DE AFZET NIET HET HOOGST WAS (DOORDAT HET PRECIJS IN DE VAKANTIEPERIODE WAS) EN DAT DE GROOTSTE MASSA-ACCUMULATIE IN DE FILTERS OPTRAD TIJDENS HOGE TEMPERATUREN, NIET TIJDENS HOOG VERBRUIK. (BRON: BLOKKER, E. J. M. AND SCHAAP, P. G. (2012). "VERVUILINGSLOCATIES IN EEN LEIDINGNET." KWR 2012.089, KWR, NIEUWEGEIN).

De data van PWN, op verschillende plekken en verschillende manieren gemeten in transport- en distributienet wijzen op een belangrijke invloed in het leidingnet, d.w.z. het verhoogde bruinwaterisico komt niet uit de zuivering, maar komt doordat er meer (of ander) materiaal accumuleert in het net (Figuur 2, Figuur 3). We hebben op basis van bestaande metingen nog niet kunnen vast stellen of het probleem zich vooral voordoet in het transportnet of het distributienet en of het zelfreinigende net ook hier een positief effect heeft. Ook uit het datamining project van Brabant Water blijkt een relatie tussen bruinwaterklachten en temperatuur, en ook in Engeland is een dergelijke relatie wel gerapporteerd. Dit wijst erop dat het probleem niet alleen in het voorzieningsgebied van Andijk optreedt en het dus voor alle DPWE-bedrijven een reëel probleem kan zijn. De aanbeveling is daarom om in fase twee meer te gaan meten, ook bij de andere DPWE-bedrijven, en op andere plekken in het net van PWN. Uit fase 1 van het onderzoek volgen aanbevelingen voor het soort metingen die geschikt zijn.



FIGUUR 2 MAAT VOOR GEACCUMULEERD MATERIAAL (LAM, BEPAALD IN SPOELACTIES) EN TEMPERatuur VOOR DRIE LEIDINGSTRENGEN IN VOLENDAM. DE RODE STIPPEN GEVEN BEGIN EN EINDE VAN DE ZOMERVAKANTIE WEER.



FIGUUR 3 FILTERVOLUME EN TEMPERatuur OP DRIE LOCATIES IN VOLENDAM: A) DONATE STEURHOF; B) BARKENTIJN; C) BOEZELGRACHT.

2.4 Hypothese en aanbevelingen voor metingen (fase 2 en 3)

De hypothese is dat bij hogere temperatuur meer materiaal accumuleert in het leidingnet. Onderzoek is nodig naar de omstandigheden (leidingmateriaal, diameter, etc. oftewel in primair, secundair of tertiair net) waaronder dit gebeurt. Vermoedelijk beïnvloedt de temperatuur het bruinwaterisico via de groei van de biofilm. We stellen voor in verscheidene voorzieningsgebieden (Waternet, Evides, PWN Heemskerk – het liefst locaties met enig onderscheid in klachtendichtheid of meer objectieve maat van vervuiling, OPM) over een traject metingen uit te voeren op pompstation, in transportleiding en in het distributienet (traditionele vermaasde netten, en eventueel ook een zelfreinigend vertakt net). Te denken valt ook aan een leiding waar koude wordt onttrokken en dus gedurende een groter deel van het jaar een hogere temperatuur de deeltjesaccumulatie kan beïnvloeden. Op de grote

leidingen worden on-line troebelheid, volumestroom en temperatuur gemeten. In het distributienet worden iedere twee tot vier weken op telkens dezelfde locaties OPM metingen uitgevoerd en wordt de temperatuur gemeten. Daarnaast kan de samenstelling van het sediment de hypothese ondersteunen dat de temperatuur vooral via de biofilm het bruinwaterrisico beïnvloedt; er zullen dus ook sedimentmonsters worden genomen.

Als alternatief kan ook nog gedacht worden aan metingen in een laboratoriumopstelling:

- Aan de universiteit van Sheffield is in een testopstelling (PE Ø79 mm, enkele honderden meters lang) bestudeerd hoe gemakkelijk geaccumuleerd materiaal kan worden opgewerveld en verwijderd. De test is gedaan bij 8 °C en bij 16 °C. Bij de hoge temperatuur werd meer materiaal opgewerveld. Deze test zou mogelijk nogmaals gedaan kunnen worden bij een nog hogere temperatuur.
- Om te testen of een temperatuurafhankelijkheid fysisch of biologisch van aard is, zouden bijvoorbeeld (doorstroomde) bekerglazen met sediment (verzameld uit leidingnetten) onder een hogere temperatuur kunnen worden bestudeerd.

3 Artikel voor CCWI 2015 in Leicester



Available online at www.sciencedirect.com

ScienceDirect

Procedia Engineering 00 (2015) 000–000

Procedia
Engineering

www.elsevier.com/locate/procedia

13th Computer Control for Water Industry Conference, CCWI 2015

Temperature influences discolouration risk

E. J. M. Blokker^a, P. G. Schaap^b

^a KWR Watercycle Research Institute, Groningenhaven 7, 3430 BB Nieuwegein, the Netherlands. [mirjam.blokker@kwrwater.nl](mailto:miriam.blokker@kwrwater.nl)

^b PWN Water Supply Company North-Holland, P.O. Box 2113, 1990 AC, Velsenbroek, the Netherlands.

Abstract

Particulate material can accumulate in drinking water distribution systems (DWDS) and can cause discolouration. Previous research showed that temperature influences this. However, it did not explain why higher temperatures lead to a higher accumulation rates. Based on existing data collected in the DWDS of several Dutch water companies, we investigated if higher temperatures lead to more particulate material from the treatment plant, or cause higher accumulation rates within the DWDS. Continuous temperature and turbidity measurements at 6 pumping stations showed the majority of the treatment plants do not have a seasonal trend in turbidity. Filter volumes in the DWDS and high frequency particle accumulation rate measurements on numerous locations in the DWDS of one specific water company did show a seasonal effect. It is likely that higher temperatures in the DWDS can augment particulate material accumulation.

© 2015 The Authors. Published by Elsevier Ltd.

Peer-review under responsibility of the Scientific Committee of CCWI 2015.

Keywords: Drinking water distribution, discolouration, temperature

1. Introduction

It has been demonstrated that particulate material accumulates on pipeline surfaces in drinking water distribution systems (DWDS) and that when mobilized this material can cause discolouration and other water quality issues (Husband and Boxall 2009; Vreeburg and Boxall 2007). In order to minimize customer complaints it is required to understand the factors that influence the accumulation rate.

There is a suggestion that there are more discolouration complaints during higher temperatures (Cook et al. 2015). These were not caused by higher burst events or higher water demands. In a previous study (Mounce et al. 2015, in press), a data-driven modelling approach was used to determine which factors influence the rate of discoloration material accumulation in the DWDS, as described by total turbidity removed with flushing. This approach showed that next to bulk water iron concentration and pipe material, the temperature was an important factor in a Dutch DWDS. Others have shown that the biofilm potential is higher at higher temperatures (Hallam et al. 2001).

1877-7058 © 2015 The Authors. Published by Elsevier Ltd.

Peer-review under responsibility of the Scientific Committee of CCWI 2015.

However, it is not yet clear why higher temperatures lead to a higher discoloration risk. Blokker and Pieterse-Quirijns (2013) have shown that the drinking water temperature in the DWDS is largely influenced by the temperature of the surrounding soil. For transport mains there is still some influence of the temperature with which the water leaves the water treatment works (WTW), but in the distribution part the effect of soil temperature is dominant. In the Netherlands, where distribution pipes are typically installed at 1 meter depth in sandy soils, this means that the drinking water at the tap ranges from 5 °C in winter to 22-25 °C in summer. This means that when there is no seasonal variation in temperature from ground water supplies at the WTW, there will be one in the DWDS. This may also mean that if there is no seasonal effect in turbidity from the WTW, there may be one in the DWDS.

In this paper, we further investigate if the temperature causes higher loading of the DWDS, meaning that more particulate material is entering the DWDS from the treatment plant at higher temperatures, or that higher temperatures within the DWDS cause higher accumulation rates. We have used existing data as it was collected by several Dutch water companies. Based on these data, a hypothesis was formulated that needs to be tested with new measurements. This preliminary study shows which measurement techniques are useful for the next phase.

2. Methods and materials

2.1. Water treatment works

The loading of the DWDS from the water treatment works (WTW) or pumping station (PS) with particulate material is determined by the turbidity, which relates to the concentration of material, multiplied by the flow rate. The weekly average turbidity, determined from on line measurement with a time interval of 10 to 15 minutes, of several PS from different water companies, all surface water, were analysed (Table 1). For most of the time the turbidity values at the PS were quite constant over the day and because on line flow measurements were not available for all of the sites, the turbidity was analysed instead of the mass loading (turbidity * flows).

Table 1. Overview of temperature and turbidity data from surface water pumping stations.

	PS Hoorn	Berenplaat	Kralingen	Weesperkarspel	Leiduin	PS Osdorp
Water Company	PWN	Evides			Waternet	
Measurement period	Jun 2013 – Dec 2014	Jan 2008 – Dec 2011			Jan 2013 – Dec 2014	
Data integrity	The turbidity meter showed measurements errors due to condense in the measurement chamber. Values above 0.15 FTU were discarded in the week average.	No remarks		The turbidity meter showed some high values that were interpreted as measurements errors during only a few weeks. Values above 0.2 FTU were discarded in the week average.		Temperature summer 2014 incorrect; two months of turbidity data missing in Q2 2014.

2.2. Transport mains

At several locations along the transport system towards Volendam (Table 2) in the Hoom supply zone online turbidity was measured. This was done with a measuring lance that extracts water from the bottom, centre and top of the main and the mixture of this water was fed to a turbidity meter. In the Waternet supply zone on-line turbidity and temperature were measured at two locations (Table 3); the water is drawn from the top of the pipes.

Again, at the transport mains, we only analysed turbidity instead of mass. At transport mains flow is not measured; alternatively values from a hydraulic model may be used. PWN provided 15 minute time step data for flow for measurement location 1 (Beemster) from the hydraulic model. We found that the average of (flow * turbidity) was equal to the average flow multiplied by the average turbidity. This suggests that focussing on a seasonal effect in turbidity, without taking the flows into account, is valid for this location. It may not be for e.g. location 3 (Volendam Heideweg), where the flows from the hydraulic model are deemed unreliable by PWN modellers.

Table 2. Overview of temperature and turbidity data measured at transport mains from PS Hoorn.

Location	PS	1a	1b	2	3
Name	Hoorn	Beemster-1	Beemster-2	ZOB	Volendam Heideweg
Diameter (mm)	800	900		700	500
Pipe material	Cement lined steel	Concrete		PVC	AC
Length (km)	0	16	18.8	18	9
Measurement period (turbidity)	7 Jun 2013 – 31 Dec 2014	1 Jan 2012 – 10 Apr 2014	10 Jun 2014 – 31 Dec 2014	16 Apr 2013 – 31 Dec 2014	24 Jul 2012 – 31 Dec 2014
Measurement period (temperature)	27 Jun 2013 – 29 Dec 2014				

Table 3. Overview of temperature and turbidity data measured in Waterat supply zone, receiving water from both WTW Waasberkerspel and WTW Leiduin.

Location	Purmerweg	IJburg
Diameter (mm)	125	300
Pipe material	Cast Iron	Nodular Iron
Year of installation	1927	2001
Measurement period (turbidity and temperature)	1 Jan 2013 – 31 Dec 2014	
remarks	Measured at connection pipe	Runs under a bridge; isolated pipe with a thermo tape against frost. Since there are temperatures measured below 0 °C and the water did not freeze, the temperature measurements seem to be unreliable.

2.3. Drinking water distribution system

In the distribution part of the system various measurement methods to study temperature and turbidity were used:

- **Discolouration complaints:** we looked for a seasonal effect in discolouration complaints possibly related to temperature. Almost 7 years of discolouration complaints from the whole of PWN were analysed per month. The results for the area fed by PS Hoorn can be filtered out, but less complaints remain; the trend for the whole of PWN and for the Hoorn supply area are similar.
- **Grab samples:** grab samples at kitchen taps in the Evides DWDS (supplied by Berenplaat, Kralingen and other WTW) were analysed.
- **Cleaning actions in DWDS:** An area in Volendam (supplied by PS Hoorn, Table 1) has had an extensive and intensive flushing programme (Schaap and Blokker 2013) for several years where every 3-6 weeks up to 21 pipe lengths (total ca. 10 km) in an urban distribution area have been flushed as part of a continuing monitoring programme. These cleaning actions show how much material has accumulated in the network over 3-6 weeks. These regular cleaning actions could reveal a seasonal effect (Mounce et al. 2015, in press; Schaap and Blokker 2013). The temperature was assumed to be equal to the modelled soil temperature at 1 meter depth in sand (Blokker and Pieterse-Quirijns 2013). For each pipe the turbidity (FTU) that was measured during flushing at the pipe location was recorded. From this the Locally Accumulated Material (LAM) was computed according to equation 1. In order to obtain comparable quantities the turbidity was multiplied with the flushing flow Q_{flush} (L/s) as shown in equation 1. Figure 1 shows an example of a turbidity trace for 710 m of a Ø 300 mm PVC pipe.

$$LAM_{day} = Turbidity \cdot Q_{flush} \cdot \Delta t \cdot \frac{\sum_{t \geq t_{min}}^{t \leq t_{max}} Turbidity(t_i)}{days_between_flushes} \left[\frac{FTU \cdot L}{day} \right] \quad (1)$$

4

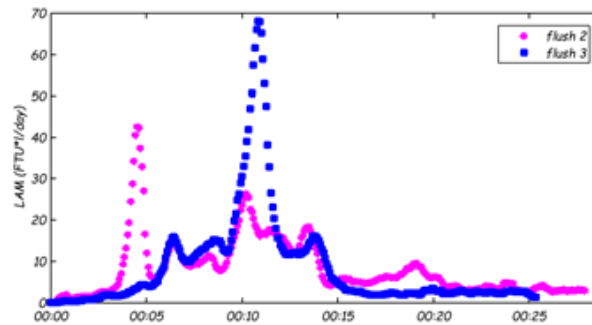
Author name / Procedia Engineering 00 (2015) 000–000

Figure 1. Flushing action 3 in Volendam on 23 February 2012 (28 days after 1st flush) and on 29 March 2012 (35 days after 2nd flush). Flushing was done with 160 m³/h (44 l/s; 0.77 m/s) and 151 m³/h (42 l/s; 0.73 m/s).

- **Filters in DWDS:** In the same area in Volendam, a double filter was put in at three locations. The filters were located in the DWDS at the beginning of a small dead end pipe, supplying 20-30 homes. This means that during the absence of a few residents a lot less water passed the filters than on average (e.g. during the summer vacation 40% less than average). The location "Donate Steurhof" is supplied from the transport main at Heideweg (location 3, Table 2); the location "Barkentijn" is also mainly supplied from the same transport main; the location "Boezelgracht" is supplied from the North side from a different transport main (but from the same PS). The filters were changed every 2-4 weeks so a reading was available for every 1-2 weeks; the flow through the filters and the temperature of the water was recorded and the filters were analysed for total sediment volume. We analysed the relation between total sediment (as ml per m³ flow through the filter) and the temperature. Also, the recorded temperature from these measurements was compared to the modelled soil temperature mentioned above, which showed that the modelled soil temperature can be used when no measured temperature is available.

3. Results and discussion

3.1. Water treatment works

Figure 2 shows the water temperature and average weekly turbidity of the water leaving the PS or WTW for the various locations. Two show a seasonal effect in turbidity and four do not.

- WTW Weesperkarspel shows a turbidity peak after the highest temperatures in 2013 and before the highest temperatures in 2014.
- WTW Leiduin I shows some very low values in turbidity; this seems to be due to missing data. The turbidity of Leiduin II is very steady over the year. PS Osdorp is not shown (Table 1), but the turbidity of Osdorp shows a similar course as Leiduin II; PS Osdorp receives water from WTW Leiduin. These do not show a seasonal effect.
- PS Hoorn shows a turbidity peak before the highest temperatures in 2013 and after the highest temperatures in 2014. The drop in turbidity in the spring of 2014 is related to the cleaning of the turbidity meter. It is difficult to draw any conclusions here.
- WTW Berenplaat does not show any seasonal pattern in the turbidity data. WTW Kralingen does seem to show a seasonal effect; it shows elevated turbidity levels just before or during the temperature peaks in all of the recorded years.

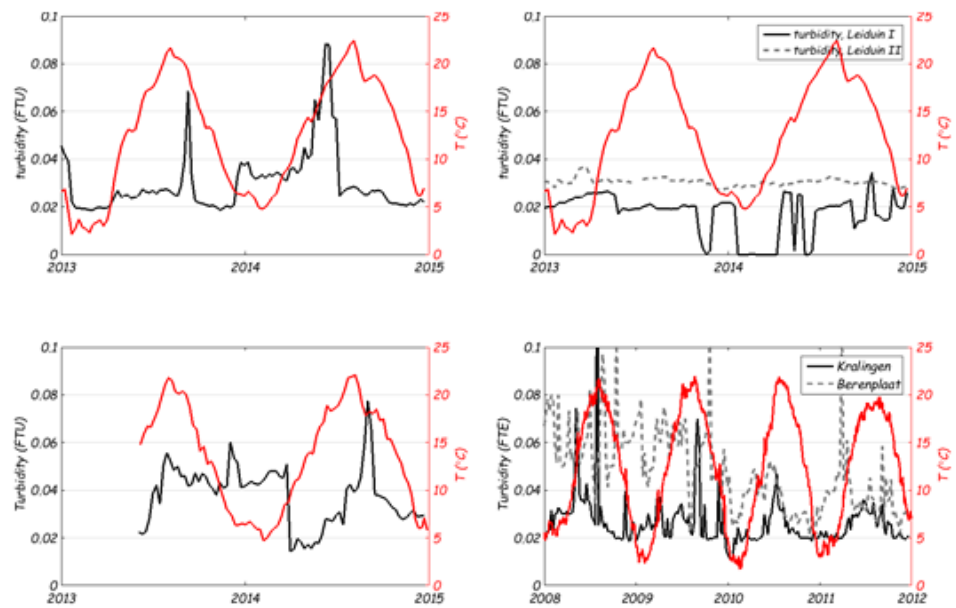


Figure 2. Weekly average turbidity and temperature at pumping stations a) WTW Weesperkarspel, b) WTW Leiduin; c) PS Hoorn; d) WTW Kralingen and Berenplaat.

3.2. Transport mains

The results for the transport mains show the following. PWN (Figure 3): the turbidity at location 1 (Beemster) shows a seasonal effect, for location 2 (ZOB) and 2 (Volendam Heideweg) this is less clear. Figure 4 shows that most peaks at Heideweg do not coincide with the peaks from the pumping station, especially the peaks during the summer do not coincide with the summer peaks from the pumping station. This indicates that the influence of the temperature on turbidity is not originating from the pumping station, but something along the transport mains happens that is influenced by the temperature.

Waternet (Figure 5): the turbidity at Purmerweg is quite constant over the year, if anything the seasonal pattern in the turbidity is opposite to the temperature trend (slightly lower turbidities at higher temperatures). The turbidity at IJburg does not show a seasonal effect. Not shown is the variation over the day. For both locations the 10 minute data do not show higher values during the morning peak in water demand. This suggests that either there is no material accumulation in the pipes or that the flow velocities in the pipes are not so variable that it leads to resuspension or that the measurement at the top of the pipe does not detect material resuspension. As there are no flow measurements, this cannot be determined for now.

6

Author name / Procedia Engineering 00 (2015) 000–000

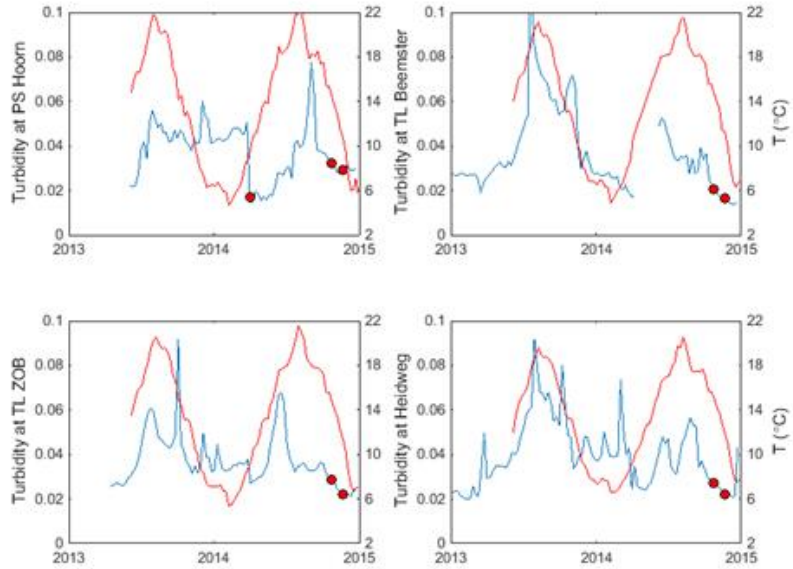


Figure 3. Weekly average turbidity (in blue, red dots are the recorded cleaning actions of turbidity meters) and temperature (red line) at pumping station and transport mains in PS Hoorn supply zone a) PS Hoorn; b) location 1, Beemster; c) location 2, ZOB and d) location 3, Volendam Heideweg.

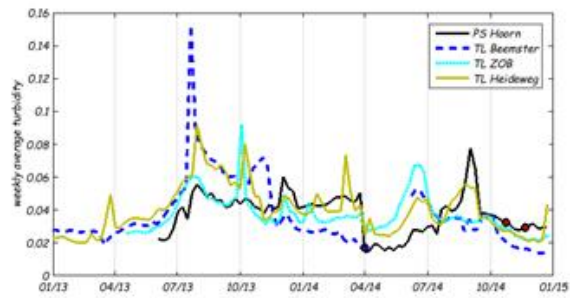


Figure 4. Weekly average turbidity at pumping station and transport mains from PS Hoorn.

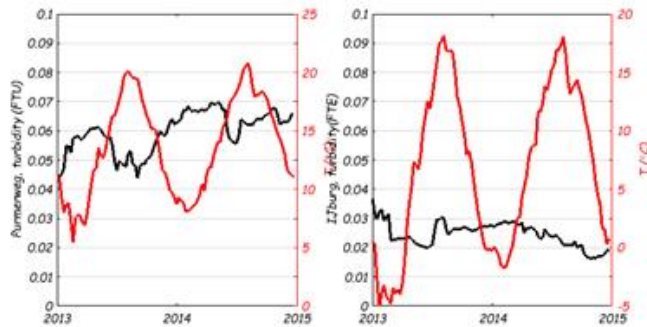


Figure 5. Weekly average turbidity (in black) and temperature (red line) in Waternet supply zone on Purmerweg (left) and IJburg (right).

3.3. Drinking water distribution system

The results in the DWDS show the following:

- **Discolouration complaints:** Figure 6 shows that the number of discolouration complaints per month changes over the year. The seasonal effect is most prominent for the complaints due to planned and unplanned work (mains failure). In October there are few complaints in all the categories, including the unknowns. We compared the number of complaints with the number of planned and unplanned work that was done. There seems to be a decrease in the number of discolouration complaints related to planned work and mains failures in July and August; in these months less work is done due to the vacation period. The lower complaints level in May and October, however, cannot be explained in this way as there has not been less planned or unplanned work in these periods.

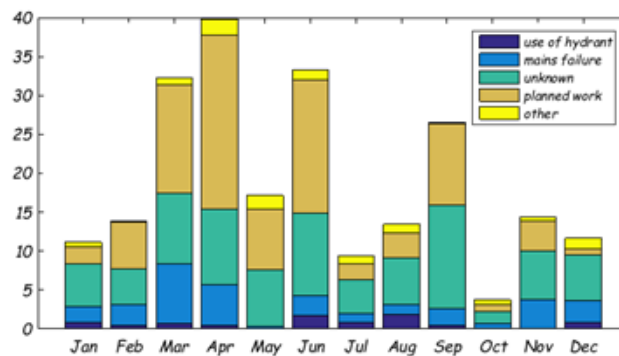


Figure 6. Annual number of discolouration complaints (1 Jan 2008–31 Oct 2014) per month for PWN, by probable explanation. Planned work includes repairs, flushing and resuspension potential measurements.

- **Grab samples:** grab samples at kitchen taps in the Evides DWDS (supplied by Berenplaat, Kralingen and other WTW) were analysed (Figure 7). As expected, the temperature clearly shows a seasonal effect. However, the turbidity data does not. Turbidity at the tap is largely influenced by the hydraulic conditions during the measurements and the grab samples over the entire DWDS represent so many different measuring conditions that a potential (small) temperature influence is undetectable. Measurements of grab samples in the DWSS are not useful for our study.

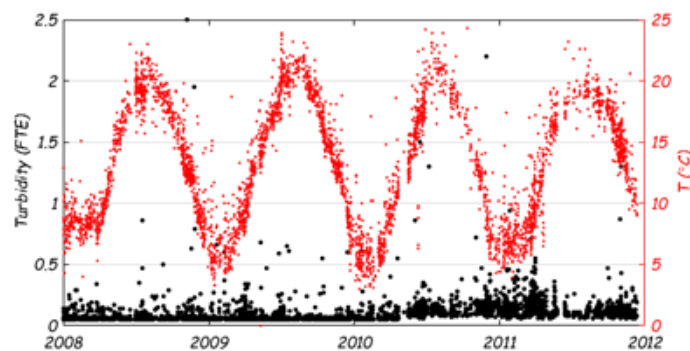


Figure 7. Grab samples from kitchen taps in Evides DWDS (turbidity and temperature), 2008-2011.

- Cleaning actions in DWDS:** Figure 8 shows there is a visual correlation for several cleaning actions between LAM and temperature of the soil at -1 meter depth. A data-driven modelling approach was done for all cleaning actions (Mounce et al. 2015, in press) and it showed the importance of temperature. The ratio between the highest LAM value (in summer) and the lowest (in winter) is 5 to 10. This is a significant difference.

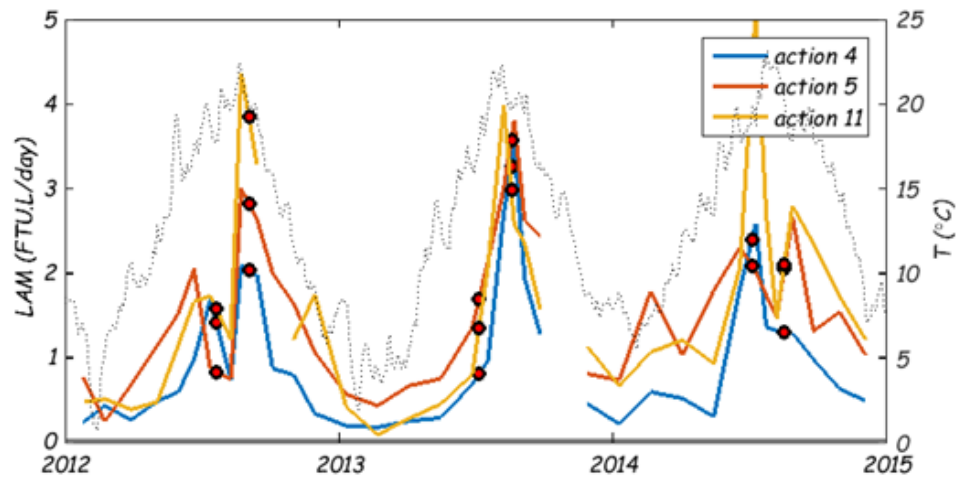


Figure 8. LAM and soil temperature at -1 meter. The red dots mark the beginning and end of the school summer vacations.

- Filters in DWDS:** Figure 9 shows that filter volume has a seasonal pattern with significantly higher volumes in the summer time. Comparing in Figure 10 the filter volume at Donate Steurhof (Figure 9) and turbidity coming from the transport main at Heideweg (Figure 4) demonstrates that the filter peaks do not necessarily coincide with peaks from the transport main (Heideweg). The peaks in the filters may proceed or come after the peaks from the transport main. This suggests that part of the reason for higher sediment accumulation in the DWDS comes from the transport main; but also in the distribution part after the transport main temperature may affect the sediment volume.

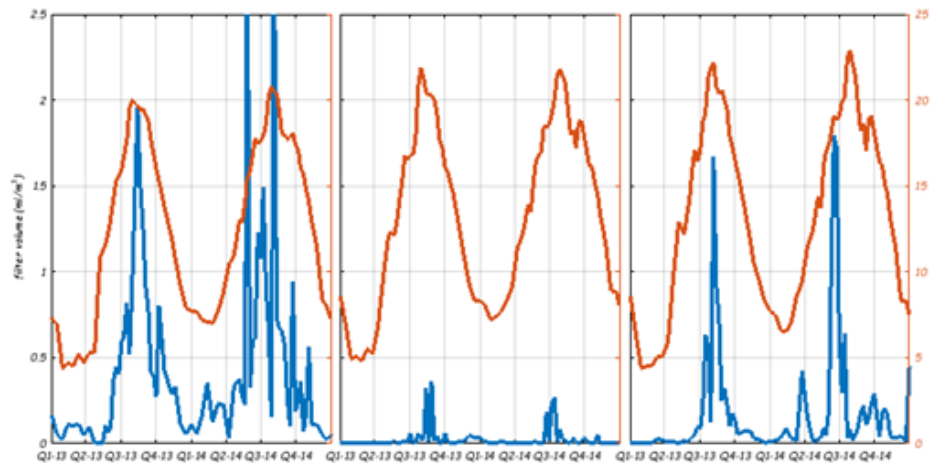


Figure 9. Filter volume and temperature at three locations a) Donate Steurhof; b) Barkentijn; c) Boezelgracht.

Author name / Procedia Engineering 00 (2015) 000–000

9



Figure 10. Filter volume at Donate Steurhof (blue line) and weekly average turbidity at Heideweg (in black), 2013-2014.

The loading of the DWDS with particulate material is determined by the turbidity, which relates to the concentration of material, multiplied by the flow rate. The turbidity from the WTW is very steady over the year. Also, the flow rate over the year is fairly steady. In the DWDS the flows during the (morning) peak hours are higher than during the night, and this is consistent over the year. During very warm days, the peak hours may shift from the morning to the afternoon. Potentially the water demand during warm days is higher than normal when more water is used for e.g. watering the garden. However, since warm days typically occur in the vacation period, there are less people present in the DWDS and we found from the filter study that in fact the water demand during the warmest days is less than (or at most equal to) normal within the studied area (Schaap and Blokker 2013). This means that at higher temperatures there is the same amount, or less, but not more particulate material entering the system. The filter volume is compensated for the total flow through the filters and during the vacation period the volume (in ml/m^3) still shows the temperature correlation. The EPR analysis (Mounce et al. 2015, in press) was done with the vacation period left out (Figure 8 between the circles), because we do not know exactly for the studied area how many people were on vacation or how much water was used within this particular area. We can conclude from the cleaning actions and the filter volume that the temperature effect in the accumulation rate is not only present during the warmest days, with lower water demand, but also at warm days with normal water demand. This means that it is not likely that lower flow velocities are the cause for more accumulation.

The hydraulics may, however, influence where the sediment accumulates in the network. Also, hydraulics may influence actual discolouration occurrence, i.e. higher flows may lead to resuspension. Since 2008 the areas that are most susceptible to particle accumulation were flushed; this decreased the number of discolouration complaints (Schaap and Blokker 2013; Schaap and Blokker 2012). The complaints distribution over the year (Figure 6) show that during months with less work done on the DWDS (July and August) the number of discolouration complaints decreases. The temperature effect is not visible in the complaints level; it may be of lower importance than the hydraulic circumstances.

With climate change and the plans for extracting cold from drinking water, the temperature of the drinking water may rise. From our study it appears that this may affect the turbidity of the water, and potentially the discolouration risk. The correlation between temperature and turbidity is not visible at all WTW or PS, and only visible in a few transport mains measurements. The cleaning actions and filters in the DWDS show a temperature influence on particle accumulation in the DWDS. We hypothesize that the temperature affects the particle material accumulation in the distribution network, possibly due to local microbial activity. This leads to a measurable effect on the discolouration risk; however this is not reflected in the discolouration complaints level.

To further study where and under which circumstances temperature affects turbidity, we suggest to design a specific test. To study the relation between temperature and turbidity we found that several standard measurement methods such as discolouration complaints and grab samples are not useful (Table 4). Although we did not look at RPM, we did look at low flow flushing actions, and based on that we think RPM is likely to be a useful method. The recommended measurement methods based on the experience from this preliminary study and cost of measurements are continuous (1 year) on-line turbidity and temperature measurements, combined with flow measurements, and monthly RPM with grab samples for temperature at fixed locations. The measurements should be done over a

10

Author name / Procedia Engineering 00 (2015) 000–000

trajectory from WTW, through a transport main, into a DWDS; preferably a few DWDS with little discolouration complaints and others with many.

Table 4. Options for measuring the relation between turbidity and temperature in the DWDS.

Measurement method	Remark	Useful?
Discolouration complaints	Depend very much on other circumstances	No
Grab samples	Depend very much on other circumstances	No
Resuspension Potential Measurements	Not tested, but likely similar to flushing	Likely
Flushing / cleaning	Regular flushing, every 4-6 weeks, to be able to note seasonal effect	Yes
Filters in the DWDS	Regular changing of filters, every 4-6 weeks, to be able to note seasonal effect	Yes
On-line turbidity measurements	Were useful on transport mains, an also be used on smaller pipe materials. It needs to be tested if measure lance is required, or that measurements from the top of the pipe give the same results.	Yes

4. Conclusions

Particulate material can accumulate in drinking water distribution systems and can cause discolouration. Previous research showed that temperature influences this. However, it did not explain why higher temperatures lead to a higher accumulation rates. Based on existing data collected in the DWDS of several Dutch water companies, we investigated if higher temperatures lead to more particulate material from the treatment plant, or cause higher accumulation rates within the DWDS. Continuous temperature and turbidity measurements at 6 pumping stations showed the majority of the treatment plants do not have a seasonal trend in turbidity. Filter volumes in the DWDS and high frequency particle accumulation rate measurements on numerous locations in the DWDS of one specific water company did show a seasonal effect. From the measurements at PWN it appears that the seasonal effect in turbidity cannot be found at the WTW; along the transport mains some locations show a seasonal effect, and others do not clearly show this. However, in the distribution part of the DWDS the sediment load and accumulation is clearly higher at higher temperatures. Part of this can be explained by the higher load from the transport main, but not from the WTW. The measurements of Evides showed no seasonal effects in one WTW and a limited seasonal effect in the other WTW. The measurements of Waternet showed no seasonal effects in the WTW nor at the two locations in the DWDS. Grab samples at random locations do not provide any information, and discolouration complaints did not clearly show a relation to temperature either. It is likely that higher temperatures in the DWDS can augment particulate material accumulation.

5. References

- Blokker, E. J. M. and Pieterse-Quirijns, E. J. (2013). "Modeling temperature in the drinking water distribution system." *Journal - American Water Works Association*, 105(1), E19-E29.
- Cook, D. M., Husband, P. S. and Boxall, J. B. (2015). "Operational management of trunk main discolouration risk." *Urban Water Journal*, 1-14, doi:10.1080/1573062x.2014.993994.
- Hallam, N., West, J., Forster, C. and Simms, J. (2001). "The potential for biofilm growth in water distribution systems." *Water Research*, 35(17), 4063-4071.
- Husband, S. and Boxall, J. (2009). "Field studies of discoloration in water distribution systems: Model verification and practical implications." *Journal of Environmental Engineering*, 136(1), 86-94.
- Mounca, S. R., Blokker, E. J. M., Husband, S. P., Furnass, W. R., Schaap, P. G. and Boxall, J. B. (2015, in press). "Multivariate Data Mining for Estimating the Rate of Discoloration Material Accumulation in Drinking Water Systems." *Journal of Hydroinformatics*.
- Schaap, P. and Blokker, E. J. M. (2013). "Zooming in on network fouling locations." *World Environmental and Water Resources congress. Showcasing the future*, Cincinnati, Ohio.
- Schaap, P. and Blokker, M. (2012). "Understanding differences in sediment characteristics in drinking water distribution networks." *WDSA 2012*, Adelaide, Australia, 435-441.
- Vreeburg, J. H. G. and Boxall, J. B. (2007). "Discolouration in potable water distribution systems: A review." *Water Research*, 41(3), 519-529.

